T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GELENEKSEL VE ÇAĞDAŞ AHŞAP YAPILARIN YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Sadık AKŞAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Programı

Danışman

Doç. Dr. Gökçe TUNA TAYGUN

Temmuz, 2022

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GELENEKSEL VE ÇAĞDAŞ AHŞAP YAPILARIN YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Sadık AKŞAR tarafından hazırlanan tez çalışması 20/07/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Gökçe TUNA TAYGUN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Gökçe TUNA TAYGUN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Polat DARÇIN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. S. Müjdem VURAL, Üye
Doğu Akdeniz Üniversitesi _____

Danışmanım Doç. Dr. Gökçe TUNA TAYGUN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Geleneksel ve Çağdaş Ahşap Yapıların Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinin Karşılaştırmalı Analizi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Sadık AKŞAR

İmza

Anneme...

TEŞEKKÜR

Geleneksel ve Çağdaş Ahşap Yapıların Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinin Karşılaştırmalı Analizi adlı bu tez konusunun belirlenmesinde, planlanmasında ve çalışmanın yürütülmesinde her türlü yardım ve desteği esirgemeyen, insani ve ahlaki değerleri ile de örnek edindiğim değerli hocam Gökçe Tuna Taygun'a çalışma süresince göstermiş olduğu hoşgörü ve sabırdan dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın bütün evrelerinde, bana istediğim ve emek verdiğim her şeyi yapabileceğim inancını sağlayan ve destek olan annem Kevser Akşar'a ve babam Süleyman Akşar'a, tez yazım süreci boyunca önerileri, güzel düşünceleri ve özellikle destekleri ile yanımda olan Büşra Akyıldız, Ecem Köşürgeli ve de başarabileceğime dair inançları sayesinde beni güçlendiren başta Didem Çalılı, Cansu Nur Dinçbudak, Tuğba Çakır ve Pelin Polat olmak üzere tüm dostlarıma teşekkür ederim.

Sadık AKŞAR

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ vii

KISALTMA LİSTESİ viii

ŞEKİL LİSTESİ ix

TABLO LİSTESİ xiii

ÖZET xiv

ABSTRACT xvi

1 GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti ... 1

1.2 Tezin Amacı ... 7

1.3 Hipotez ... 7

2 AHŞAP YAPI MALZEMELERİ VE SİSTEMLERİ 9

2.1 Geleneksel Ahşap Yapı Malzemeleri ve Sistemleri ... 9

2.1.1 Geleneksel Ahşap Yapı Malzemeleri ... 9

2.1.2 Geleneksel Ahşap Yapı Sistemleri ... 11

2.2 Çağdaş Ahşap Yapı Malzemeleri ve Sistemleri ... 14

2.2.1 Çağdaş Ahşap Yapı Malzemeleri ... 15

2.2.2 Çağdaş Ahşap Yapı Sistemleri ... 24

3 YAPILARDA YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ 33

3.1 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Aşamaları ... 35

3.1.1 Amaç ve Kapsam Aşaması ... 35

3.1.2 Yaşam Döngüsü Envanter Analizi Aşaması ... 36

3.1.3 Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirme Aşaması ... 36

3.1.4 Yorumlama Aşaması ... 36

3.2 Yapı Sistemlerinde Seçilen Sistemin ve Malzemenin Yaşam Döngüsü Süreçlerine Etkisi ... 36

3.2.1 Hammadde edinimi ve üretim süreci ... 37

3.2.2 Taşıma Süreci ... 37

3.2.3 Yapım ve Bakım Süreci ... 38

3.2.4 Yeniden Kullanım ve Geri Dönüşüm Süreci ... 38

3.3 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinde Kullanılan Yöntem ve Araçlar ... 39

4 GELENEKSEL VE ÇAĞDAŞ AHŞAP YAPILARIN YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ 41

4.1 Analizi Yapılan Yapının Tanımlanması ve Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinin Kapsamı ... 41

4.1.1 Çalışmanın Yöntemi ... 41

4.1.2 Analizi Yapılan Yapı ve Konumu ... 42

4.1.3 Karşılaştırmalı Analiz için Seçilen Yapı Sistemleri ... 44

4.1.4 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinde Kullanılacak Araç 44
4.1.5 Yapının Yaşam Döngüsü Değerlendirilmesinde Ele Alınan Süreçler 45
4.1.6 Yaşam Döngüsü Değerlendirilmesinde Ele Alınacak Etki Alanları ... 49

4.2 Seçilen Geleneksel ve Çağdaş Ahşap Yapı Sistemlerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi 50
4.2.1 Ahşap Kütük Yığma Yapı Sistemi Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi 53
4.2.2 Ahşap Platform Çerçeve Yapı Sistemi Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi 61
4.2.3 Ahşap Çapraz Lamine Ahşap Panel Yapı Sistemi Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi 69
4.2.4 Ahşap LVL Kolon-Kiriş Yapı Sistemi Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi 77
4.2.5 Ahşap GLT Kütük Yığma Yapı Sistemi Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi 85

4.3 Karşılaştırmalı Analizin Bulguları ve Tartışma 93
4.3.1 Küresel Isınma Potansiyeline İlişkin Bulgular 93
4.3.2 Asidifikasyon Potansiyeline İlişkin Bulgular 96
4.3.3 Ötrofikasyon Potansiyeline İlişkin Bulgular 98
4.3.4 Ozon Tabakası İncelme Potansiyeline İlişkin Bulgular..... 101
4.3.5 Etki Kategorilerin İlişkin Bulguların Genel Değerlendirmesi..... 104

5 SONUÇ VE ÖNERİLER **107**

KAYNAKÇA **112**

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **122**

SİMGE LİSTESİ

$(PO_4)_3$	Fosfat
CO_2	Karbondioksit
kg	Kilogram
km	Kilometre
kWh	Kilowatt saat
CFC_{11}	Kloroflorokarbon11
SO_2	Kükürtdioksit
MJ	Megajul
m	Metre
m^2	Metrekare
m^3	Metreküp
mm	Milimetre
mm^2	Milimetrekare
cm	Santimetre
M_{toe}	Ton eşdeğer petrol

KISALTMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri (United States America)
AIA	The American Institute of Architects (Amerikan Mimarlar Enstitüsü)
AP	Acidification Potential (Asidifikasyon Potansiyeli)
ASTM	American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Malzemeler Topluluğu)
BEAT 2002	Building Environmental Assessment Tool 2002
BEES	Building for Environmental and Economic Sustainability
BRE	Building Research Establishment (Bina Araştırma Kurumu)
BREEAM	Building Research Establishment's Environmental Assessment Method (Bina Araştırma Kurumu Çevresel Değerlendirme Metodu)
CCC	Climate Change Committee (İklim Değişikliği Komitesi)
CLT	Cross Laminated Timber (Çapraz Lamine Ahşap)
DLT	Dowel Laminated Timber (Kavelalı Lamine Ahşap)
EP	Eutrophication Potential (Ötrofikasyon Potansiyeli)
EPA	Environmental Protection Agency (Çevre Koruma Ajansı)
EPD	Environmental Product Declaration (Çevresel Ürün Beyanları)
GAZBİR	Türkiye Doğal Gaz Dağıtıcıları Birliği
GLT	Glued Laminated Timber (Tutkallı Tabakalı Ahşap)
GWP	Global Warming Potential (Küresel Isınma Potansiyeli)
IPCC	The Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	International Standarts Organization (Uluslararası Standartlar Örgütü)
LCA	Life Cycle Assessment
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design (Enerji ve Çevre Tasarımında Liderlik)
LSL	Laminated Strand Lumber (Lamine Yonga Ahşap)
LVL	Laminated Veneer Lumber (Lamine Kaplama Ahşap)
NLT	Nail Laminated Timber (Çivili Lamine Ahşap)
ODP	Ozone Depletion Potential (Ozon Tabakasının İncelme Potansiyeli)
OSB	Oriented Strand Board (Yönlendirilmiş Yonga Levha)
POCP	Formation of Ozone of Lower Atmosphere Potential (Alt Atmosferde Ozon Oluşumu Potamnsiyeli)
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry (Çevresel Zehirlilik ve Kimya Derneği)
SimaPRO	System for Integrated Environmental Assessment of Products
TEDAŞ	Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TSE	Türk Standartları Kurumu
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UNEP	United Nations Environmental Programme (Birleşmiş Milletler Çevre Programı)
XPS	Extruded Polystyrene (Ekstrude Polistren Köpük)
YDD	Yaşam Döngüsü Değerlendirme

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Ahşabın erken zamanlarda barınak oluşumunda kullanılan formu . 9
Şekil 2.2 Bir ahşabın katmanları 10
Şekil 2.3 Ahşap yığma yapı sistemi ve detayı 11
Şekil 2.4 Ahşap karkas yapı sistemi kurgusu 12
Şekil 2.5 Ahşap dolgulu ahşap karkas yapı, Samsun (a), Kerpiç dolgulu ahşap karkas yapı, Eskişehir (b) 13
Şekil 2.6 Taş dolgulu ahşap karkas yapı, Rize (a), Tuğla dolgulu ahşap karkas yapı, Samsun (b) 13
Şekil 2.7 Taşıyıcı sisteminde çapraz eleman bulunmayan ahşap karkas yapı 13
Şekil 2.8 Taşıyıcı sisteminde çapraz eleman bulunan ahşap karkas yapı, Safranbolu..... 14
Şekil 2.9 Southhampton Nikah Dairesi 15
Şekil 2.10 GLT üretim sürecinde gerçekleşen dişli birleştirme detayı 16
Şekil 2.11 GLT üretim süreci 17
Şekil 2.12 GLT ve CLT dizim farklıları 17
Şekil 2.13 CLT üretim süreçleri..... 18
Şekil 2.14 LVL malzemesi 18
Şekil 2.15 LVL üretim süreçleri 19
Şekil 2.16 PSL malzemesi 19
Şekil 2.17 PSL üretim süreçleri 20
Şekil 2.18 LSL malzemesi 20
Şekil 2.19 LSL'nin ahşap çerçeve sistemlerde kullanımı..... 21
Şekil 2.20 LSL üretim süreçleri 21
Şekil 2.21 OSB malzemesi 22
Şekil 2.22 OSB üretim süreçleri 22
Şekil 2.23 NLT malzemesi..... 23
Şekil 2.24 DLT malzemesi..... 23
Şekil 2.25 Ahşap balon çerçeve iskelet, (a), Ahşap platform çerçeve iskeleti (b), ... 25
Şekil 2.26 Ahşap Platform Çerçeve yapı sistemi ile üretilmiş yapı 25
Şekil 2.27 GLT kullanılarak üretilmiş ahşap kolon-kiriş yapı sistemi 26
Şekil 2.28 Ahşap kolon kiriş birleşiminde çelik bağlantı elemanı kullanımı (a), Ahşap kolon kiriş sisteminde çelik diyagonal eleman kullanımı (b) 26
Şekil 2.29 Ahşap panel sistem..... 27
Şekil 2.30 Forte binasının yapı sistemi olan ahşap panel sisteminden panel elemanların şantiye alanında birleştirilmesi..... 27
Şekil 2.31 Ahşap karma yapı sistemi bir araya gelen farklı ahşap yapı sistemleri 28
Şekil 2.32 E3 yapısı çelik bağlantı detayları..... 29
Şekil 2.33 Carbon 12 yapısı taşıyıcı sistemi 30
Şekil 2.34 Holz-8 yapısı ahşap panel sistemlerin şantiyede yerleşimi (a), Holz-8 yapısının tamamlanmış hali (b) 30
Şekil 2.35 Ahşap prefabrike modüllerin fabrika ortamında üretimi [84] 31

Şekil 2.36 Ahşap prefabrike modüler sistem ile üretilen Treet yapısı ahşap elemanları 31
Şekil 3.1 Bir yapı ürününün yaşam döngüsü süreçleri, bu süreçlerin birbirleri ve çevre ile olan ilişkileri 34
Şekil 3.2 Yaşam döngüsü değerlendirme aşamaları 35
Şekil 4.1 Tasarlanan projenin alanı ve çevresi 42
Şekil 4.2 Tasarlanan projenin kat planları 43
Şekil 4.3 Tasarlanan projenin A-A kesiti (a), tasarlanan projenin B-B kesiti (b), tasarlanan projenin kuzey görünüşü (c), tasarlanan projenin güney görünüşü (d) 43
Şekil 4.4 One Click LCA hizmet olanakları 45
Şekil 4.5 YDD süreçleri 46
Şekil 4.6 2020 yılı illere göre kişi başı elektrik tüketimi (kWhkişi) 47
Şekil 4.7 2020 yılı illere göre yıllık hane başı doğal gaz tüketimi (m3) 48
Şekil 4.8 TÜİK su tüketimleri verisi 48
Şekil 4.9 SketchUp ile oluşturulan yapı modelleri 50
Şekil 4.10 SketchUp ile oluşturulan yapı modellerinden alınan metraj bilgileri 50
Şekil 4.11 One Click LCA YDD aracında yeni tasarım oluşturma 51
Şekil 4.12 One Click LCA YDD aracında veri girişi sağlanan süreçler 51
Şekil 4.13 One Click LCA YDD aracının yapı malzemeleri sekmesi alt başlıkları 52
Şekil 4.14 One Click LCA YDD aracının tüketim süreçlerine dair sekmeler 53
Şekil 4.15 Ahşap kütük yığma yapı sistem kesiti 54
Şekil 4.16 Ahşap kütük yığma yapı modeli 54
Şekil 4.17 Ahşap kütük yığma yapı One Click LCA yapı malzemeleri listesi 56
Şekil 4.18 Bütün YDD süreçlerine göre GWP etkileri (a), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre GWP etkileri (b), Kaynak türlerine göre GWP etkileri (c), Bütün YDD süreçlerine göre AP etkileri (d), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre AP etkileri (e), Kaynak türlerine göre AP etkileri (f) 59
Şekil 4.19 Bütün YDD süreçlerine göre EP etkileri (a), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre EP etkileri (b), Kaynak türlerine göre EP etkileri (c), Bütün YDD süreçlerine göre ODP etkileri (d), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre ODP etkileri (e), Kaynak türlerine göre ODP etkileri (f) 60
Şekil 4.20 Ahşap platform çerçeve yapı sistem kesiti 61
Şekil 4.21 Ahşap platform çerçeve yapı modeli 61
Şekil 4.22 Ahşap platform çerçeve yapı One Click LCA yapı malzeme listesi 63
Şekil 4.23 Bütün YDD süreçlerine göre GWP etkileri (a), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre GWP etkileri (b), Kaynak türlerine göre GWP etkileri (c), Bütün YDD süreçlerine göre AP etkileri (d), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre AP etkileri (e), Kaynak türlerine göre AP etkileri (f) 67
Şekil 4.24 Bütün YDD süreçlerine göre EP etkileri (a), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre EP etkileri (b), Kaynak türlerine göre EP etkileri (c), Bütün YDD süreçlerine göre ODP etkileri (d), B6 ve

B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre ODP etkileri (e), Kaynak türlerine göre ODP etkileri (f) 68
Şekil 4.25 Ahşap CLT panel yapı sistem kesiti 69
Şekil 4.26 Ahşap CLT panel yapı modeli 69
Şekil 4.27 Ahşap CLT panel yapı One Click LCA yapı malzeme listesi 71
Şekil 4.28 Bütün YDD süreçlerine göre GWP etkileri (a), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre GWP etkileri (b), Kaynak türlerine göre GWP etkileri (c), Bütün YDD süreçlerine göre AP etkileri (d), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre AP etkileri (e), Kaynak türlerine göre AP etkileri (f) 75
Şekil 4.29 Bütün YDD süreçlerine göre EP etkileri (a), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre EP etkileri (b), Kaynak türlerine göre EP etkileri (c), Bütün YDD süreçlerine göre ODP etkileri (d), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre ODP etkileri (e), Kaynak türlerine göre ODP etkileri (f) 76
Şekil 4.30 Ahşap LVL Kolon-Kiriş yapı sistem kesiti 77
Şekil 4.31 Ahşap LVL Kolon-Kiriş yapı modeli 77
Şekil 4.32 Ahşap LVL Kolon-Kiriş yapı One Click LCA yapı malzeme listesi ... 79
Şekil 4.33 Bütün YDD süreçlerine göre GWP etkileri (a), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre GWP etkileri (b), Kaynak türlerine göre GWP etkileri (c), Bütün YDD süreçlerine göre AP etkileri (d), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre AP etkileri (e), Kaynak türlerine göre AP etkileri (f) 83
Şekil 4.34 Bütün YDD süreçlerine göre EP etkileri (a), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre EP etkileri (b), Kaynak türlerine göre EP etkileri (c), Bütün YDD süreçlerine göre ODP etkileri (d), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre ODP etkileri (e), Kaynak türlerine göre ODP etkileri (f) 84
Şekil 4.35 Ahşap GLT kütük yığma yapı sistem kesiti 85
Şekil 4.36 Ahşap GLT kütük yığma yapı modeli 85
Şekil 4.37 Ahşap GLT kütük yığma yapı One Click LCA yapı malzeme listesi 87
Şekil 4.38 Bütün YDD süreçlerine göre GWP etkileri (a), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre GWP etkileri (b), Kaynak türlerine göre GWP etkileri (c), Bütün YDD süreçlerine göre AP etkileri (d), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre AP etkileri (e), Kaynak türlerine göre AP etkileri (f) 91
Şekil 4.39 Bütün YDD süreçlerine göre EP etkileri (a), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre EP etkileri (b), Kaynak türlerine göre EP etkileri (c), Bütün YDD süreçlerine göre ODP etkileri (d), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre ODP etkileri (e), Kaynak türlerine göre ODP etkileri (f) 92
Şekil 4.40 Bütün YDD süreçlerine göre sistemlerin GWP karşılaştırması 93
Şekil 4.41 Seçilen YDD süreçlerine göre sistemlerin GWP karşılaştırması..... 94
Şekil 4.42 Seçilen yapı elemanlarına göre sistemlerin GWP karşılaştırması... 95
Şekil 4.43 Bütün YDD süreçlerine göre sistemlerin AP karşılaştırması 96
Şekil 4.44 Seçilen YDD süreçlerine göre sistemlerin AP karşılaştırması 97
Şekil 4.45 Seçilen yapı elemanlarına göre sistemlerin AP karşılaştırması 98
Şekil 4.46 Bütün YDD süreçlerine göre sistemlerin EP karşılaştırması 99

Şekil 4.47 Seçilen YDD süreçlerine göre sistemlerin EP karşılaştırması 100
Şekil 4.48 Seçilen yapı elemanlarına göre sistemlerin EP karşılaştırması..... 101
Şekil 4.49 Bütün YDD süreçlerine göre sistemlerin ODP karşılaştırması 102
Şekil 4.50 Seçilen YDD süreçlerine göre sistemlerin ODP karşılaştırması 103
Şekil 4.51 Seçilen yapı elemanlarına göre sistemlerin ODP karşılaştırması . 104
Şekil 4.52 Sistemlerin etki kategorilerine göre karşılaştırılması..... 105
Şekil 4.53 Sistemlerin LCA, EN-15978 oranları 106
Şekil 5.1 Yapı sistemlerinin YDD süreçlerindeki etki oranları 108

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Çağdaş ahşap yapı malzemeleri ve yapı sistemlerindeki görevi 32
Tablo 4.1 Etki kategori örnekleri..... 49
Tablo 4.2 Yapıda sabit tutulacak veriler..... 53
Tablo 4.3 Ahşap kütük yığma yapı sisteminde kullanılan yapı malzemeleri.. 55
Tablo 4.4 Ahşap kütük yığma yapı sistemi yapı kategorilerinin kütle ağırlıkları 56
Tablo 4.5 Ahşap kütük yığma yapı sistemi YDD 57
Tablo 4.6 Ahşap kütük yığma yapı sistemi, A1-A3 süreci malzemeleri etki değerleri..... 57
Tablo 4.7 Ahşap platform çerçeve yapı sisteminde kullanılan yapı malzemeleri 62
Tablo 4.8 Ahşap platform çerçeve yapı sistemi yapı kategorilerinin kütle ağırlıkları 64
Tablo 4.9 Ahşap platform çerçeve yapı YDD 64
Tablo 4.10 Ahşap platform çerçeve yapı sistemi, A1-A3 süreci malzemeleri etki değerleri..... 65
Tablo 4.11 Ahşap CLT panel yapı sisteminde kullanılan yapı malzemeleri 70
Tablo 4.12 Ahşap CLT Panel yapı sistemi yapı kategorilerinin kütle ağırlıkları72
Tablo 4.13 Ahşap CLT panel yapı YDD 72
Tablo 4.14 Ahşap CLT panel yapı sistemi, A1-A3 süreci malzemeleri etki değerleri..... 73
Tablo 4.15 Ahşap LVL Kolon-Kiriş yapı sisteminde kullanılan yapı malzemeleri 78
Tablo 4.16 Ahşap LVL kolon-kiriş yapı sistemi yapı kategorilerinin kütle ağırlıkları 80
Tablo 4.17 Ahşap LVL Kolon-Kiriş yapı YDD 80
Tablo 4.18 Ahşap LVL Kolon-Kiriş yapı sistemi, A1-A3 süreci malzemeleri etki değerleri..... 81
Tablo 4.19 Ahşap GLT kütük yığma yapı sisteminde kullanılan yapı malzemeleri..... 86
Tablo 4.20 Ahşap GLT kütük yığma yapı sistemi yapı kategorilerinin kütle ağırlıkları 87
Tablo 4.21 Ahşap GLT kütük yığma yapı YDD 88
Tablo 4.22 Ahşap GLT yığma kütük yapı sistemi, A1-A3 süreci malzemeleri etki değerleri 89
Tablo 4.23 Karşılaştırılan sistemlerin LCA EN-15978 değerleri..... 105

ÖZET

Geleneksel ve Çağdaş Ahşap Yapıların Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinin Karşılaştırmalı Analizi

Sadık AKŞAR

Mimarlık Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Gökçe TUNA TAYGUN

Ahşap, tarih öncesi dönemlerden beri insanlara barınma ihtiyacı sağlamak için kullanılan yapı malzemelerinden birisidir. İnsanlık tarihi boyunca sıklıkla kullanılan ahşap, sanayi devrimi ile birlikte yapısal ve işlevsel olarak değişen ve düşeyde yükselen kentlerde strüktürel olarak yetersizlikler göstermeye başlamıştır. Strüktürel olarak yetersiz kalan geleneksel ahşap, 21. yy. teknolojisi ile çağdaş ahşap yapı malzemeleri ve sistemleri olarak geliştirilmiştir. Hafif, hızlı yapım ve inşa kolaylığına sahip, yeniden kullanılabilir ve geri dönüştürülebilir çağdaş ahşap yapı malzemeleri ile sürdürülebilir, yenilikçi yapılar üretilmekte, bugünün sosyal ve çevresel ihtiyaçlarına, sorunlarına çözüm olabilmektedir.

Yapılar bir yandan canlılara barınma ihtiyacı sağlarken, bir yandan da çevreye ve insan sağlığına zarar vermektedir. Bu durum sonucunda dünyada çevre sorunları için bir çözüm olabilecek sürdürülebilirlik kavramının uygulanabileceği yöntemler geliştirilmiş ve yapıların çevresel etkilerini azaltma ve kontrol altına alma yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Bu doğrultuda geliştirilen araçlardan birisi yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD)'dir. YDD, beşikten mezara süreçte yapı ve yapı ürünlerinin olası çevresel etkilerinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Bir

yapıda YDD ile, yaşam döngüsü süreçleri boyunca kaynak (hammadde, enerji vb.) tüketiminin ve atık üretiminin en az indirildiği, çevre dostu, sağlıklı ve ekonomik tasarımlar gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadır.

Bu bağlamda çalışmada; ahşap yapı malzeme ve sistemleri ve geleneksel ve çağdaş yapı sistemleri irdelenecektir. Çevresel değerlendirme yöntemlerinden YDD yönteminin tarihsel gelişimi, aşamaları ve standartları incelenecektir. Seçilen yapı sistemlerinin üretim, kullanım ve yaşam sonu süreçlerine dair çevresel etkilerinin analizi için, YDD araçlarından One Click LCA'nın kullanımına karar verilmiştir. Çalışma kapsamında tasarlanan konut yapısının geleneksel ve çağdaş yapı sistemlerinden seçilen kütük yığma, platform çerçeve, CLT panel, LVL kolon-kiriş, GLT kütük yığma sistemlerine göre oluşturulan taşıyıcı sistem tasarımları doğrultusunda YDD yapılarak, küresel ısınma potansiyeli, asidifikasyon potansiyeli, ötrofikasyon potansiyeli, ozon tabakası incelme potansiyeli etki kategorilerine dair olan etkileri karşılaştırılarak, hangi taşıyıcı sistem türünün çevreye ne kadar zarar verdiğine yönelik değerlendirmeler yapılmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler; Sürdürülebilirlik, yaşam döngüsü değerlendirme, çevresel etki, ahşap yapı

ABSTRACT

Comparative Analysis Of Life Cycle Assessment Of Traditional And Contemporary Timber Buildings

Sadık AKŞAR

Department of Architecture

Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Gökçe TUNA TAYGUN

Timber, which has been used frequently throughout the history of humanity, started to show structural inadequacies in cities that have changed structurally and functionally while rising vertically with the industrial revolution. The traditional timber, which is structurally inadequate, has been developed as contemporary timber with technology with 21st century technology possibilities. Sustainable and innovative structures are produced with contemporary reusable and recyclable timber building materials that are lightweight, easy to reusable and recyclable, and this method can be a solution to today's social and environmental needs and problems.

While buildings provide shelter for living, we cannot overlook the damage of them on the environment and human health. As a result of this situation, methods have been developed to apply the concept of sustainability, which can be a solution for environmental problems in the world, and studies are carried out to reduce and control the environmental impact of structures. One of the tools developed in this direction is life cycle assessment (LCA). LCA is used to evaluate the possible environmental impacts of buildings and building products in the 'cradle-to-grave'

process. The use of LCA method in a structure enables the realization of environmentally friendly, healthy, and economical designs in which the consumption of resources (raw materials, energy, etc.) and waste production are minimized throughout the life cycle processes.

In this context, in the study; timber building materials and systems, and traditional and contemporary building systems will be examined. The topic will be followed by the examination of historical development, stages and standards of the LCA method, which is one of the environmental assessment methods, will be examined. For the analysis of the environmental impacts of the selected building systems on production, use and end-of-life processes, it was decided to use the 'One Click LCA'. Within the scope of the study, LCA was made in line with the carrier system designs created from the traditional and contemporary building systems of the designed residential building. Within the scope of the study, load-bearing systems were created according to the log masonry, platform frame, CLT panel, LVL column-beam, GLT log masonry systems selected from the traditional and contemporary building systems of the designed residential building. In line with these data, by making LCA, the effects of global warming potential, acidification potential, eutrophication potential, ozone layer depletion potential effect categories were compared, and evaluations were made regarding which carrier system type and how much damage to the environment.

Keywords: Sustainability, life cycle assessment, environmental impact, timber building

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Yapma eylemi, insanoğlunun çevresini düzene sokması Taş Çağının karanlıklarında başlamaktadır. Yapı yapma eylemi, istenen herhangi bir amaca uygun bir biçimi ve bu biçimi ayakta tutacak strüktürü amaca uygun bir malzeme ve yapım olanakları ile gerçekleştirmiştir. Geleneksel yapılarda, bütün büyük yapı eylemlerinin ne kadar az sayıda malzeme ve ne kadar ilkel tekniklerle yürütüldüğü, çağdaş teknolojinin nefes kesen olanaklarından haberi olan bizler için şaşırtıcıdır. On dokuzuncu yüzyıla gelene kadar, yapı strüktürlerini kurmaya olanak veren taş, ağaç ve topraktır. Ahşap materyalinin, elde edilmesi işlenmesi ve taşınması kolaydır. Ahşabın, geçmiş uygulamalarda gözlediğimiz diğer önemli özelliği, sonradan başka malzemelerle inşa edilmiş birçok mimari biçimin önceleri onun olanaklarıyla, onun damgasını taşıyarak meydana gelmiş olmalarıdır. Ahşap geleneksel malzemeler hafifliği, çekme ve eğilmeye dayanması en öne çıkan özellikleridir. Bu özellik ahşabın büyük açıklıkları geçmekte tercih edilmesinin sebebidir. Özellikle Türkiye'nin konut yapılarının ana malzemelerinden biri olan ahşap, saçak ve cumba gibi özgün yapı öğelerinin kullanılışının yaygın bir hale gelmesinin nedeni sayılabilir [1].

Çalışkan, Ö.'nün, (2019) "Ahşap ve Ahşap Yapıların Dünü, Bugünü ve Yarını" başlıklı makalesinde, ahşap yapı malzemesinin ortaya çıkmasının beton ve çeliğe kıyasla çok daha eskilere dayandığından, ahşap yapıların, ilk çağlardan başlayıp günümüze kadar uzanan gelişim sürecinde, ahşabın doğadan kolay bir biçimde elde edilmesi ve yapım aşamasında kolaylıkla uygulanabilmesine rağmen yavaş bir biçimde gerçekleştiğinden bahsedilmektedir. 19. yy.'da Sanayi Devrimi'nin etkisiyle teknolojik gelişmelerle birlikte yeni ürünlerin yapı sektöründe kullanılması, çelik ve betonarme yapım sistemlerinin ortaya çıkıp uygulanması ile günümüze yakın dönemde ahşabın yapılarda taşıyıcı malzeme olarak kullanılması azaldığından bahsedilmektedir [2].

Çevre sorunlarının temelinde sanayileşmenin ortaya çıkardığı üretim unsuru yer almaktadır. Özellikle Sanayi Devrimi'nin 'sanayi toplumu'nu ortaya çıkarması, birçok sorunu da beraberinde getirmiştir. Sanayi Devrimi'yle birlikte üretim kaynağı olarak algılanmaya başlayan çevre, sanayileşme sürecinde çok yoğun şekilde üretime katılmıştır. Çevrenin bir üretim unsuru olarak görülüp bu şekilde kullanılması, başta kirlilik olmak üzere çeşitli çevre sorunlarına yol açmıştır [3].

IPCC'nin (2014) "Uluslararası İklim Değişikliği Paneli" beşinci değerlendirme raporunda, iklim değişikliğinin baskın nedeninin insan etkisinin çok yüksek oranda olduğu, endüstrileşme öncesi ile kıyaslandığından dünya sıcaklık ortalamasının 2°C arttığı, önümüzdeki dönemlerde insan nüfus artışı ile birlikte yapı gereksinimlerinde artacağını ve enerji tüketimi ve çevresel etkilerinin de dolaylı olarak artış göstereceği belirtilmektedir. Enerji tüketimi ve çevresel etkilerin azaltılması amacıyla binalarda düşük tüketimli ve sıfır enerjiye yakın bir yatkınlık sağlanması gerektiğinden bahsedilmektedir [4].

Binalar dünyadaki toplam enerjinin yaklaşık %40'ını tükettiği için mimaride enerji verimliliği kritik öneme sahiptir. [5] Türkiye'de binaların toplam enerji tüketiminin %35,4'ü ile benzerdir [6]. Ayrıca binaların enerji tüketiminde sürekli bir artış beklenmektedir [7].

Gül, N.'nin (2019) "Çağdaş Ahşap Yapım Sistemlerinin Çok Katlı Yapılarda Kullanımının İncelenmesi" başlıklı makalesinde, 21. yy. 'da sürdürülebilirlik kavramının ön plana çıktığı ve çevresel etkilerin azaltıldığı günümüzde, yaşanan teknolojik gelişmeler ile birlikte yeni ahşap teknolojileri hem merkezileşen kentlerin ihtiyaçlarını sağlamaktadır hem de enerji kaynaklarının kullanımında azalmalar gösterdiği belirtilmiştir [8].

Geleneksel ahşap ürünlerin kullanımını genişletmek, ahşap kaynak kullanımının verimliliğini artırmak ve belirli uygulamalar için özellikleri geliştirmek için yenilikçi mühendislik ürünü olan ahşap yapı ürünleri geliştirilmektedir. Yangına dayanıklılık ve yapısal bütünlük gibi ahşap ürün tasarımındaki gelişmeler, ahşap malzemelerin daha uzun ahşap binalarda kullanımını teşvik etmeye yardımcı olur ve ahşabın uygulamasını tek aileli evlerin ötesinde genişletir. Sürdürebilirliğe

artan ilgi, ahşap malzemelerin kitlesel kullanımını ve ahşap ürünleri sektöründe daha fazla gelişmeyi gerçekten ilerletmektedir [9].

Onat, S. M.'nin (2018) "Ahşap Yapı Teknolojisindeki Gelişmeler" başlıklı bildirisinde, ahşap malzemenin yenilenebilir ve sürdürülebilir olması gelişmiş ülkelerde tercih edilmesine yol açtığından, hızlı gelişen ağaç türlerinin kullanımıyla koru ve yağmur ormanlarının korunması, yangın ve biyolojik tahribata karşı gelişmiş yöntemlerin kullanılmasının ahşabın tercih edilme sebeplerinden birisi olduğundan bahsedilmektedir. 21. yy. başlarında Almanya'da yeni inşa edilen konutların %40'ından fazlası, İskandinavya'da ise yaklaşık %85'i ahşabı ana yapı malzemesi olarak kullanıldığından bahsedilmektedir [10].

Birleşik Krallıktaki İklim Değişikliği Komitesi (CCC), ormanlarda sürdürülebilir yöntemlerle üretilmiş ağaç ürünlerinde depolanan karbonda bir artışa yol açabilecek, sürdürülebilir bir şekilde yönetilen ormancılık kapsamındaki arazi alanında bir artış için girişimde bulunuyor. Biyokütlenin yalnızca sürdürülebilir bir oranda hasat edilmesi gerektiğini ve bu tür malzemelerin iklim açısından en faydalı kullanıma sunulması gerektiğini savunuyor: 'inşaatta ahşap kullanımında önemli artış' bir öncelik olarak tanımlanmaktadır [11].

Tayguın, G. T.'nin (2011) "Yapı Ürünlerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi" başlıklı makalesinde, 20. yy. sonlarında çevre sorunları, doğal kaynakların azalması ve çevrenin zarar görmesi tartışılmaya ve gerekli çalışmaların başlatıldığı, yapı ürünleri ve çevre sorunları ele alındığında, ürünlerin kullanım sürecinde çevreyi etkilemesi ile birlikte yapı ürünlerinin hammadde üretiminden, üretim, yapıya uygulama, kullanım ve ömrünü tamamlaması sonrasında tekrar kullanımı ya da geri dönüştürülmesi gerektiğinden bahsedilmektedir [12].

Yaşam Döngüsü Değerlendirme ile ilgili ilk çalışmalar 1960'lı yılların sonunda ve 1970'lerin başında başlamıştır. Bu çalışmaların çoğu enerji analizleri ile sınırlı iken, daha sonraları kaynak gereksinimleri, salım artışları ve atık üretimi konularını da kapsayacak şekilde artmıştır. 1960'ların ikinci yarısından itibaren artan endüstriyel faaliyetler sonucunda, üretim-tüketim sisteminin ekolojik denge üzerinde neden olduğu zararlı etkilerin farkına varılmıştır [13].

Owsianiak, M. vd.'nin (2018) "LCA Applications" adlı makalesinde, yaşam döngüsü değerlendirmesi örnekleri vermekte ve bu örnekler ile birlikte yaşam döngüsü değerlendirmesinin bilime dayalı bir karar vermeyi desteklediğinden bahsedilmektedir. Yaşam döngüsü değerlendirmesinin farklı amaçlarının olduğundan, malzeme, uygulama ve değerlendirme de olan önemlerinden bahsetmektedir [14].

Yaşam döngüsü değerlendirme, karar vericilerin çevreye en az etkiyle sonuçlanan ürünü veya süreci seçmelerine yardımcı olabilir. Bu bilgiler, bir ürün veya süreç seçmek için maliyet ve performans verileri gibi diğer faktörlerle birlikte kullanılabilir. Yaşam döngüsü değerlendirme verileri, çevresel etkilerin bir ortamdan diğerine ve/veya bir yaşam döngüsü aşamasından diğerine aktarımını tanımlar [15].

Yaşam döngüsü kapsamında yapı ürünü seçimini optimize etmek için çeşitli metodolojiler ve araçlar geliştirilmiştir. Bu araç ve metodolojiler, tasarımcıların malzeme seçimi konusunda objektif kararlar vermelerine yardımcı olur [16].

Yapı malzemesinin oluşum enerjisinin değerlendirilmesinde geri-dönüşüm önemli bir değişken olarak görülmektedir. Geri kazanılmış kereste ve ahşap yer döşemelerinin incelendiği bir çalışmada, yeni ve geri kazanılmış malzeme kıyaslanmıştır ve geri-kazanılmış malzemenin çevresel etkilerinin çok daha düşük çıktığı görülmektedir [17].

"Life Cycle Energy Use in Office Buildings" adlı makalede, ahşap, çelik ve betonarme binaların toplam yaşam döngüsü enerji kullanımlarını dönemsel ve toplam süreçler kapsamında inceleyerek, çelik ve betonarme yapıların ahşap bir yapıya göre daha fazla enerji kullanıldığından bahsetmektedirler [18].

Hozatlı, B.'nin (2014) "Muğla İli Koşullarında Betonarme ve Ahşap İskeletli Binalara Ait Yaşam Döngüsü Analizi" adlı makalesinde, farklı yapı katmanları oluşturulmuş betonarme ve ahşap iskeletli tipler oluşturmakta ve bunları yaşam döngüsü değerlendirme aracıyla karşılaştırmaktadır. Ortaya çıkan sonuçlarda ahşap iskeletli yapının daha düşük enerji kullandığından bahsetmektedir [19].

Skullestan, J. L. vd.'nin (2016) "High-Rise Timber Buildings as a Climate Change Mitigation Measure- A Comparative LCA of Structural System Alternatives" adlı

bildirisinde, çeşitli yüksekliklerde betonarme yapıların, taşıyıcı sisteminin betonarme ve ahşap olarak hesaplaması ile birlikte oluşan bütün tiplerin iklim değişikliği etkisi değerlendirmesini yapmaktadır. Ortaya çıkan sonuçlarda, ahşap yapı sisteminin her yükseklikteki yapı tipinde daha az etkisinin bulunduğundan bahsetmektedir [20].

Allan, K., vd'nin (2021) "Comparative Cradle-to-Grave Life Cycle Assessment of Low and Mid-Rise Mass Timber Buildings with Equivalent Structural Steel Alternatives" adlı makalesinde, elde edilen sonuçlara göre, geleneksel karbon yoğun malzemelerin yerine çapraz lamine ahşap kullanılmasının, değerlendirme yapılan her iki şehirde de enerji tüketimini %30'dan fazla azaltacağını ve CO_2 emisyonunu %40'tan fazla azaltacağını göstermekte ve belgenin çevresel etkiyi aza indirmek için uygun ayrıntılarla çapraz lamine ahşabın soğuk bölgelerde kullanılmasının potansiyelini desteklediğinden ve gösterdiğinden bahsetmektedir [21].

Eliassen A. R., vd'nin (2019) "Comparative LCA of a Concrete and Steel Apartment Building and a Cross Laminated Timber apartment building" adlı bildirisinde, aynı yapının, betonarme, çelik ve çapraz lamine ahşap yapım sistemiyle birlikte, belirli etki alanlarına göre yaşam döngüsü değerlendirme sonuçları, çapraz lamine ahşap binanın üretim aşamasına bakıldığında beton ve çelik binaya göre %25, tüm aşamalara bakıldığında ise %13 daha düşük sera gazı emisyonuna sahip olduğunu gösterdiğinden bahsetmektedir [22].

Gelişen ahşap yapı teknolojisi, sıklıkla kullanılan yapı sistemi olan betonarme ve çelik ile benzer potansiyelleri sunmaktadır. Bu doğrultuda yapılan bazı araştırmalar sonucunda, ahşap yapı sistemlerinin, betonarme ve çelik yapı sistemleriyle birlikte yaşam döngüsü değerlendirmesi ait çeşitli çalışmalara erişilmiştir. Erişilen sonuçlara göre, ahşap yapı sistemleri, betonarme ve çelik yapı sistemleri göre daha sürdürülebilir bir sistem olduğu sonucu gözlemlenmektedir.

Jani M., vd'nin (2019) "Sustainability Evaluation of Timber Dwellings in The North of Swedenbased on Environmental Impact and Optimization of Energy and Cost Based on Environmental Impact and Optimization of Energy and Cost" adlı makalesinde, İsveç'te yer alan, biri ahşap çerçeve sistemden üretilen tek katlı,

diğeri çapraz lamine ahşap sistemden üretilen toplu konut işlevli, iki farklı yapının birim metrekare üzerinden, yaşam döngüsü değerlendirmesi yapıldığında, ahşap çerçeve sistemden üretilmiş olan yapının küresel ısınma etkisi değerlerinin daha düşük olduğu, dolayısı ile daha çevreci olduğu bahsedilmektedir [23].

Svajlenka, J., vd'nin (2018) "Perception of User Criteria in the Context of Sustainability of Modern Methods of Construction Based on Wood" adlı makalesinde, ahşap yapı sistemlerinden, ahşap yığma yapı sistemi, ahşap çerçeve sistemini ve ahşap panel sistemini sürdürülebilirlik göstergesi analizi ile incelediğinde, ahşap panel yapı sisteminin diğerlerinden daha sürdürülebilir olduğundan, ahşap çerçeve sisteminin ise, ahşap yığma yapı sisteminden daha sürdürülebilir olduğundan bahsetmektedir [24].

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda, ahşap yapılar insanın varlığından beri çeşitli işlevler ile birlikte kullanıldığı, Endüstri Devrimi'ne kadar da sıklıkla kullanılan bir yapı sistemi olduğu, Endüstri Devrimi beraberinde yoğun kentleşmelerin oluşması ile birlikte o döneme ait olan ahşap yapı sistemleri yetersiz kalmasına dair çeşitli veriler elde edilmiştir. Endüstri Devrimi sonrası enerji kaynaklarının kontrolsüz ve geri dönülemez şekilde tüketilmesiyle birlikte, 20. yy.'da enerji krizlerinin ortaya çıktığına, enerji kaynaklarının daha kontrollü bir şekilde kullanılmasına dair çeşitli çalışmaların yapıldığına ve bu çalışmalarda yaşam döngüsü değerlendirme yönteminin ürünlerin beşikten mezara olan döngüsünde çevreye nasıl etki ettiklerine dair bilimsel kaynaklar sağladığına dair veriler elde edilmiştir.

Yapılan değerlendirmeler sonucuna göre, endüstri sonrasında teknolojik gelişimler gösteren ahşap yapı sistemlerinin sıklıkla kullanılan diğer yöntemlere göre daha sürdürülebilir olduğuna ve çevreye verdiği zararın daha az olduğuna dair çeşitli veriler elde edilmiştir. Sıklıkla ahşap yapı sistemlerinin, diğer yapı sistemleri ile yaşam döngüsü değerlendirmesi karşılaştırılmasına dair çeşitli veriler elde edilmiştir. Günümüzde oldukça sık kullanılan şekli olan geleneksel sistemler ile gelişen teknoloji ile birlikte yenilenen çağdaş ahşap sistemler arasında olan yaşam döngüsü değerlendirme araçlarını kullanarak çevresel etkilerini karşılaştırma çalışmalarına oldukça sınırlı şekilde erişilmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Tez çalışmasında;

- Geleneksel ve çağdaş ahşap yapı malzemeleri ve sistemlerinin irdelenmesi,
- Yaşam döngüsü değerlendirmesi kavramının yapı malzemesi, ürünler ve sistemleri üzerinden incelenmesi,
- Bir yaşam döngüsü değerlendirmesi aracı ile ahşap yapı sistemlerinin, yaşam döngüsü bağlamında çevresel etkilerinin karşılaştırılmalı olarak irdelenmesi

amaçlanmıştır.

Belirlenen amaçlara ulaşmak için kapsamda;

- Geleneksel ve çağdaş ahşap yapı sistemlerinden kütük yığma, platform çerçeve, CLT panel, LVL kolon-kiriş, GLT kütük yığma yapı sistemleri,
- Yaşam döngüsü değerlendirmesi araçlarından One Click LCA yazılımı,
- Yaşam döngüsü süreçlerinden kurulum süreci (A5) haricinde tüm süreçler,
- Yaşam döngüsü değerlendirmesi etki kategorilerinde küresel ısınma potansiyeli, asidifikasyon potansiyeli, ötrofikasyon potansiyeli ve ozon tabakası incelme potansiyeli

seçilmiştir.

Hammadde edinimi, ürün üretimi süreçlerine (A1-A3) dair veriler seçilen yaşam döngüsü değerlendirme aracının veritabanından elde edilmiştir. Çağdaş ahşap yapı malzemelerinin seçiminde, program dahilinde yerel kaynaklarla üretildiği ele alınarak analiz oluşturulmuştur. Yapının kullanım ömrü boyunca tükettiği enerji ve temiz su kaynaklarının tüketimine dair veriler, kaynak sağlayıcı firmaların oluşturduğu bilgilerden alınarak analize eklenmiştir.

1.3 Hipotez

Çalışma kapsamında seçilen geleneksel ve çağdaş ahşap yapı sistemlerinin yaşam döngüsü değerlendirilmesinin yapıldığı bu çalışma;

- Geleneksel ve çağdaş ahşap yapı malzemelerinin tanımlanması ile birlikte malzeme olanaklarının değerlendirilmesiyle yeni tasarımlar ve uygulamalar için bir katkısı olabileceği,
- YDD araçlarından seçilen One Click LCA'nın çalışma yönteminin irdelenmesi ile birlikte çevresel etki değerlendirmesinde, girdi ve çıktı oluşumu, etki kategorilerinin sınıflandırmasının tanımlanmasıyla hangi ölçütlerde kullanım kolaylığı sağladığına dair bir katkısı olabileceği,
- Tasarlanan bir konut yapısının, geleneksel ve çağdaş ahşap yapı sistemlerinin kullanımı ile birlikte çevreye olan etkilerinin yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi aracılığı ile irdelenmesi ve karşılaştırılması yardımıyla, günümüzde kullanılacak ahşap yapı sistemlerinden hangisinin tercih edilebileceği

varsayımlarına dayanmaktadır.

Bu çalışmanın ilk bölümünde; konuya ilişkin literatür özeti, çalışmanın amacı, hipotez ve sınırlılıklar açıklanmış, ikinci bölümünde; ahşap yapı malzemeleri ve sistemleri tanımlanmış, üçüncü bölümünde; yaşam döngüsü değerlendirme kavramı açıklanmış, aşamaları ve etki alanları ve araç çeşitleri tanımlanmış, dördüncü bölümünde; seçilen ahşap yapı sistemleri, seçilen yaşam döngüsü değerlendirme aracı ile birlikte çevresel etki analizleri yapılmış ve yapılan analizler birbirileri ile karşılaştırılmıştır.

2
AHŞAP YAPI MALZEMELERİ VE SİSTEMLERİ

Ahşap yapı malzemeleri ve yapı sistemleri; çalışmanın bu bölümünde geleneksel ve çağdaş sınıflaması ile ele alınmıştır.

2.1 Geleneksel Ahşap Yapı Malzemeleri ve Sistemleri

İnsanlığın ilk dönemlerinde mücadelesi esasen yiyecek ve savunmaydı. Daha sonraki dönemlerinde barınma da bir gereksinim haline geldi. Ahşap, insanlığın varoluşundan beri yakacak, alet, yiyecek ve barınma sağlamıştır. İnsanlığın ihtiyaçları geliştikçe, ahşabın kullanımı da gelişti. Ahşabın erken zamanlarda bilinen en yaygın kullanımı, çatıyı desteklemek için kirişler olarak dallardan oluşan çadır benzeri barınaklarda kullanılmasıdır (Şekil 2.1) [25].

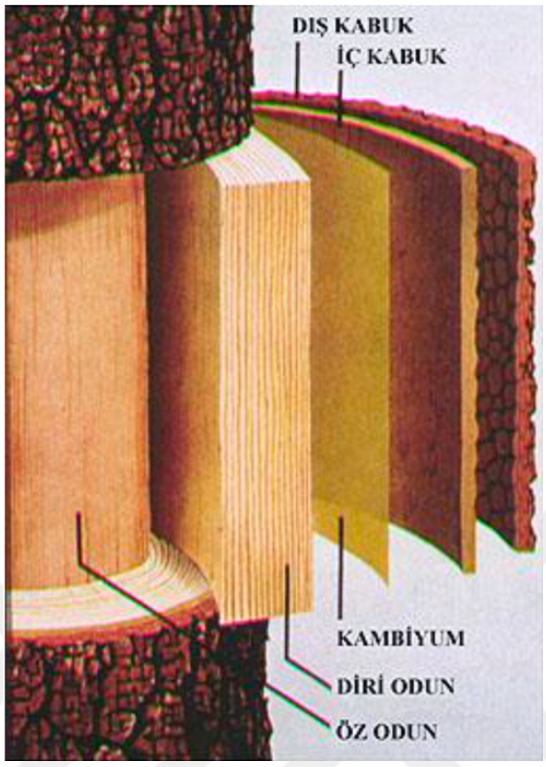


Şekil 2.1 Ahşabın erken zamanlarda barınak oluşumunda kullanılan formu [25]

2.1.1 Geleneksel Ahşap Yapı Malzemeleri

Ahşap, ağaçtan elde edilmiş geleneksel bir yapı malzemesidir. Ağacın yapısı ele alındığında, ağaç canlı bir organizma olup kök, gövde ve dallardan oluşur. Ağaç gövdesinin çap kesiti incelendiğinde, ağacın fiziki yapısı merkezden dışa doğru; öz odun, diri odun, kambiyum, iç kabuk ve dış kabuktan oluşmaktadır (Şekil 2.2). Ağaç hücreleri ince, uzun ve içleri boş borucuklar seklinde olup bunlara lif denir. Ağaç kimyasal olarak %40-50 oranında selüloz, %20-30 oranında hemiselüloz, %20-30 oranında lignin ve az oranlarda albümin, eteri yağlar, karbonhidrat, mineral tuz, mum, reçine, tanen ve renk veren maddelerden oluşmaktadır. Bu

kimyasal maddelerden ağacın büyük bir bölümünü oluşturan selüloz ve lignin, ağaca mukavemetini veren ana maddelerdir [26].



Şekil 2.2 Bir ahşabın katmanları [27] [28]

Ahşap yapı malzemeleri genel anlamda, ağaçların kesilmesi, kurutulması ve işlenmesiyle elde edilmektedir. Doğada farklı özelliklere sahip birçok ağaç çeşidi bulunmaktadır. Ahşap malzemenin üretiminde kullanılan ağacın yapısı ve özellikleri ahşap malzemenin genel özelliklerini belirlemektedir [26].

Genel olarak yapılarda kullanılan ağaç türleri, iğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaçlar olarak iki gruba ayrılmaktadır;

- İğne yapraklı ağaçlara yumuşak ağaçlar da denilmekte, doğrama, kalıp, iskele, çatı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Karaçam, sarıçam, kızılçam, fıstık çamı, Toros sediri, doğu ladini ve köknar bazı iğne yapraklı ağaç türleridir [29],
- Geniş yapraklı ağaçlara sert ağaçlar da denilmekte olup çoğunlukla sık ve sert dokulu liflere sahiptir. Mobilya, kapı ve parke yapımında kullanılmaktadır. Meşe, kayın, gürgen, dişbudak, ceviz bazı geniş yapraklı ağaç türleridir [29] [30].

Ahşap yapı malzemelerin özellikleri ele alındığında;

- Lifli ve boşluklu dokusundan dolayı hafif olmasına rağmen dayanım değerleri yüksek [31],
- İç yapısının hava boşluklu olmasından dolayı ses yutma özelliği bakımından ideal [29],
- Isı iletkenlik katsayısı oldukça düşük olduğundan diğer malzemelerle karşılaştırıldığında ısıyı daha az ileten ve iyi bir yalıtım sağlayan [29],
- Geri dönüşüm olanağı olması ve üretim enerjisi tüketimi ve küresel ölçekte sera etkisine neden olan CO_2 oluşumu miktarı bakımından diğer malzemeler oranla daha düşük değerler göstermesinden dolayı çevre açısından ekolojik [32],
- Yangına karşı özel bir önlem alınmamış ahşap, yanıcı [33]

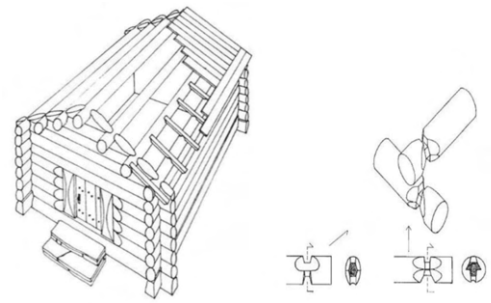
bir malzemedir.

2.1.2 Geleneksel Ahşap Yapı Sistemleri

Geleneksel ahşap yapılar; yığma ve karkas sistemler ile üretilmiştir [34].

2.1.2.1 Ahşap Yığma Yapı Sistemi

Yığma sistem, ahşap işlenmeden tomruk olarak alınmakta, köşelerde tomrukların üst üste geçebilmesi için dişler açılmakta ve yarım geçmeli olarak oturtulmaktadır (Şekil 2.3) [35].



Şekil 2.3 Ahşap yığma yapı sistemi ve detayı [36]

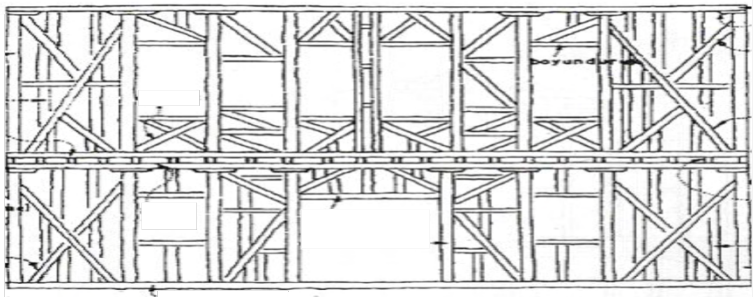
Geleneksel ahşap yığma yapılarda düşey yükler, birbirileri üzerine mesnetlenen ahşap kütüklerin uçlarından, en üstten alta doğru aktarılarak, temele kadar ulaşmaktadır. Dolayısıyla da yapı yüksekliğinin artması düşey yüklerin artmasına ve kütüklerin uçlarında deformasyona sebep olmaktadır. Ancak yapıda

kullanılacak olan kütüklerin çeşitli mekanik ya da kimyasal olarak işlenmesi ve birleşim yerlerinden bağlantı elemanları ile güçlendirilmesi ile birlikte yatay yüklere karşı dayanımının artması mümkündür [37] [38].

2.1.2.2 Ahşap Karkas Yapı Sistemi

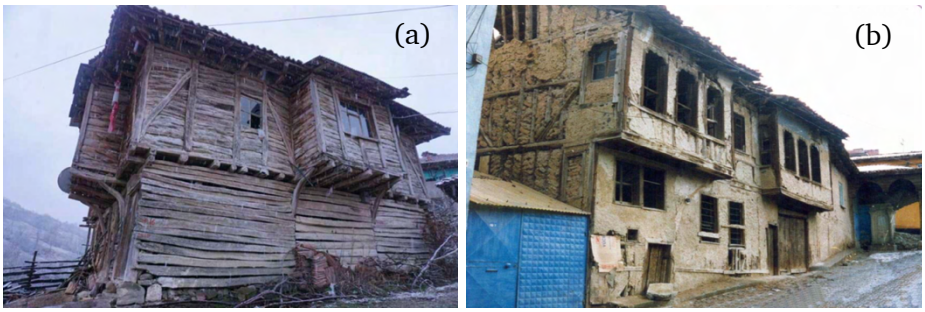
Ahşap karkas yapı sistemi, tek boyutlu ahşap elemanların taşıyıcılık görevini üstlendiği, dikmeler arasında kalan boşlukların dolgu malzemesi ile doldurulduğu sistemlerdir (Şekil 2.4). Yüzeyleri bazen çıplak bırakılır, bazen de çeşitli kaplama malzemeleriyle kaplanarak sistem oluşumu tamamlanır. Yığma sistemlere göre ahşabın daha ekonomik olarak kullanıldığı sistemlerdir [39].

Ahşap karkas yapı sisteminin üretiminde temel olarak birçok farklı yapım yöntemi vardır. Bu farklı yöntemlerin hepsi, yük taşıyan elemanların ve bağlantıların düzenlenmesinde değişiklik gösterir. Karkas yapım yöntemleri yatay ve dikey elemanların düzenlenmesine göre; dikme ve kiriş çerçeve (tek ve iki katlı), düğüm kiriş çerçeve, kaburga çerçeve (balon ve platform çerçeve), çift kiriş çerçeve ve ayrık dikme çerçeve olmak üzere farklı gruplarda toplanabilmektedir. Bu farklılaşmada kiriş, dikme ya da her ikisi birden sürekli olmakta veya kirişler ya da dikmeler çift olabilmektedir [39].



Şekil 2.4 Ahşap karkas yapı sistemi kurgusu [39]

Ahşap karkas yapılar kendi içerisinde dolgu malzemesine, taşıyıcı sistem destek elemanlarına göre çeşitli sınıflandırmalara ayrılır. Dolgu malzemesine göre sınıflandırıldığında; ahşap dolgu (Şekil 2.5.a), kerpiç dolgu (Şekil 2.5.b), taş dolgu (Şekil 2.6.a) ve tuğla dolgu (Şekil 2.6.b) olarak sınıflandırılır ve incelendiğinde dolgu malzemesinin kullanılmasında, yapının inşa edilecek olan bölgede malzemeye erişimin etkin rol aldığı görülmektedir.

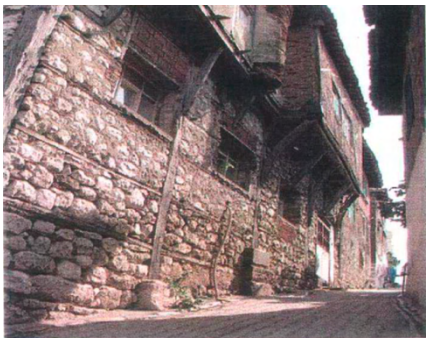


Şekil 2.5 Ahşap dolgulu ahşap karkas yapı, Samsun (a), Kerpiç dolgulu ahşap karkas yapı, Eskişehir (b) [40] [41]



Şekil 2.6 Taş dolgulu ahşap karkas yapı, Rize (a), Tuğla dolgulu ahşap karkas yapı, Samsun (b) [40] [41]

Taşıyıcı sistem destek elemanlarına göre sınıflandırıldığında; taşıyıcı sisteminde çapraz eleman bulunmayan ve taşıyıcı sisteminde çapraz eleman bulunan olarak sınıflandırılmaktadır. Taşıyıcı sisteminde çapraz eleman bulunmayan ahşap karkas yapı sistemi (Şekil 2.7), genellikle deprem riskinin önemli olmadığı bölgelerde kullanımı görülmektedir. Yapı sistemi açısından değerlendirildiğinde, sadece dikey taşıyıcı elemanlardan oluşan sistemli yapılarda, rüzgâr ve deprem gibi yatay yüklere karşı performansları yetersizdir [41].



Şekil 2.7 Taşıyıcı sisteminde çapraz eleman bulunmayan ahşap karkas yapı [34]

Taşıyıcı sisteminde çapraz eleman bulunan ahşap karkas yapı sistemi (Şekil 2.8), deprem bölgelerinde sıklıkla görülmektedir. Çapraz eleman kullanımı yapının çekmeye ve basınca karşı olan etkilerinin karşı daha yüksek performans gösterebilmektedir, dolayısıyla yapı deprem ve rüzgâr etkilerine karşı daha dayanıklı hal almaktadır [42].



Şekil 2.8 Taşıyıcı sisteminde çapraz eleman bulunan ahşap karkas yapı, Safranbolu [41]

2.2 Çağdaş Ahşap Yapı Malzemeleri ve Sistemleri

Endüstri devrimi sonrasında, kentlerin yoğunlaşması ile birlikte kentlerin yapısal ihtiyaçlarını, dönemin en çok kullanılan yapı malzemesi olan ahşap, karşılayamaz ve yerini betonarme ve çelik yapı sistemlerine bırakır. Süreç içerisinde doğal kaynakların hızla tükenmesi ve enerji kriz ile, yeniden kullanabilir ve dönüştürülebilir olan ahşap, çağdaş teknolojilerin geliştirilmesi ile yapı malzemenin olarak yeniden gündeme gelir.

Leonardo Da Vinci tarafından üretilen tabakalı ahşap, 16. yüzyıla kadar dayanmaktadır. Dönemin koşullarında kimyasal teknolojiler yeterli olmadığından ahşap kalaslar, dişler açılarak birleştiriliyor. 1835-1855 yılları arasında İngiltere ve İskoçya'da 16-36 m açıklığında demiryolu köprülerinde yer almaktadır. Yapıda kullanımı ise 1860 yılında Southhampton Nikah Dairesinin (Şekil 2.9) çatı kirişlerinde 9 m açıklık geçerek görülmektedir. 1900 yılları başında Otto Hetzer, 40 m açıklık geçebilecek yapısal özelliklere sahip 'glulam' patentini almıştır.



Şekil 2.9 Southhampton Nikah Dairesi [43]

Tabakalı ahşabın, kapsamlı uygulama potansiyelinin fark edilmesi ile yapısal ahşap elemanların uzunlukları ve kesit boyutları artmış, kavisli ve konik elemanlar üretilmeye başlanmış ve bu da tasarımda esnekliği mümkün kılmıştır.

20. yüzyılın sonlarına doğru Kuzey Amerika'da yapısal olarak geliştirilmesi ile birlikte 4-5 katlı ahşap çerçeve yapılar yapılmıştır, Almanya ve Avusturya'da çapraz tabakalı ahşap ürün üretilmiş ve yapılarda kullanılmıştır [44].

21. yy ile birlikte yeni ahşap yapı ürünü üretmek daha hızlı, daha güvenli bir hale gelmektedir ve farklı bağlantı teknikleri ile birleştirilmesi, yapısal elemanların önceden üretilmesi, farklı ahşap yapı sistemlerinin geliştirilmesi doğrultusunda ahşap yapı sistemlerinin gelişmesi görülmektedir [45].

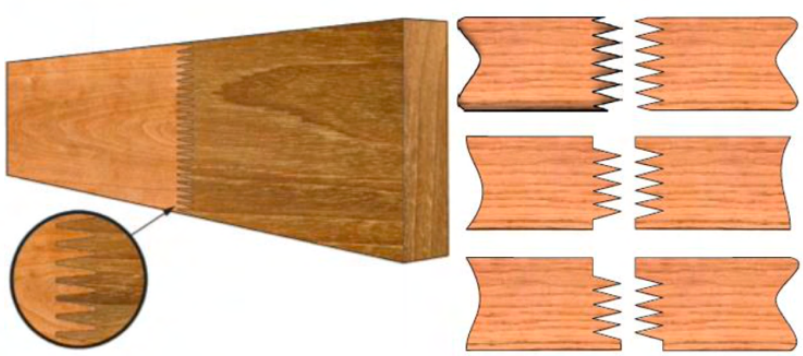
2.2.1 Çağdaş Ahşap Yapı Malzemeleri

Ahşap doğal yapısı nedeniyle bünyesinde budaklar, çatlaklar gibi direnç azaltan kusurlar barındırmaktadır ve lif yönüne göre malzemenin dayanımı değişmektedir. Doğal ahşap malzeme çevresel faktörlerden etkilenebilmektedir. Yumuşak ahşaptan üretilen çeşitli ahşap malzemeler boyutsal olarak sınırlı kalmaktadır [33].

Çağdaş ahşap yapı malzemeleri ise doğal ahşaba göre direnç azaltan kusurların giderilebildiği, çevresele faktörlere dayanım ve strüktürel olarak büyük açıklıkları geçebilme olanı sağlayabilen bir yapı malzemesidir [33]. Doğal ve yapma ahşap parçaların farklı boyut, biçim ve bir araya gelme teknikleri ile çeşitlenmektedir.

2.2.1.1 Tutkallı Tabakalı Ahşap (GLULAM/GLT)

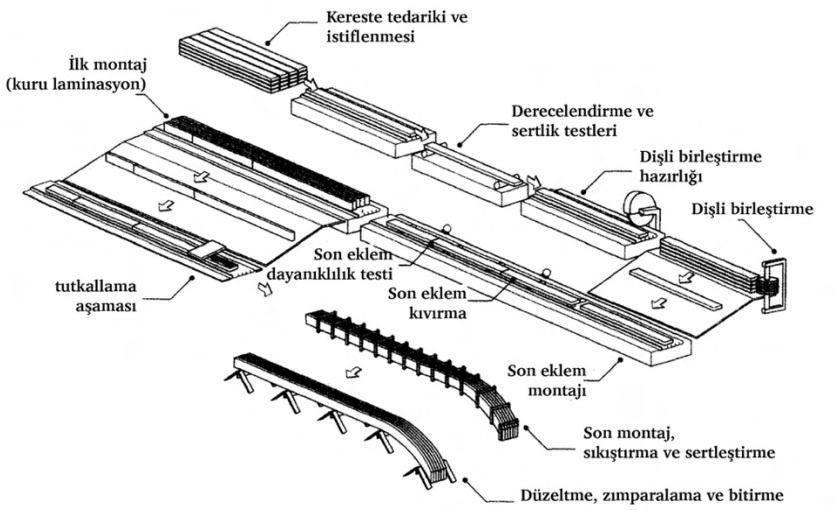
Glulam (GLT-glued laminated timber) olarak adlandırılan tutkallı tabakalı ahşap, masif ahşaptan daha homojen dağılımlı ve daha yüksek mekanik özelliklere sahip kompozit bir malzemedir. Ahşap parçaların, paralel laminasyon katmanları ile üretilen, işlenmiş bir ahşap üründür (Şekil 2.10) [46].



Şekil 2.10 GLT üretim sürecinde gerçekleşen dişli birleştirme detayı [46]

GLT malzemesinin, yapıda kullanım olanağı oldukça fazladır. Avrupa, Kuzey Amerika ve Japonya'da konutlarda platform çerçeve yapı sisteminde kiriş olarak, konut dışı binalarda kolon ve kafes kiriş gibi ana yapısal elemanlar olarak kullanımı sıklıkla görülmektedir. Ahşap taşıyıcı sistemde geniş açıklık geçilecek çatı makaslarında ve kirişlerde kullanılır. Üretim sırasında istenilen biçim verilebilmesi nedeniyle tasarımcının istediği biçimde üretilebilir [47].

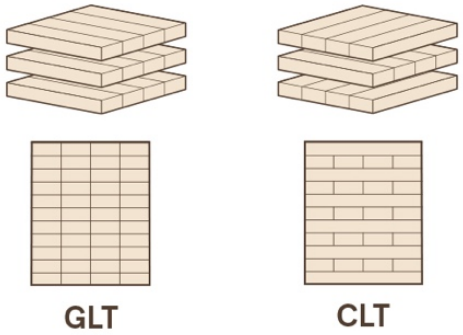
GLT, her ahşap parça 19-50 mm kalınlığında, 1,5-5 m uzunluğunda ve kama dişli birleştirme işlemi ve bir yapıştırıcı ile birleştirilmesi ve diğer tabakalarla tekrar yapıştırılması ile üretilmektedir (Şekil 2.11). Üretim sürecinde, öncelikle tabakalar işlenmeden ve birleştirilmeden %12 – 18 nem içeriğine kadar fırınlarda kurutulmaktadır. İnce tabakalar, liflere genel olarak paralel olacak şekilde tabakalanır; su ve neme ile sıcaklığa ve biyolojik etkenlere dayanıklı, sert ve güçlü yapısal yapıştırıcılarla yapıştırılır [46].



Şekil 2.11 GLT üretim süreci [47]

2.2.1.2 Çapraz Tabakalı Ahşap (CLT)

Çapraz tabakalı ahşap (CLT-cross laminated timber), GLT'den farklı olarak tabakaların yönleri birbirine zıt olacak şekilde yerleştirilip yapıştırılarak üretilmektedir (Şekil 2.12).

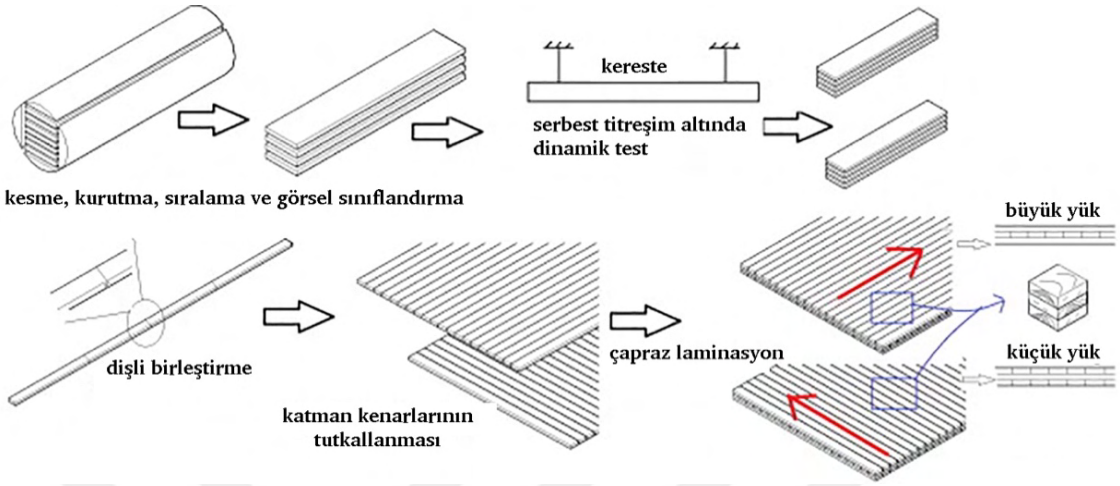


Şekil 2.12 GLT ve CLT dizim farklıları [48]

CLT malzemesi yapılarda taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan yapı elemanı olarak kullanılabilir. Taşıyıcı sistem olarak kullanımında geniş açıklıklar geçebilir, çelik, betonarme ve ahşap çerçeve sistemlerle bir araya gelebilir. CLT paneller üretilerek yapıların duvar ve döşemeleri prefabrike olarak üretilebilir. CLT panellerde pencere, kapı boşlukları olsa bile taşıyıcı olarak kullanılabilir [8].

CLT paneller üretim süreçlerinde, genellikle 3, 5, 7 veya daha fazla tabakalı, masif ahşap elemanların lif yönleri birbirine zıt olacak biçimde (genellikle 90°) birbirlerine geniş yüzeylerinden ve bazı durumlarda dar yüzeylerinden de tutkal

ile en az 0,6 N / mm^2 basınçla yapıştırılmış, mukavemetli, rijit elemanlardır (Şekil 2.13) [49]. Kalınlığı 51-297 mm, genişliği en fazla 4,8 mm ve uzunluğu 20 metre olarak üretilmektedir [8].



Şekil 2.13 CLT üretim süreçleri [50]

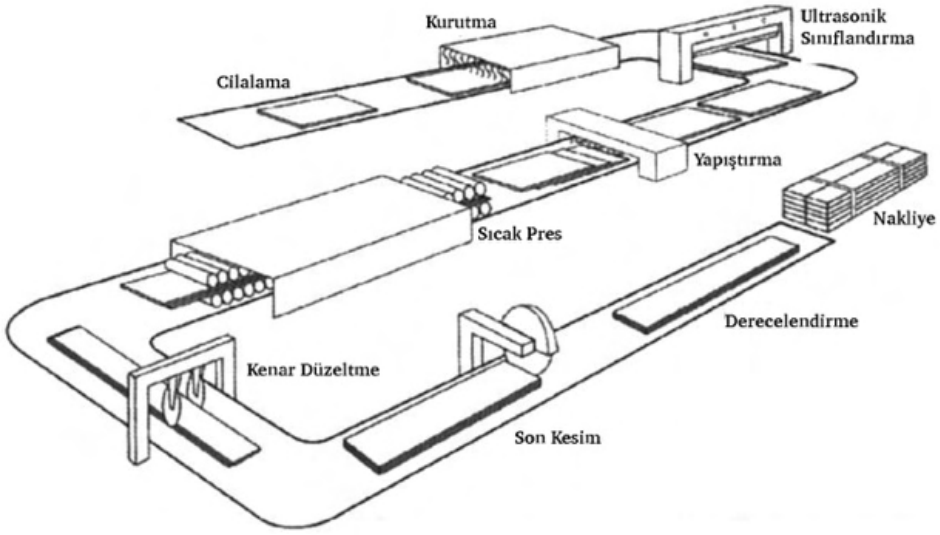
2.2.1.3 Lamine Kaplama Ahşap (LVL)

Lamine kaplama ahşap (LVL-laminated veneer lumber) yapılarda, yüksek mukavemet, boyutsal stabilite ve homojen olma gibi özelliklerinden yararlanarak, kirişler, ahşap I-kirişleri olarak yapısal bir kompozit bir ürün olarak kullanılmıştır. (Şekil 2.14).



Şekil 2.14 LVL malzemesi [51]

Boyutsal dayanıklılığı artırmak amacıyla lif yönleri bazı durumlarda çapraz olarak da kullanılmaktadır. LVL malzemesi üretim olarak, ince uzun ahşap şeritlerin liflerine paralel olacak şekilde, ısı ve basınç altında birleştirilmesiyle oluşturulur (Şekil 2.15) [52] [47].



Şekil 2.15 LVL üretim süreçleri [47]

2.2.1.4 Paralel Yonga Ahşap (PSL)

Paralel yonga ahşap (PSL-parallel strand lumber), 1970'lerde ahşap malzemelerin atıklarını kullanarak daha büyük boyutlu bir malzeme oluşturma amacı ile atıklar, ısı ve basınç altında yapıştırıcı ile birbirine yapıştırılarak üretilmiştir (Şekil 2.16, 2.17) [47].

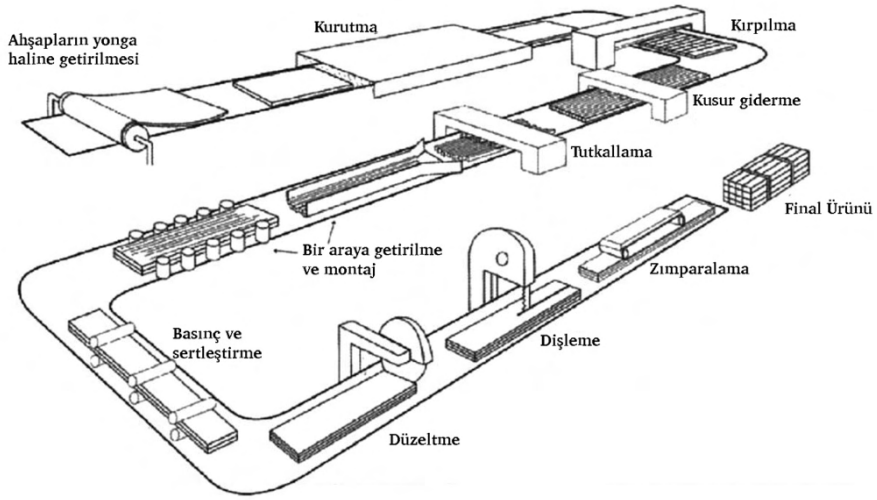


Şekil 2.16 PSL malzemesi [53]

PSL malzemesi yapılarda, konutlarda, kiriş veya kolon olarak ve ahşap çerçeve yapımında kirişler, başlıklar ve lentolar olarak kullanım için çok uygundur [47].

PSL malzemesi üretim olarak, aynı genişliğe sahip olduğu LVL'den farklı olarak, her biri yaklaşık 3,2 mm kalınlıkta ve 19-20 mm uzunluğunda, 3 metre uzunluğundaki uzun yonga şeritlerinden oluşur (Şekil 2.18). Bunun nedeni hammaddenin daha verimli kullanılabilmesidir. Aynı zamanda yongalar, PSL için

bir taşıma kayışı işleminde uzunlamasına taşınır ve hem güçlü hem de tutarlı bir malzeme elde edilir, bu da mevsim değişikliklerinden kaynaklanan büzülme, bükülme, çukurlaşma, eğilme veya ayrılmaya daha az eğilimlidir [54] [47].



Şekil 2.17 PSL üretim süreçleri [47]

2.2.1.5 Lamine Yonga Ahşap (LSL)

Genel yapısı ile LVL ve PSL'ye benzeyen Lamine Yonga Ahşap (LSL- aminated strand lumber), LVL ve PSL'ye göre daha dayanıklıdır, ayrıca daha fazla yoğun olması nedeniyle de boyutsal stabilitesi daha fazladır (Şekil 2.18) [47] [55].



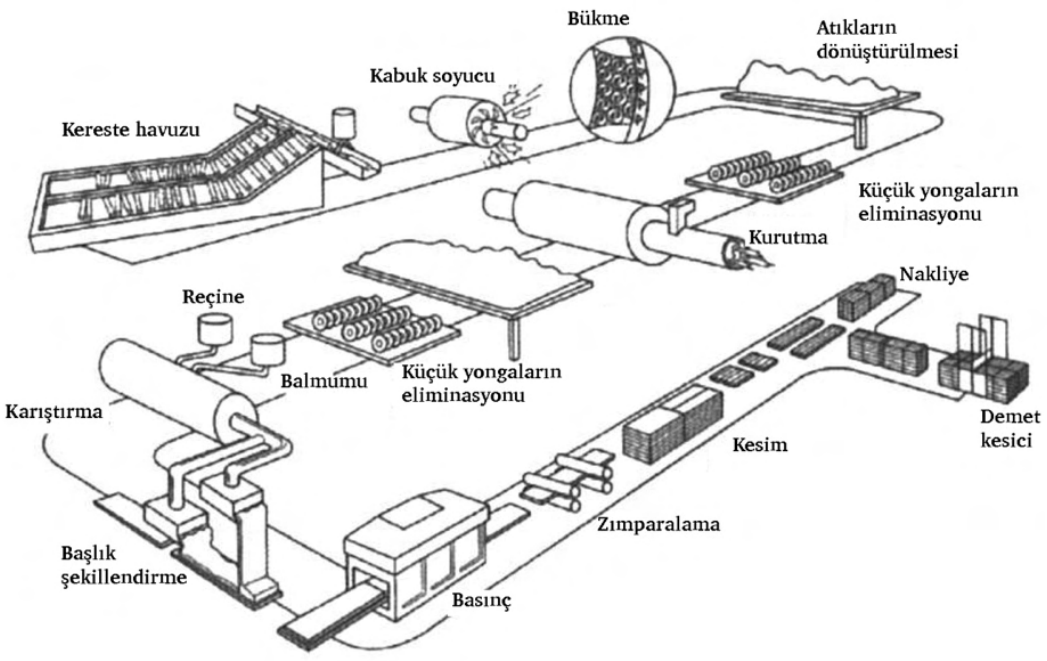
Şekil 2.18 LSL malzemesi [56]

LSL, yapılarda strüktürde başlıklar ve kirişler, duvar ve çatı yapımında dikmeler, zemin kat döşemesinde kirişler ve doğrama işleri için kullanılmaktadır (Şekil 2.19).



Şekil 2.19 LSL'nin ahşap çerçeve sistemlerde kullanımı [56]

LSL, 300 mm uzunluğa ve 30 mm genişliğe kadar ahşap yongalardan ve poliüretan bazlı bir yapıştırıcı ile üretilir. Yongalar paralel bir yönde yerleştirilir ve 2,44 m genişliğinde ve 14,63 m'ye kadar uzunlukta, 140 mm'ye kadar çeşitli kalınlıklarda keresteler halinde oluşturulur. Keresteler daha sonra buhar enjeksiyonu ile gerekli kalınlığa kadar preslenir (Şekil 2.20) [47].



Şekil 2.20 LSL üretim süreçleri [47]

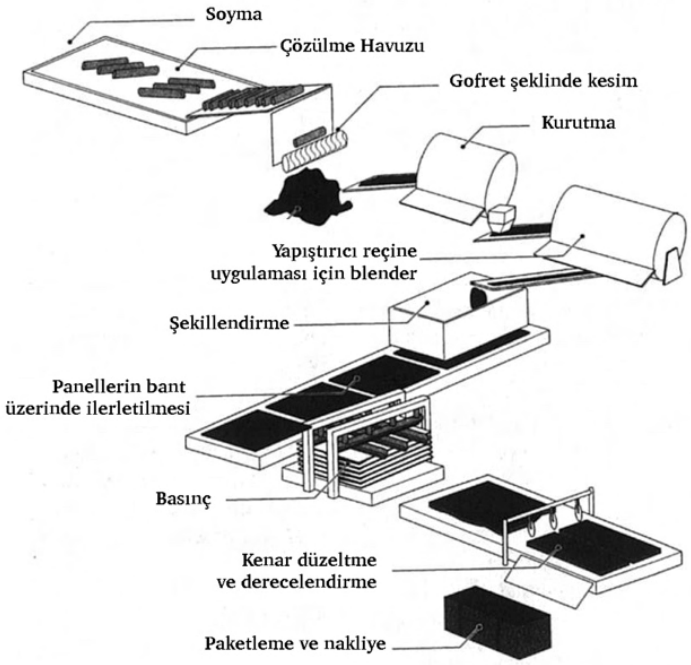
2.2.1.6 Yönlendirilmiş Yonga Levha (OSB)

Yönlendirilmiş yonga levha (OSB- oriented strand board), küçük çaplı yuvarlak ahşap atıklarının dilimlenmiş, ısı ve basınç altında, yapıştırıcı (%95 ahşap, %5 reçine ve mum içeren) kullanılarak üretilmektedir (Şekil 2.21, 2.22) [47].



Şekil 2.21 OSB malzemesi [57]

OSB panelleri, dış katmanlarında uzun panel yönünde yönlendirilmiş yongalardan, iç katmanlarında ise rastgele yönlendirilmiş yongalardan oluşur. Güçleri esas olarak çok katmanlı yapıları ve panellerin çapraz yönlenmesinden kaynaklanmaktadır [46].



Şekil 2.22 OSB üretim süreçleri [47]

2.2.1.7 Çivili Lamine Ahşap (NLT)

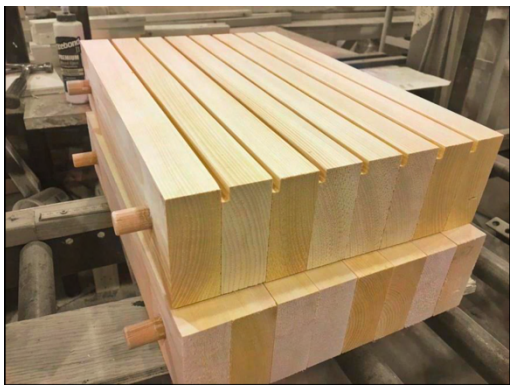
Çivili lamine ahşap (NLT- nail laminated timber), geniş yüzeyleri yan yana olacak şekilde istiflenerek, geniş düz paneller oluşturacak şekilde birbirine çivilerle ya da vidalarla mekanik olarak sabitlenmesiyle oluşturulan yapı elemanlarıdır (Şekil 2.23) [55]. NLT, yapılarda döşeme ve çatılarda kullanılmaya, asansör ve merdiven şaftlarında sıklıkla kullanılmaktadır [58].



Şekil 2.23 NLT malzemesi [59]

2.2.1.8 Kavelalı Lamine Ahşap (DLT)

Kavelalı lamine ahşap (DLT- dowel laminated timber), yumuşak ahşap levhaların sert ahşap dübelleri ile birbirine birleştirilmesi ile üretilmektedir (Şekil 2.24) [58].



Şekil 2.24 DLT malzemesi [60]

DLT paneller, 18 m uzunluk, 4,3 m genişlik ve 76-349 mm arasında değişen bir kalınlığa sahiptir. Panel boyutunu genellikle nakliye kısıtlamaları sınırlamaktadır [55].

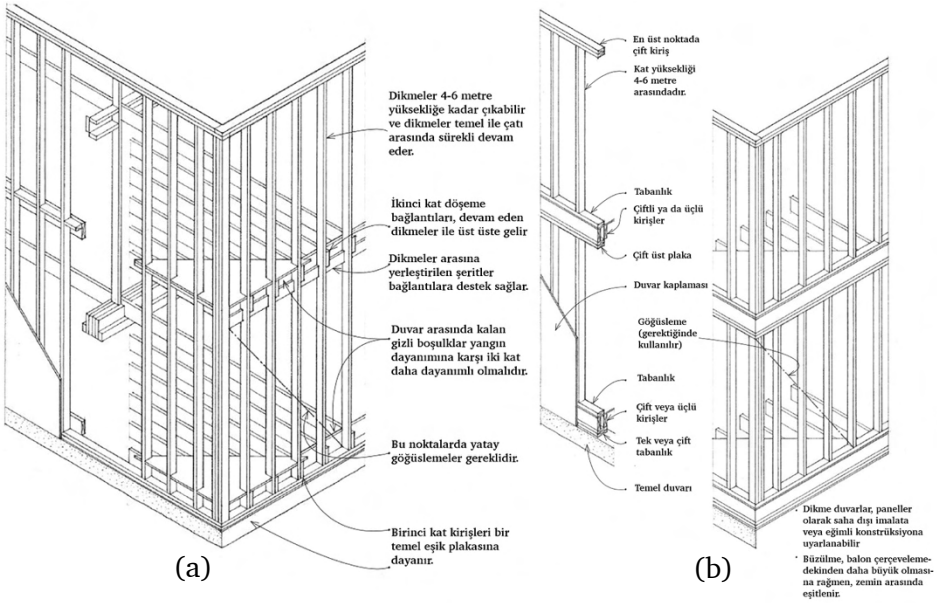
2.2.2 Çağdaş Ahşap Yapı Sistemleri

Çağdaş ahşap yapı malzemesi ve sistem üretimi, ileri teknoloji ve endüstrileşmiş üretim süreçlerinin kullanımıyla, yapının tasarım aşamasından, üretiminin tamamlanma durumlarına kadar bütün süreçlerinin iş gücü ve çalışma süresinin en aza indirilmesi önceden planlanmasıyla oluşmaktadır. Yapıma ilişkin tüm malzeme üretimlerinin ve süreçlerinin yoğunlukla endüstri ile üretildiği, makine ve organizasyon yoğunluğu oldukça fazladır [61].

Ahşap yapı sektöründe olan gelişmelere ek olarak akademik çalışma ve araştırmaların katkıları ile birlikte geliştirilmesiyle sürdürülebilir, yenilenebilir olması yapılarda kullanımını ön plana getirmiştir. Ön plana çıkması ile birlikte çağdaş ahşap malzemeler çeşitlenmiştir ve farklı yapı sistemleri geliştirilmiştir. Avrupa ülkelerinde sıklıkla kullanılan çağdaş ahşap yapı sistemleri; Almanya, Avusturya ve Norveç gibi ülkelerde çok katlı ahşap yapılarda da taşıyıcı sistemi oluşturmuştur [62].

2.2.2.1 Ahşap Çerçeve Yapı Sistemi

Ahşap çerçeve yapılar, balon çerçeve ve platform çerçeve olarak iki sistem ile üretilmektedir (Şekil 2.25). Ahşap balon çerçevede kullanılan dikmeler yapı boyunca devam etmekte ve bu durum da yapının yüksekliğini sınırlamaktadır. Ahşap platform çerçevede ise kullanılan dikmeler her katta kullanılan döşemeler tarafından kesilmekte ve bu durum da toplam yapı yüksekliğini dikmelerin yüksekliğine bağlı olmadan daha yüksek yapı üretimine olanak sağlamaktadır. Ayrıca ahşap balon çerçevede, yapı yüksekliği boyunca devam eden dikmeler nedeni ile olası bir yangında yapının tamamının tutuşma olasılığı oldukça yüksektir [63] [62] [64].



Şekil 2.25 Ahşap balon çerçeve iskelet, (a), Ahşap platform çerçeve iskeleti (b), [65]

Ahşap çerçeve yapılar, hafif olmaları nedeni ile titreşme ve yanal hareketler yapmaya müsaittir. Bu durumları önlemek amacıyla çağdaş ahşap yapı malzemelerinin kirişlerde kullanılmakta ve daha geniş açıklık geçebilme olanağı sağlamaktadır (Şekil 2.26). Kat sınırı 6-7 kat ile sınırlıdır [66].



Şekil 2.26 Ahşap Platform Çerçeve yapı sistemi ile üretilmiş yapı [67]

2.2.2.2 Ahşap Kolon-Kiriş Yapı Sistemi

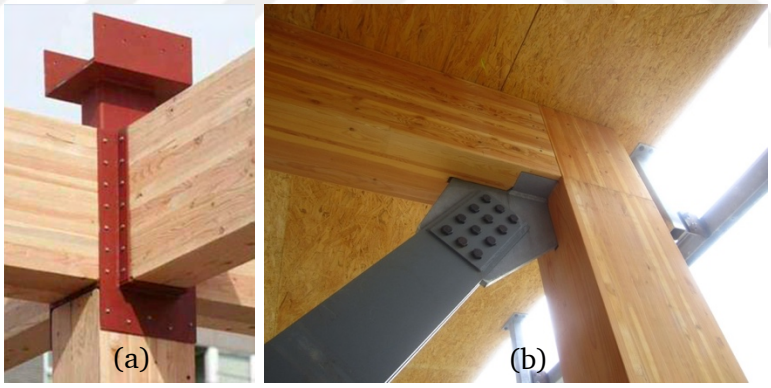
Kolon-kiriş yapı sistemi, yapıya etkiyen yüklerin dikey bir şekilde en üstten temele aktarılmasını sağlar (Şekil 2.27). Ahşap kolon-kiriş yapı sistemi, genellikle kalın kesitli ahşap elemanlar ile oluşturulur, GLT, LVL, PSL gibi yapı malzemeleri kullanılır. Kalın kesitli ahşap malzemelerin kullanılması, hafif ahşap çerçeve ve

diğer ağır yapı sistemlerine kıyasla daha geniş açıklıkları geçebilmekte, daha yüksek yapı kurulumuna izin vermektedir [68].



Şekil 2.27 GLT kullanılarak üretilmiş ahşap kolon-kiriş yapı sistemi [69]

Kolon-kiriş bağlantılarında, ahşap elemanların büyüklüklerine göre, metal bağlantı elemanları kullanılır (Şekil 2.28 (a)). Kolonların geçtiği aralıklar genişledikçe, rüzgâr ve deprem gibi yatay yüklere karşı daha dayanımlı olmaları amacıyla, kolonlar arasına çapraz metal elemanlar bağlanır (Şekil 2.28 (b)) [62].

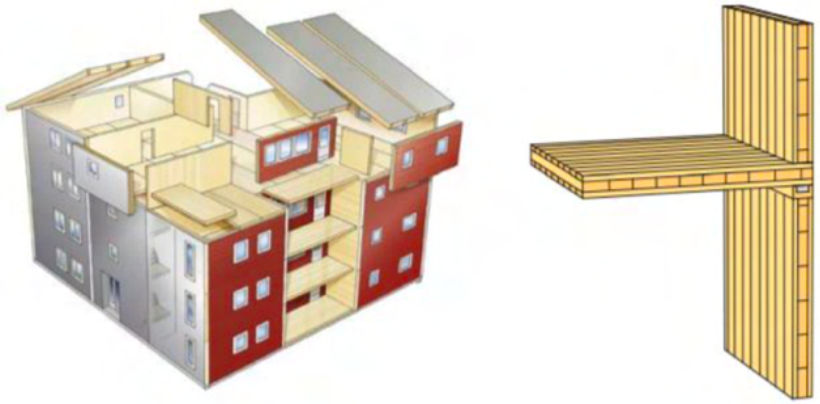


Şekil 2.28 Ahşap kolon kiriş birleşiminde çelik bağlantı elemanı kullanımı (a), Ahşap kolon kiriş sisteminde çelik diyagonal eleman kullanımı (b) [70] [71]

2.2.2.3 Ahşap Panel Yapı Sistemi

Ahşap panel yapı sistemi, genellikle CLT yapı malzemesinin kullanımı ile oluşmaktadır. Ahşap paneller prefabrike olarak üretilir, birbirileri ile birleşecek paneller basit bağlantı detaylarına sahiptir, dolayısıyla hızlı inşa edilebilir. Taşıyıcı duvar, döşeme plağı olarak üretilen ahşap paneller, deprem, yangın, akustik ve titreşim performansı çok yüksek olanaklar sağlamaktadır (Şekil 2.29) [72].

Ahşap paneller, uygulanacak yapı için uygun büyüklüklere göre tasarlanır. Bu boyutlar, 5 cm'den, 45 cm'ye kadar kalınlık, 4 m'ye kadar yüksekliğe, nakliye durumuna göre yaklaşık 20 m uzunluğa olanak sağlamaktadır [72].



Şekil 2.29 Ahşap panel sistem [73]

Ahşap panel yapı sistemleri, yük taşıma kapasitesi ve ses yalıtımı açısından, örneğin çok katlı konut binaları gibi yüksek talepleri olan binalar için oldukça uygundur.

Ahşap panel duvarlar ve döşemeler, ahşap çerçeve sistemlere göre daha ağır ve stabil olduğundan dolayı daha fazla taşıma kapasitesi sağlamakta, uygun ebatlara göre daha önceden üretilmesi nedeni ile montaj süreleri de oldukça kısa olmaktadır. Paneller yerleştirilecek olan mahallerin gereksinimleri öngörülerek, tesisat şaftları, yalıtımları, kaplamaları yapılarak üretilir (Şekil 2.30) [74].

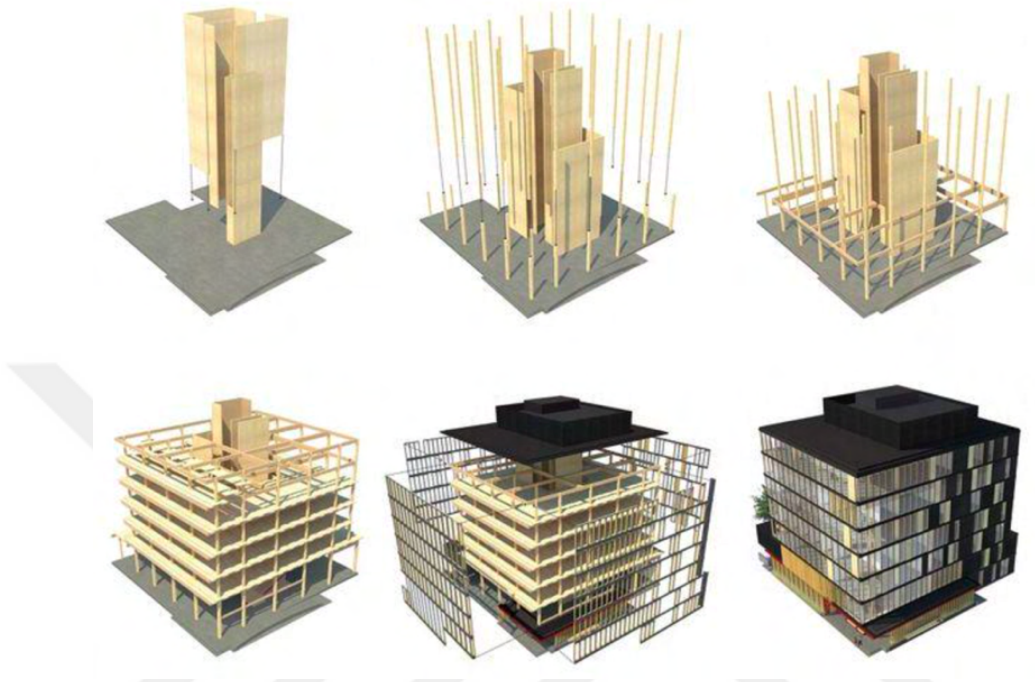


Şekil 2.30 Forte binasının yapı sistemi olan ahşap panel sisteminden panel elemanların şantiye alanında birleştirilmesi [75]

2.2.2.4 Ahşap Karma Yapı Sistemleri

Ahşap karma yapı sistemleri, birden fazla ahşap yapı sistemi çeşidinin bir arada kullanılması ile yapı üretim yöntemi olarak tanımlanmaktadır. Bu sistemler

içerisinde en yaygın olarak kullanılanı ahşap panel, ahşap kolon-kiriş, ahşap çerçeve sistemlerdir. Bu yapı sisteminde genel amaç, farklı ahşap yapı sistemlerinin sağladığı olanakların kullanılmasıyla birlikte, daha yüksek ve stabil bir yapı tasarımını sağlamaktır (Şekil 2.31) [70].



Şekil 2.31 Ahşap karma yapı sistemi bir araya gelen farklı ahşap yapı sistemleri [76]

Ahşap karma yapı sistemlerinde, genel olarak servis çekirdeği ve döşemeler CLT panel ile inşa edilmektedir. Sistem içinde kolonlar-kirişler ana taşıyıcı sistem olarak kullanılmaktadır ve genel olarak GLT yapı malzemesi kullanılır. Bölücü duvarlarda ise daha hafif olan ahşap çerçeve yapı sistemi tercih edilir. Böylelikle daha hafif ve daha sağlam bir yapı üretimine olanak sağlanır [70].

2.2.2.5 Ahşap Hibrit Yapı Sistemleri

Yapı üretiminde açıklık ve yükseklik artıkça strüktürel gereksinimler de artmaktadır. Bu gereksinimleri karşılamakta, bazen ahşap yapı malzemeleri tek başına yetersiz kalabilir. Bu durumda, ahşap yapı sistemleri ile birlikte farklı yapı sistemlerinin kullanılması ile ahşap hibrit yapı sistemleri oluşur. Hibrit sistemler aşağıdaki şekilde farklı yapısal sistemlerle oluşabilmektedir;

- Ahşap-beton hibrit sistem,
- Ahşap-çelik hibrit sistem,

- Ahşap-çelik-beton hibrit sistem.

Ahşap, beton ve çeliğin yapısal özellikleri birbirinden farklıdır. Çelik elemanlar, uygun şekilde tasarlandıklarında periyodik yükler altında büyük miktarda enerjiyi yayabilir ve bu yüzden deprem sırasında sünek davranırlar. Betonarme sistemler ise yüksek basınç ve eğilme dayanımına sahiptir [77] [78].

Ahşap-beton-çelik hibrit yapı sistemi ele alındığında, Almanya'da bulunan, 2008 yılında, yedi kat yüksekliğinde yapılan E3 yapısı örnek verilebilir. Yapının ahşap yapı sistemlerinde kolon-kiriş yapı sistemi tercih edilmiştir (Şekil 2.32). Kolon ve kirişler için GLT, döşeme için ahşap beton kompozit kullanılmıştır [79].



Şekil 2.32 E3 yapısı çelik bağlantı detayları [80]

Ahşap-çelik hibrit yapı sistemi ele alındığında, Amerika'da bulunan, 2018 yılında, sekiz kat yüksekliğinde yapılan Carbon 12 yapısı örnek verilebilir. Yapı, 25 metre yüksekliğindedir, zemin kattan itibaren taşıyıcı sistemi, ahşap kolon-kiriş yapı sistemidir. Kolonlarda ve kirişlerde GLT, döşeme ve çatıda CLT paneller kullanılmıştır (Şekil 2.33). Yapının çekirdeği yatay kuvvetlere karşı çelik malzeme ile inşa edilmiştir [81].



Şekil 2.33 Carbon 12 yapısı taşıyıcı sistemi [81]

Ahşap-beton hibrit yapı sistemi ele alındığında, Almanya'da bulunan, 2011 yılında, sekiz kat yüksekliğinde yapılan Hol8 yapısı örnek verilebilir (Şekil 2.34 (b)). 25 metre yapı yüksekliği olan yapının çekirdeği ön üretim panel, diğer katlar masif ahşap panel sistemdir (Şekil 2.34(a)). Yapı iki ayı içeren süre içerisinde inşa edilmiştir [82].



Şekil 2.34 Holz-8 yapısı ahşap panel sistemlerin şantiyede yerleşimi (a), Holz-8 yapısının tamamlanmış hali (b) [83]

2.2.2.6 Ahşap Prefabrike Modüler Yapı Sistemi

Ahşap prefabrike modüler yapı sistemi, yapı alt birimlerinin, her biri birbirinden bağımsız şekilde üretilen küçük birimlerden oluşmaktadır. Yapı, küçük birimlerinin ünite şeklinde fabrikalarda üretimi (Şekil 2.35) tamamlandıktan sonra şantiyeye taşınarak küçük birimlerin sahada birbirilerine monte edilmesiyle oluşturulur [55].



Şekil 2.35 Ahşap prefabrike modüllerin fabrika ortamında üretimi [84]

Şantiye sahasında montajı tamamlanan küçük birimlerin birbiri ile detaylandırıp tüm tesisat bağlantılarının tamamlaması ile son kullanıcıya hazır hale getirilir. Bu sistemde küçük birimler taşınıp, sahada monte edildiğinden dolayı her bir küçük hacim taşıyıcı eleman gibi çalışmaktadır [85].

Ahşap prefabrike modüler yapı sistemine örnek olarak, Norveç'te bulunan, 2015 yılında, 14 katlı olarak yapılmış Treet yapısı verilebilir. Yapının üretiminde ahşap prefabrike modüler yapı sistemi ve beton panel döşemeler kullanılmıştır. Yapının üretiminde kullanılan GLT kolon-kirişlerin iç boşluklarına, ahşap prefabrike modüller yerleştirilmiştir (Şekil 2.36) [86].



Şekil 2.36 Ahşap prefabrike modüler sistem ile üretilen Treet yapısı ahşap elemanları [87]

Çağdaş yapı malzemelerinin, yapı sistemindeki görevleri bağlamında kullanımları Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2. 1 Çağdaş ahşap yapı malzemeleri ve yapı sistemlerindeki görevi

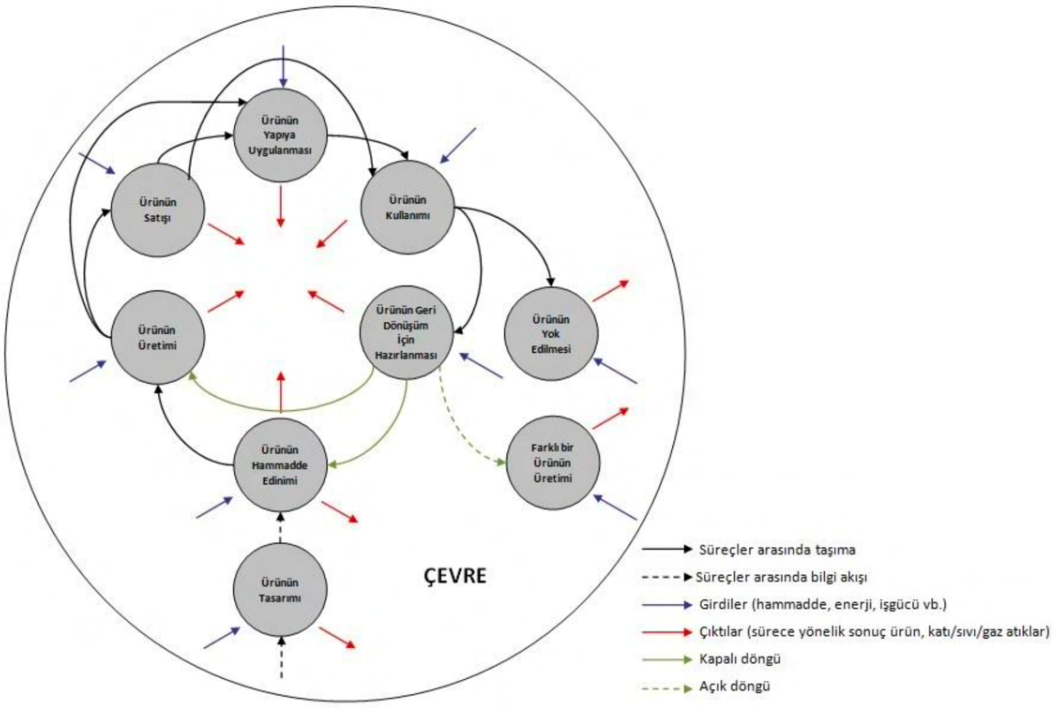
Çağdaş Ahşap Yapı Ürünü	**Çağdaş Ahşap Yapı Sistemlerindeki Görevi**	
	Öge düzeyinde	**Bileşen düzeyinde**
GLT	Taşıyıcı sistem	Kolon, kiriş
	Çatı	Çatı makasının bileşenleri
CLT	Duvar	İç duvarda duvarın kendisi
		İç duvar kesitinde taşıyıcı katman
		Dış duvar kesitinde taşıyıcı katman
	Döşeme	Döşeme kesitinde ara katman
GLT	Taşıyıcı sistem	Kolon, kiriş
	Çatı	Çatı makasının bileşenleri
LVL	Taşıyıcı Sistem	Kolon, kiriş, kiriş başlığı
PSL	Taşıyıcı Sistem	Kolon, kiriş, lento
LSL	Taşıyıcı Sistem	Duvar ve çatı dikmesi, kiriş başlığı
	Doğrama	Kapı ve pencere
OSB	Duvar	Duvar kesitinde ara katman
	Döşeme	Döşeme kesitinde ara katman
	Çatı	Çatı kesitinde ara katman
NLT	Duvar	Duvar kesitinde taşıyıcı katman
	Döşeme	Döşeme kesitinde taşıyıcı katman
	Çatı	Çatı kesitinde taşıyıcı katman
DLT	Duvar	Duvar kesitinde taşıyıcı katman
	Döşeme	Döşeme kesitinde taşıyıcı katman
	Çatı	Çatı kesitinde taşıyıcı katman

3
YAPILARDA YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ

21. yy ile birlikte hızla artan yapılaşma faaliyetleri sonucu doğal kaynaklar tüketilmekte, tarım alanları ve kentsel yeşil alanlar yapılı çevreye dönüşmektedir. Bu durum doğal çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilerde bulunmaktadır. Avrupa'da sadece yapıların harcadığı enerji, toplam küresel enerji harcamasının %40'ından; CO_2 salınımlarının da %32'sinden sorumludur [88].

Endüstriyel faaliyetler sonucu çevreye verilen olumsuz etkilerin azaltılması, doğal çevrenin korunması, geleceğe daha sağlıklı bir dünyanın bırakılması sürdürülebilir tasarım anlayışı ile mümkündür. Bu doğrultuda, enerji tüketiminin ve çevreye verilen zararın azaltılabilmesi için çözüm arayışları devam etmektedir [13].

Yaşam döngüsü değerlendirmesinin (YDD/LCA-Life Cycle Assesment) ilkesi; ürünlerin çevreye olan zararlı etkilerini belirlemek ve azaltmak, ekolojik çevreye en az düzeyde zarar veren ürünlerin seçilmesini sağlamaktır. YDD ürünlerin hammaddelerinin edinimi, üretimi, yapıya uygulanması, kullanılması ve ürünün kullanımının sona ermesi ile geri dönüşümü ya da yok edilmesi gibi süreçleri içine alan bir döngü boyunca oluşmuş ve olası çevre etkilerinin değerlendirilmesidir (Şekil 3.1) [89].



Şekil 3.1 Bir yapı ürününün yaşam döngüsü süreçleri, bu süreçlerin birbirleri ve çevre ile olan ilişkileri [90]

YDD alanında çalışmalar 1960'lı yıllarda, hammadde ve enerji kaynaklarının tüketiminin belirlenmesi amacıyla yapılmaya başlamıştır. 1975'lerde ABD ve İngiltere'de yaşanan enerji krizleri ile birlikte yönetimler, enerjiye yönelik çalışmalar yürütmüşlerdir. Katı atıklar ve geri dönüşüm konuları 1980'lerde önem kazanmış ve gelişmeye başlamıştır. 1990'larda Çevresel Zehirlilik ve Kimya Derneği (SETAC-Society of Environmental Toxicology and Chemistry) Kuzey Amerika ve Avrupa'da YDD'nin geliştirilmesi için önemli bir rol oynamıştır. SETAC'ın hedefleri arasında YDD yönteminin bilimsel olarak geliştirmenin yanında YDD ile ilgili araştırma sonuçlarının çevre yönetiminin çeşitli alanlarında uygulanmasına destek vermek de yer almaktadır [91] [92] [93].

1994 yılından itibaren Uluslararası Standartlar Teşkilatı (ISO-International Standarts Organization) YDD çalışmalarının yöntemlerinin standartlaşması için çalışmaya başlamıştır. ISO daha çok 14001 Çevre Yönetim Sistemleri ile tanınan 14000 serisi standartları arasında YDD'ye dair 14040 sayılı serisi de bulunmaktadır. ISO'nun 1994 yılından bu yana geliştirmekte olduğu 14040 standart serisi YDD'nin hem teknik hem de organizasyonel yapısıyla ilgilidir. ISO ile SETAC'ın paralel ve birbirini destekleyen çalışmaları YDD yönteminin içerdiği

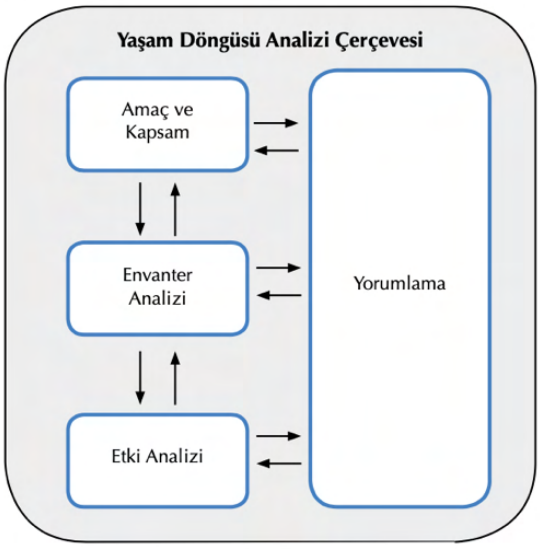
belirsizliklerin önemli ölçüde azaltılmasına ve uluslararası düzeyde daha kabul edilebilir bir duruma gelmesine önemli katkılarda bulunmuştur [94] [95] [89].

Bir YDD yapılırken, bütün süreçler (Şekil 3.2) ele alınabileceği gibi belirli süreçler de ele alınabilir. Yapı ürünlerinin hammadde ediniminden, söküm atıklarının tasfiye edilmesinin dahil edildiği süreçler 'beşikten mezara' olarak adlandırılmaktadır. Atıkların geri dönüşümü de söz konusu olduğu durumda ise 'beşikten beşiğe' olarak adlandırılmaktadır [96].

3.1 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Aşamaları

Bir YDD çalışması genel olarak dört aşamadan oluşmaktadır (Şekil 3.2) [97];

- Amaç ve kapsamın tanımlanması,
- Yaşam döngüsü envanter analizi,
- Yaşam döngüsü etki analizi,
- Yorumlama.



Şekil 3.2 Yaşam döngüsü değerlendirme aşamaları [93]

3.1.1 Amaç ve Kapsam Aşaması

Amaç ve kapsam aşaması; çalışmanın amacı, kapsamı. Ve varsayımı tanımlanarak, konusu ve sınırlamaları oluşturulur. Bu aşama ile birlikte çalışmanın kimin için ve neden yapıldığına cevap alınır [98] [89].

3.1.2 Yaşam Döngüsü Envanter Analizi Aşaması

Envanter analizi aşaması ile, yenilenebilir ve yenilenemeyen kaynakların kullanımları sırasında çevreye verilen zararlı salınımların ölçülmesi, gerekli kaynakların kullanımına karar verilmesine olanak sağlamaktadır. Böylelikle yapı sistemi ile çevre arasındaki etkileşimin ölçümü sağlanır, tanımlanan çalışmanın amaçlarını karşılamak için gerekli veriler toplanır [99] [100].

3.1.3 Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirme Aşaması

Etki değerlendirme aşamasında, envanter analizi sonuçları kullanılarak nitel olarak çevresel etkilerin büyüklüğü hesaplanır. Etki değerlendirmesi aşaması üç adımdan oluşmaktadır. Bunlar;

- Etki kategorilerinin, kategori göstergelerinin, nitelendirme modellerinin seçimi,
- Envanter analizinin sonuçlarının etki kategorilerine göre sınıflandırılması,
- Kategori gösterge sonuçlarının hesaplanmasıdır [101].

Etki değerlendirme aşamasında, çeşitli alt etki kategorileri bulunmaktadır. Etki sınıfları, çevresel olarak etki ettiği canlı grubu bulunmaktadır. Özetle etki değerlendirmenin amacı, çevresel öneminin anlaşılması için veri analizinden elde edilen sonuçların, çevresel etki üzerindeki katkılarına dönüştürmektedir
[102] [103].

3.1.4 Yorumlama Aşaması

Yorumlama aşaması, envanter analizi ve etki değerlendirme aşamalarından ait bulguların birlikte değerlendirileceği aşamadır. Çalışmanın amaç ve kapsam aşamasına uyumlu bir şekilde, YDD'nin sonuçlarını anlaşılabilen, eksiksiz ve tutarlı bir şekilde ortaya koyulmaktadır [97] [104].

3.2 Yapı Sistemlerinde Seçilen Sistemin ve Malzemenin Yaşam Döngüsü Süreçlerine Etkisi

Yapı sistemleri, çeşitli yapı malzemelerin seçimi ve onların bir araya gelmesi ile oluşmaktadır. Yapı malzemeleri, YDD süreçlerinde çevreye birçok etkide bulunmaktadır. Bununla beraber, bir yapı ürünü YDD'nin her sürecinde farklı etki

gösterebilmektedir. Bu nedenle, yapı ürünü seçiminde ürünün YDD süreçlerinin her birine olan etkisi göz önünde bulundurulmalıdır [98].

3.2.1 Hammadde edinimi ve üretim süreci

Yapı malzemeleri seçilirken, yapı malzemelerinin üretiminde kullanılan hammaddeler, hammaddelerin edinimi için kaynak çıkarımı ve kaynak çıkarımının etkileri de düşünülmelidir.

Yapı malzemesi seçiminde, o malzemenin hammadde edinimi ve işlenmesi sürecinde;

- Hammaddenin zehirli olması,
- Hammaddenin yenilenebilir kaynaktan olması,
- Hammaddenin sertifikalı sürdürülebilir bir kaynaktan olması,
- Hammaddenin tarımsal veya endüstriyel bir yan ürün olması, ürün ya da malzemeden değerlendirilmiş olması, ürünün geri dönüştürülmüş olması,

YDD sonuçları için önemli bir rol oynamaktadır [105].

Hammadde edinimi sürecinde çevreye etkisi düşük olan bir malzeme, üretim sürecinde çevreye etkisi yüksek olabilir. Bu konuda, ürünün üretiminde kullanılan enerji miktarı ve enerji kaynağı, kullanılan su miktarı ve su kullanış biçimi, üretimle meydana gelen atıklar ve miktarları, üretim sürecinde çevreye zehirli atıkların yok edilmesi, üretim sürecinde ozon inceltici maddelerin yok edilmesi, üretim sonucunda oluşan atıkların durumu önemli rol oynamaktadır [105].

3.2.2 Taşıma Süreci

Yapı malzemelerinin üreticiden, uygulama alanına taşınması çevresel etki için bir faktördür. Yapı malzemelerinin seçiminde, yerel malzeme kullanımı ile yerel şirketler desteklenirken, taşıma sürecindeki çevresel etki de azaltılmış olur.

Bu durumda bir yapı malzemesi seçiminde o malzemenin taşıma sürecinde;

- Yapı malzemenin yerel üretimli olması,
- Yapı malzemesi için uygulanan paketlemenin niteliği,
- Yapı malzemesi üreticisinin etkin nakliye yöntemleri kullanımı,

YDD sonuçları için önemli rol oynamaktadır [105] [98].

3.2.3 Yapım ve Bakım Süreci

Yapı malzemelerinin yapıya uygulanması sürecinde uygulayan kişilerin sağlığını olumsuz etkileyebilecek çeşitli etkenler içerebilir. Ekolojik malzemeler, kullanım süreçlerinde bir yapının hava, aydınlatma, su ve enerji tüketimi gibi ölçütlerde yapının iç hava kalitesini etkilemektedir.

Bu durumda bir yapı malzemesi seçiminde o malzemenin yapım ve bakım sürecinde;

- Ürünün dayanım süresi,
- Ürünün zararlı kimyasallar içermesi,
- Ürünün uygulama sırasında uygulayan için zararlı olması,
- Ürün için gereken bakım ihtiyacı,

YDD sonuçları ve yapının sürdürülebilirliği açısından önemli rol oynamaktadır [105].

3.2.4 Yeniden Kullanım ve Geri Dönüşüm Süreci

Bir yapı malzemesinin geri dönüşümlü olmaması veya tekrar kullanılamaması, kaynak kullanımının artmasına ve atık olarak kullanımı ile hava, su ve toprağın kirlenmesine ve bunun sonucunda ekosistemlerin bozulmasına neden olur. Bir malzemenin geri dönüşüm veya tekrar kullanım olanağı olması durumunda, diğer süreçlerden kaynaklanan çevresel etkileri olmayacağından çevresel etki değerleri oldukça düşmektedir [98].

Bu durumda bir yapı malzemesi seçiminde o malzemenin yeniden kullanım ve geri dönüşüm sürecinde;

- Malzemenin yeniden kullanılabilirliği,
- Üreticinin malzeme için bir geri kazanım süreci geliştirmesi,
- Malzemenin geri dönüştürülebilirliği,
- Malzemenin biyolojik olarak çözülebilirliği,

YDD sonuçları ve yapının sürdürülebilirliği açısından önemli rol oynamaktadır [105].

Bir yapı malzemesinin her sürecinde farklı çevresel etkiler görülebileceği görülmektedir. Bir yapı malzemesi seçiminde tek bir süreç yerine, tüm süreçlerin etkin bir rol oynadığı görülmektedir. Bu nedenle malzemenin tüm süreçlerindeki etkilerinin nicelikleri ve nitelikleri incelenerek bir sonuca varılması gerekmektedir.

3.3 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinde Kullanılan Yöntem ve Araçlar

Çevresel değerlendirme araçları, oldukça geniş ve kapsamlı bir konudur. Farklı kurumlar tarafından, farklı amaçlar için geliştirilmiş olan bu araçların sınıflandırıldığı çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bunlar içerisinde en çok bilinenler; Athena Sürdürülebilir Malzemeler Enstitüsü'nün (Athena Sustainable Materials Institute) geliştirdiği 'Değerlendirme Aracı Tipolojisi' ile Uluslararası Enerji Ajansı'nın belirttiği Annex 31- 'Energy related environmental impact of building' belgesindeki sınıflandırmadır [106].

Athena sınıflandırılmasına göre; değerlendirme araçları üç grupta gruplandırılabilir [106],

- Grup 1; Ürün karşılaştırılması için kullanılan araç ve bilgi kaynakları (BEES (ABD), GaBi (Almanya), SimaPro (Hollanda), UMBERTO (Almanya) ve TEAM (Fransa))
- Grup 2; Tüm yapı tasarımı ve tasarım kararlarında destek sağlayan araçlar (ATHENA (Kanada/ABD), BEAT 2002 (Danimarka), BeCost (Finlandiya), EcoQuantum (Hollanda), Envest (İngiltere), EQUER (Fransa), LEGEP (Almanya), PAPOOSE (Fransa))
- Grup 3; Tüm yapı ve çevresel değerlendirme sistemleri (BREEAM (İngiltere), EcoEffect (İsveç), EcoProfile (Norveç), Environmental Status Model (İsveç), ESCALE (Fransa), LEED (ABD))

IEA Annex 31- "Energy related environmental impact of buildings' belgesine göre çevresel değerlendirme araçları beş grupta toplanmaktadır [106];

- Enerji Modelleme Yazılımları

- Binalar ve Bina Stokları için Çevresel Yaşam Döngüsü Değerlendirme Araçları
- Çevresel Değerlendirme ve Derecelendirme Sistemleri
- Binaların Tasarım ve Yönetimi için Çevresel Kılavuzlar veya Kontrol Listeleri
- Çevresel Ürün Beyanları (EPD), Referans Bilgiler, Sertifikalar ve Etiketler.

Yaşam döngüsü değerlendirme araçları, çok sayıda veri gerektirir. Araçların kullandıkları veri tabanları oldukça karmaşık yapıdadır ve bölgelere göre değişiklik göstermektedir. Grup 1 ve 2 araçları, çoğunlukla birden fazla tanınmış olan veri tabanlarını kullanmaktadır. Envest 2, BRE gibi bazı veri tabanlarında, kullanıcı tarafından veri eklenebilir hatta veri üzerinde değişiklik yapılabilirken; ATHENA, Eco-Quantum gibi veri tabanlarına eklenememektedir [107] [108].

Bir yapının çevresel değerlendirme sonuçları; grafikler, tablolar, dereceler, sertifikalar ve raporlar halinde sunulabilir. Grup 3 araçları, Grup 1 ve 2 araçlarından daha fazla raporları tercih etmektedir [108].

4
GELENEKSEL VE ÇAĞDAŞ AHŞAP YAPILARIN YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Çalışmanın bu bölümünde; örnek konut yapısında geleneksel ve çağdaş ahşap yapı sistemlerinden örneklemek için tez kapsamında seçilen türlerde One Click LCA aracı ile YDD yapılmıştır.

4.1 Analizi Yapılan Yapının Tanımlanması ve Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinin Kapsamı

Türkiye'de seçilen bir parselde tasarlanan iki katlı bir konut yapısının YDD'si farklı ahşap yapı sistemleri ile yapılmıştır. Tasarlanan taşıyıcı sistemlerinin her birinde ayrı ayrı kullanılan malzeme ve ürün miktarına bağlı olarak tüketim miktarı ve çevresel etkilerin boyutları çalışma kapsamında ele alınmıştır.

Taşıyıcı sistem için kullanılması planlanan malzemelerin üretimi, malzemelerin yapının inşa edileceği parsele getirilmesi, yapının ömrü boyunca kullandığı enerji kaynakları, kullanım ömrü biten malzemelerin geri dönüştürülmesi aşamalarını kapsayan, yaşam döngüsü değerlendirme süreci çerçevesinde değerlendirilmektedir. Örnek yapının farklı yapı sistemleri ile üretilmesi durumunda tüketilen toplam enerji miktarları ve CO_2 salınımları üzerinden karşılaştırmalar yapılarak, geleneksel ve çağdaş ahşap yapı üretim sistemlerinin seçiminde yol gösterilmeye çalışılmıştır.

4.1.1 Çalışmanın Yöntemi

Çalışma beş ana adımdan oluşmaktadır;

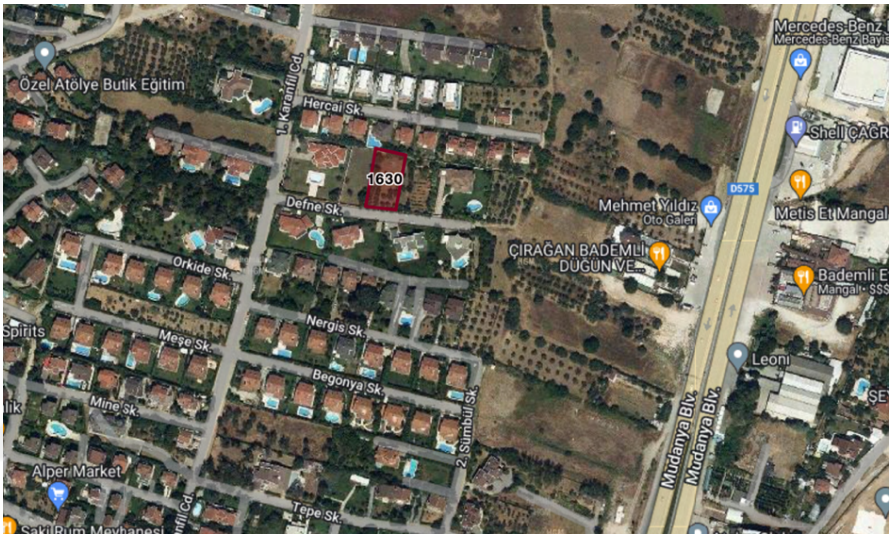
- Değerlendirilen yapının belirlenmesi,
- Belirlenen konut yapısının çeşitli yapı sistemlerine göre taşıyıcı sistemlerinin tasarlanması,
- YDD için kullanılacak programın belirlenmesi ve malzeme verilerinin programa eklenerek çevresel etkilerin analizi,

- Etki analizi sonuçlarının değerlendirilmesi.

Belirtilen bu adımlarda alınan kararlar ve izlenen adımlar alt bölümlerde açıklanmaktadır.

4.1.2 Analizi Yapılan Yapı ve Konumu

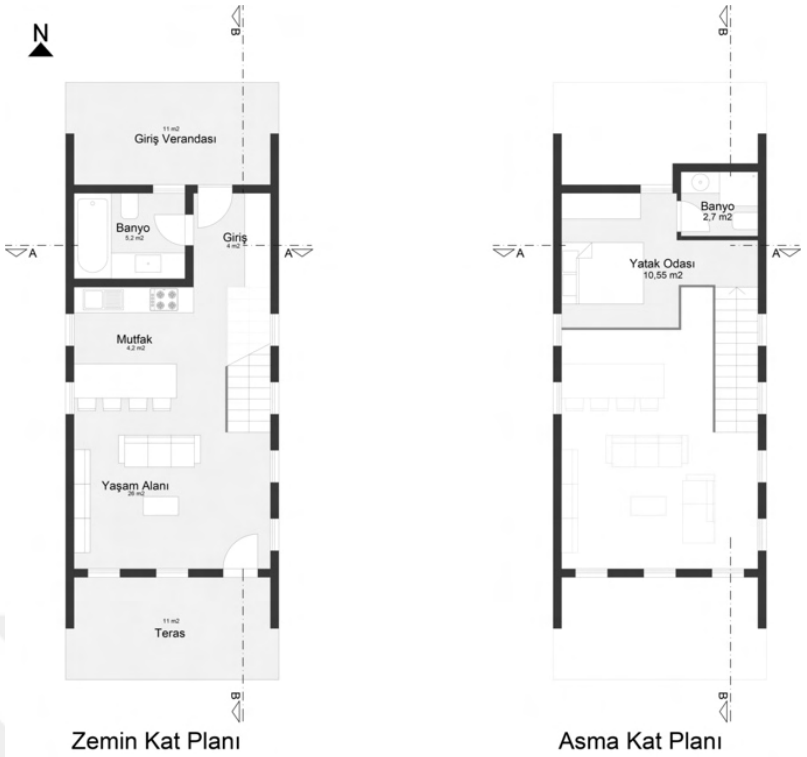
YDD yapılan konut için Bursa ili, Mudanya ilçesi, Çağrışan mahallesi, Bademli mevkiinde yer alan, 1170 m^2 büyüklüğünde olan 1630 numaralı parsel seçilmiştir. Yakın çevresinde oluşan yapılaşmalarda müstakil konut yapılaşmaları görülmektedir. Şekil 4.1'de proje alanı ve komşu parseller gösterilmiştir.



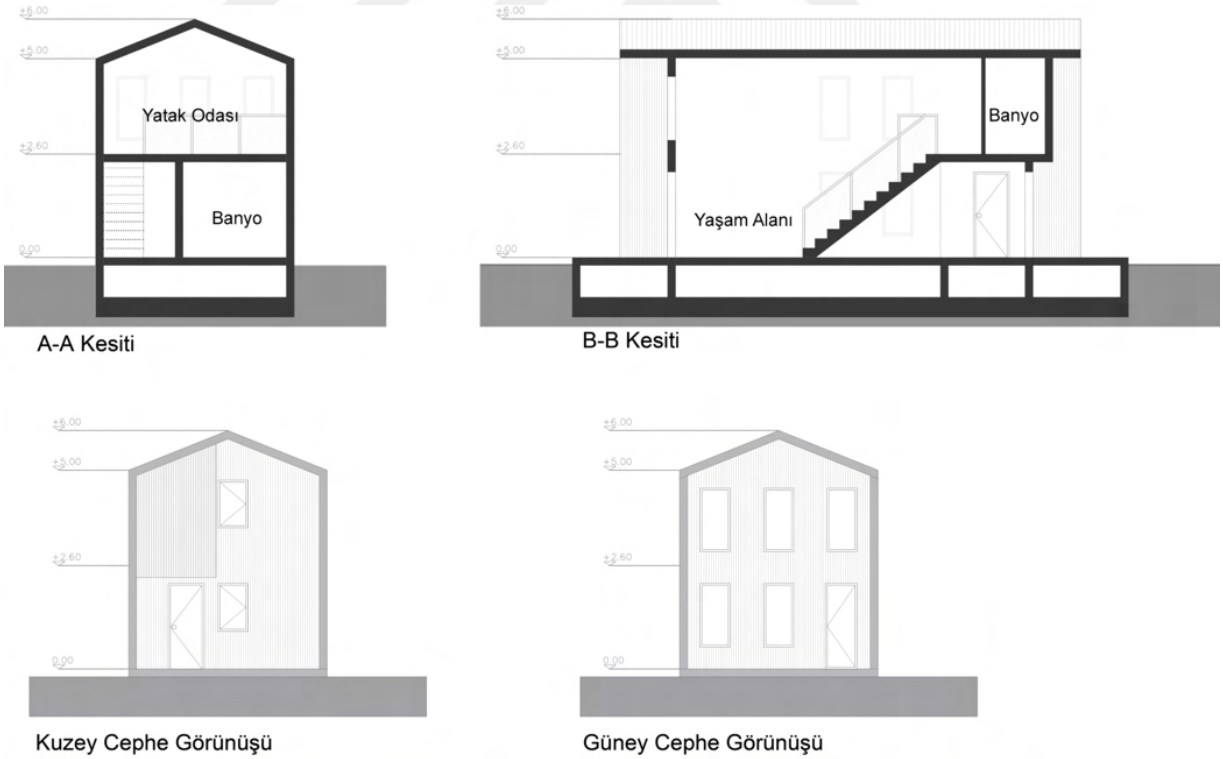
Şekil 4.1 Tasarlanan projenin alanı ve çevresi

Tasarlanan konut, iki kişinin asgari düzeyde yaşayabileceği planlanarak, zemin ve asma kattan oluşmaktadır. Yapı 14,00 metre boyunda ve 5,00 metre eninde tasarlanmıştır. Zemin kat net olarak 61,40 m^2, asma kat ise 13,25 m^2 olmak üzere toplamda 74,65 m^2'dir (Şekil 4.2).

Zemin katta giriş verandası, giriş, yaşam alanı, mutfak, banyo ve teras, asma katta ise yatak odası ve banyo bulunmaktadır. Yapının cephelerinde, her yönden güneş almasını sağlayan ve geleneksel ve çağdaş yapı sistemlerinde uygulanabilecek ölçülerde duvar boşlukları tasarlanmıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4.2 Tasarlanan projenin kat planları



Şekil 4.3 Tasarlanan projenin A-A kesiti (a), tasarlanan projenin B-B kesiti (b), tasarlanan projenin kuzey görünüşü (c), tasarlanan projenin güney görünüşü (d)

4.1.3 Karşılaştırmalı Analiz için Seçilen Yapı Sistemleri

Karşılaştırmalı analiz için geleneksel ahşap yapı sistemlerinden;

- Ahşap kütük yığma yapı sistemi,
- Ahşap platform çerçeve yapı sistemi,

Çağdaş ahşap yapı sistemlerinden de;

- Ahşap CLT panel yapı sistemi,
- Ahşap LVL kolon-kiriş yapı sistemi,
- Ahşap GLT kütük yığma yapı sistemi

seçilmiştir.

4.1.4 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinde Kullanılacak Araç

Farklı kurumlar ve araştırmacılar tarafından geliştirilmiş, farklı amaç, yaşam döngüsü süreçleri ve veritabanlarına sahip YDD araçlarının içinden One Click LCA aracı;

- Türkiye yapı malzemesi ve ürünü envanterine sahip olması,
- süreç, sistem, ürün vb bağlamında çeşitli boyutlarda YDD'nin öğrenci sürümü ile yapılabilmesi,
- kullanımının kolay olması,
- analiz sonuçlarının raporlanmasında hem bilgi hem de sunum tasarımı açısından anlaşılır ve etkili seçeneklerinin bulunması

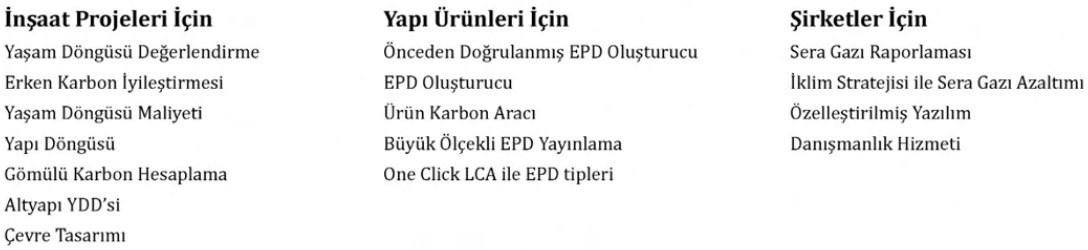
nedenleri ile seçilmiştir.

One Click LCA, 2011 yılında Finlandiyalı Bionova firması tarafından geliştirilen, kullanıcıların yapı malzemeleri ve tüm yapı YDD için çevresel ürün beyanı (EPD) oluşturmalarına ve ürün için sertifika (örneğin; BREAM, LEDD) kazanmalarına olanak sağlayan YDD yazılımıdır. YDD aracı, BIM programı ve modellerinden, enerji performansı modellerinden, Excel'den ya da sistem üzerinden elle girişi sağlanarak içe aktarma yolları sunmaktadır [109].

Araç EN 15978, ISO 21931-1, ISO 21929-1 ve ISO 14040/44 ve EN 15804 standartlarını sağlamaktadır. One Click LCA, genel yapı malzemeleri için mevcut veri tabanlarının kapsamlı bir listesine erişim sağlamaktadır. [109]

One Click LCA programı başta Avrupa olmak üzere, Kuzey Amerika, Asya, Orta Doğu, Güney Amerika bölgelerinin veri tabanlarını içermektedir. Çeşitli kamu ve özel kaynaklardan gelen 100.000'den fazla veri barındıran bulut veri tabanına sahiptir [110].

YDD araçlarından One Click LCA, Starter (Başlangıç), Business (İşletme), Expert (Uzman) ve Student Licence (Öğrenci Lisansı) lisans tiplerinde hizmet vermektedir. YDD araçlarında One Click LCA, inşaat projesi, ürün ve işletme başlıkları altında çeşitli hizmetler vermektedir (Şekil 4.4) [110].



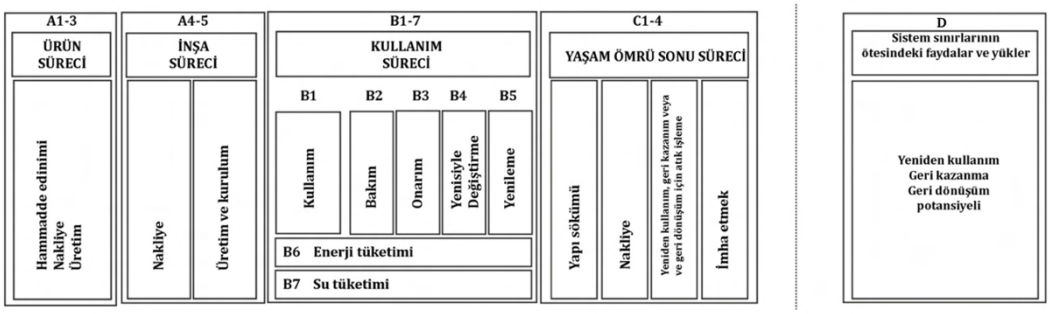
Şekil 4.4 One Click LCA hizmet olanakları

One Click LCA aracı, konut, kültür, endüstri, eğitim, sağlık, otel, ofis ve ulaşım yapı tiplerinde kullanım olanağı sağlamaktadır. Yeni oluşturulan bir yapı, mevcut bir yapının yenilenmesi, mevcut bir yapının genişletilmesi, yapı bileşeni gelişimi durumlarında kullanım olanağı sağlamaktadır [110].

YDD araçlarından One Click LCA, YDD sonucunda küresel ısınma potansiyeli (GWP), asidifikasyon potansiyeli (AP), ötrofikasyon potansiyeli (EP), ozon tabakasının incelme potansiyeli (ODP), alt atmosferde ozon oluşumu potansiyeli (POCP), birincil enerji tüketim potansiyeli ve biyojenik karbon depolama etki kategorilerinde sonuç vermektedir [110].

4.1.5 Yapının Yaşam Döngüsü Değerlendirilmesinde Ele Alınan Süreçler

YDD araçları ile çevresel etki analizi oluşturulurken, yapıda uygulanacak yapı ürünleri, yapının üretim süreçlerine, yapının kullanım ömrü boyunca olan doğal kaynak tüketimlerine, yapının yıkımı sonrasında oluşan çıktılarına dair bilgilerin girişi gerekmektedir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 YDD süreçleri [111]

Analizde, yapıda kullanılan ürünlerin sistem üzerinden belirlenmesi ile birlikte yapı ürünlerinin üretim süreçlerine **(A1-A3)** dair olan çevresel etkileri, One CLick LCA tarafından oluşturulmaktadır.

YDD kapsamında girilen veriler doğrultusunda, yapıda kullanılacak malzemelerin proje alanına olan uzaklıkları hesaplanmalıdır. Uzaklıkların oluşturulmasında, sistem üzerinden seçilen malzemenin yapıya en yakın dağıtım noktaları seçimine dikkat edilmiştir. Hesaplanan uzaklıkların YDD aracına girilmesiyle birlikte nakliye sürecine **(A4)** dair çevresel etkileri YDD aracı oluşturmaktadır. Ürünler ve uzaklıklar bağlamında öngörüler, aşağıdaki gibi sıralanmış ve açıklanmıştır;

- Yapının temelinde radye temel uygulanacağı öngörülmüştür. Temel betonunun alınacağı beton tesisi, proje alanına en yakın olarak 5,1 km olarak hesaplanmıştır,
- Yapının strüktüründe kullanılan ahşap elemanların geneli, proje alanına en yakın olan 10 km uzaklıkta bulunan kereste tesisinden sağlanacak şekilde öngörülmüştür,
- Yapının strüktüründe kullanılan CLT panel ürünler, Türkiye içerisinde araştırılarak en yakın olan 540 km uzaklıkta olan ahşap üretim tesisinden sağlanacak şekilde öngörülmüştür,
- Yapının genelinde kullanılan malzemeler (yalıtım malzemeleri, kaplama malzemeleri vb.), proje alanına en yakın olan 13 km uzaklıkta bulunan yapı marketten sağlanacak şekilde öngörülmüştür.

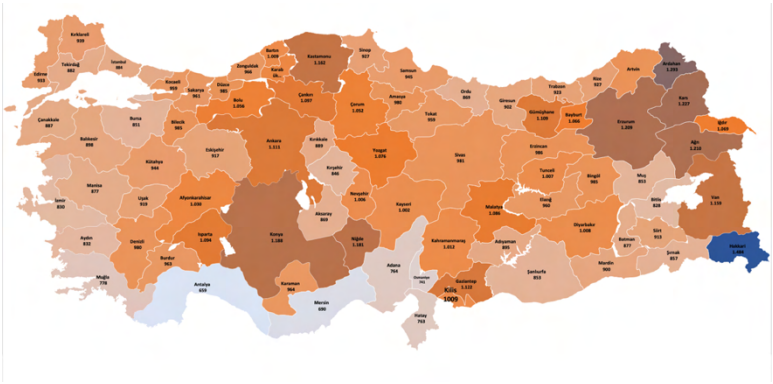
YDD kapsamında girilecek veriler doğrultusunda, yapının kaynak tüketimleri belirlenmelidir. Bu doğrultuda tasarlanan yapının 2 kişi tarafından, haftada 7 gün ve günde 16 saat kullanılacağı **(B1)** ele alınmıştır.

Tüketim verilerinde elektrik tüketimine dair olan bilgi **(B6)** için TEDAŞ'ın 2021 yılı ortalarında oluşturduğu, '2020 YILI TÜRKİYE ELEKTRİK DAĞITIMI SEKTÖR RAPORU' kullanılmıştır. Elektrik tüketimi projenin yer aldığı Bursa konumuna bakıldığında, 2019 yılına dair kişi başı ortalama tüketim 4155 kWh olarak belirtilmiştir. Projede iki kişinin yaşadığı baz alındığında yıllık elektrik tüketimi '8310 kWh' olarak elde edilmektedir (Şekil 4.6). [112]

İLLERDE KİŞİ BAŞINA DÜŞEN NET ELEKTRİK TÜKETİMLERİ (2019)					
					Birim: kWh/kişi
ADANA	3.101	GÜMÜŞHANE	2.095	SİNOP	1.667
ADIYAMAN	1.882	HAKKARİ	927	SİVAS	1.933
AFYONKARAHİSAR	2.529	HATAY	3.895	TEKİRDAĞ	7.177
AĞRI	846	ISPARTA	2.687	TOKAT	1.348
AMASYA	1.927	MERSİN	2.916	TRABZON	1.836
ANKARA	2.654	İSTANBUL	2.569	TUNCELİ	1.491
ANTALYA	3.461	İZMİR	4.663	ŞANLIURFA	2.423
ARTVİN	2.650	KARS	1.090	UŞAK	4.538
AYDIN	2.412	KASTAMONU	2.628	VAN	878
BALIKESİR	2.937	KAYSERİ	2.609	YOZGAT	1.712
BİLECİK	8.249	KIRKLARELİ	6.600	ZONGULDAK	4.982
BİNGÖL	1.094	KIRŞEHİR	2.409	AKSARAY	2.561
BİTLİS	1.035	KOCAELİ	7.327	BAYBURT	1.185
BOLU	3.956	KONYA	3.482	KARAMAN	3.433
BURDUR	2.980	KÜTAHYA	2.580	KIRIKKALE	2.929
BURSA	4.155	MALATYA	1.984	BATMAN	1.478
ÇANAKKALE	7.110	MANİSA	3.496	ŞIRNAK	1.167
ÇANKIRI	2.371	KAHRAMANMARAŞ	4.318	BARTIN	2.166
ÇORUM	1.566	MARDİN	2.447	ARDAHAN	1.334
DENİZLİ	3.647	MUĞLA	3.517	IĞDIR	1.001
DİYARBAKIR	1.509	MUŞ	964	YALOVA	4.498
EDİRNE	2.881	NEVŞEHİR	2.426	KARABÜK	6.512
ELAZIĞ	2.707	NİĞDE	3.131	KİLİS	2.137
ERZİNCAN	2.639	ORDU	1.633	OSMANİYE	7.132
ERZURUM	1.329	RİZE	2.147	DÜZCE	2.583
ESKİŞEHİR	3.766	SAKARYA	3.517		
GAZİANTEP	4.080	SAMSUN	2.386		
GİRESUN	1.526	SİİRT	1.497	**TÜRKİYE**	**3.094**

Şekil 4.6 2020 yılı illere göre kişi başı elektrik tüketimi (kWhkişi) [112]

Tüketim verilerinde doğal gaz tüketimine dair olan bilgi **(B6)** için Türkiye Doğalgaz Dağıtıcıları Birliği (GAZBİR) tarafından güncel olarak en son paylaşılan, 2020 Yılı Doğal Gaz Dağıtım Sektörü Raporu kullanılmıştır. Rapor içerisinde elde edilen verilere göre, Bursa ilinde 2020 yılında Hane Başı ortalama tüketim 851 m^3 olarak belirtilmiştir (Şekil 4.7). Proje hane olarak baz alındığından yıllık doğal gaz tüketimi 851 m3 olarak elde edilmektedir [113].



Şekil 4.7 2020 yılı illere göre yıllık hane başı doğal gaz tüketimi (m3) [113]

Tüketim verilerinde su tüketimine dair olan bilgi **(B7)** için TÜİK kurumunun 16 Aralık 2021 tarihinde yayınladığı haberde (Şekil 4.8), 2020 yılına ait Su ve Atık su İstatistikleri bulunmaktadır. En güncel veriler bu olduğundan kullanımlar bu veriler doğrultusunda girdi olarak işlenecektir. Bursa ilinin değerleri işlenmediğinden dolayı, Türkiye tüketiminde günlük kişi başı 228 litre olarak verilmiştir. Yıllık kişi başı tüketim 83,22 m^3 olarak bulunmuştur. Projede iki kişinin yaşadığı baz alındığında yıllık su tüketimi 166,44 m^3 olarak elde edilmektedir. [114]

Belediyelerde kişi başı çekilen günlük ortalama su miktarı 228 litre olarak hesaplandı

Belediyeler tarafından içme ve kullanma suyu şebekesine çekilen kişi başı günlük ortalama su miktarı 228 litre olarak hesaplandı. Üç büyük şehirde ise çekilen kişi başı günlük ortalama su miktarının İstanbul için 190 litre, Ankara için 246 litre ve İzmir için 221 litre olduğu tespit edildi.

Şekil 4.8 TÜİK su tüketimleri verisi [114]

YDD kapsamında girilen veriler doğrultusunda, yapıda kullanılan yapı malzemeleri yaşam sonu aşamasına dair çevresel etkiler **(C1-C4)**, seçilen YDD aracı One Click LCA tarafından hesaplanmaktadır.

YDD kapsamında girilen veriler doğrultusunda, yapıda kullanılan yapı malzemelerinin inşaat sahasında kurulumu sürecine dair olan çevresel etkiler **(A5)** belirlenmelidir. Tasarlanan yapının ve strüktür sistemlerinin ne kadar süre içerisinde kurulumunun yapılacağına ve kurulum sırasında kaynak kullanımlarına dair sabit bir veri bulunmadığından bu sürece dair veriler oluşturulamamıştır.

4.1.6 Yaşam Döngüsü Değerlendirilmesinde Ele Alınacak Etki Alanları

YDD araçları, çeşitli etki alanlarında analiz yapmaktadır. Bu etki alanları, kategori göstergeleri olarak adlandırılmaktadır. Binaların kullanım ömrü boyunca çevresel performansını göstermek için kullanılan çevresel gösterge grupları, çevresel etki göstergeleri, kaynak kullanım göstergeleri, diğer çevresel bilgi göstergeleri başlıkları altında toplanmaktadır (Tablo 4.1).

Tablo 4. 1 Etki kategori örnekleri

	Gösterge	**Birim**
Çevresel etkileri tarif eden göstergeler	Küresel ısınma potansiyeli	kg CO2
	Stratosferik ozon tabakasının incelme potansiyeli	kg CFC
	Toprağın ve suyun asidifikasyon potansiyeli	kg SO_2
	Ötrofikasyon potansiyel	kg $(PO_4)_3$
	Ozon ve fotokimyasal oksidanların oluşma potansiyeli	kg Eten
Kaynak kullanımı tarif eden göstergeler	Hammadde olarak kullanılan enerji kaynakları hariç, yenilenebilir temel enerji kullanımı	MJ
	Hammadde olarak kullanılan yenilenebilir enerji kullanımı	MJ
	Hammadde olarak kullanılan enerji kaynakları hariç, yenilenemez temel enerji kullanımı	MJ
	Hammadde olarak kullanılan yenilenemez enerji kullanımı	MJ
	İkincil malzeme kullanımı	kg
	Temiz su kullanımı	m^3
Atık kategorilerin tarif eden göstergeler	Tasfiye edilen tehlikeli olmayan atıklar	kg
	Tasfiye edilen tehlikeli atıklar	kg
	Tasfiye edilen radyoaktif atıklar	kg
Sistem çıktılarını tarif eden göstergeler	Tekrar kullanılacak bileşenler	kg
	Geri dönüştürülecek malzemeler	kg
	Enerji geri kazanımı için malzemeler	kg
	Sistem dışına aktarılan enerji	MJ

Çalışma kapsamında;

- Küresel ısınma potansiyeli (GWP, Global warming potential),

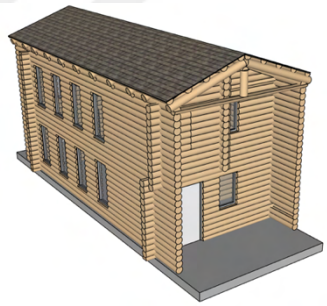
- Stratosferik ozon tabaka incelme potansiyeli (ODP, ozone depletion potential),
- Asidifikasyon potansiyeli (AP, acidification potential),
- Ötrofikasyon potansiyeli (EP, eutrophication potential)

kategori göstergeleri ile YDD yapılmıştır.

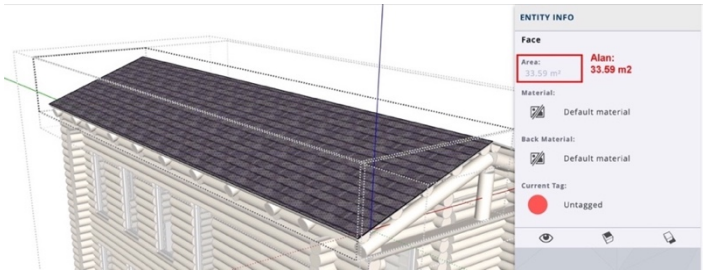
4.2 Seçilen Geleneksel ve Çağdaş Ahşap Yapı Sistemlerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

Çalışmanın bu bölümünde, seçilen yapı sistemlerinin taşıyıcı sistem tasarımından, YDD sonucu oluşan çevresel etki çıktılarına kadar olan durumlar irdelenmiştir.

Öncelikli olarak tasarlanan projenin, seçilen ahşap yapı sistemlerine göre duvar, döşeme, çatı katmanları oluşturularak sistem kesitleri tasarlanmıştır. Oluşturulan sistem kesitleri ile birlikte yapılar SketchUp programında modellenmiştir (Şekil 4.9). Modelleme ile birlikte yapılarda kullanılan malzemelerin metraj bilgilerine ulaşılmaktadır (Şekil 4.10). Buradan elde edilen metraj bilgileri YDD araçlarından One Click LCA'nin yapı malzemeleri sekmesine girilmektedir.

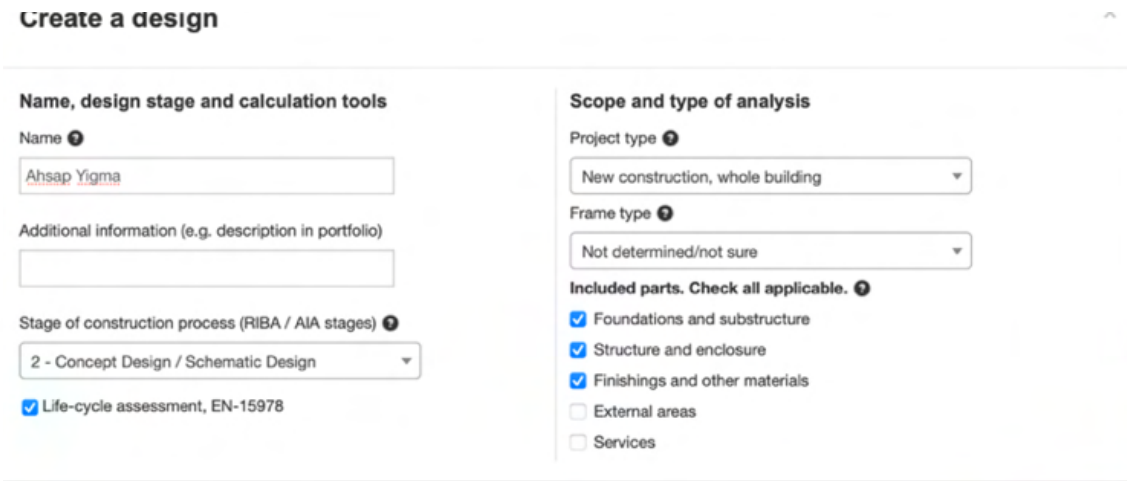


Şekil 4.9 SketchUp ile oluşturulan yapı modelleri

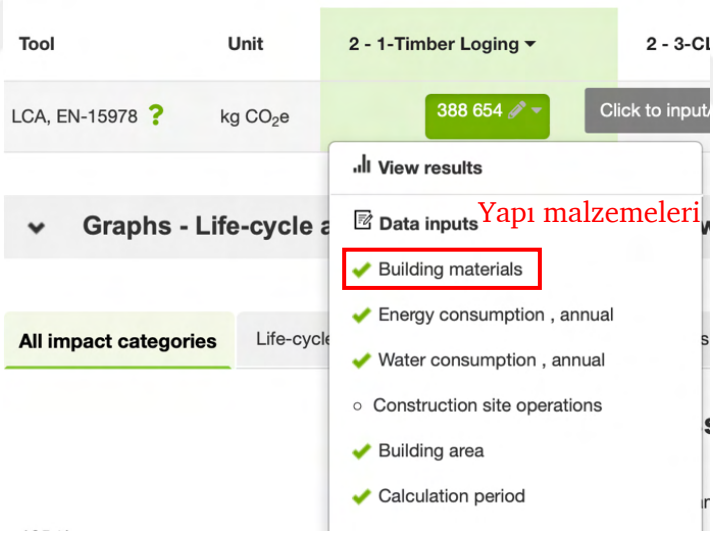


Şekil 4.10 SketchUp ile oluşturulan yapı modellerinden alınan metraj bilgileri

One Click LCA YDD aracında veri bilgilerinin girişini sağlamadan önce proje için yeni bir tasarım oluşturulmaktadır (Şekil 4.11). Oluşturulan tasarım sonrasında listelenen başlıklar içerisinde veri girişi sağlanmakta, metraj bilgileri bu liste içerisinde yer alan kategorilerin en başında gelen yapı malzemeleri sekmesine eklenmektedir (Şekil 4.12).



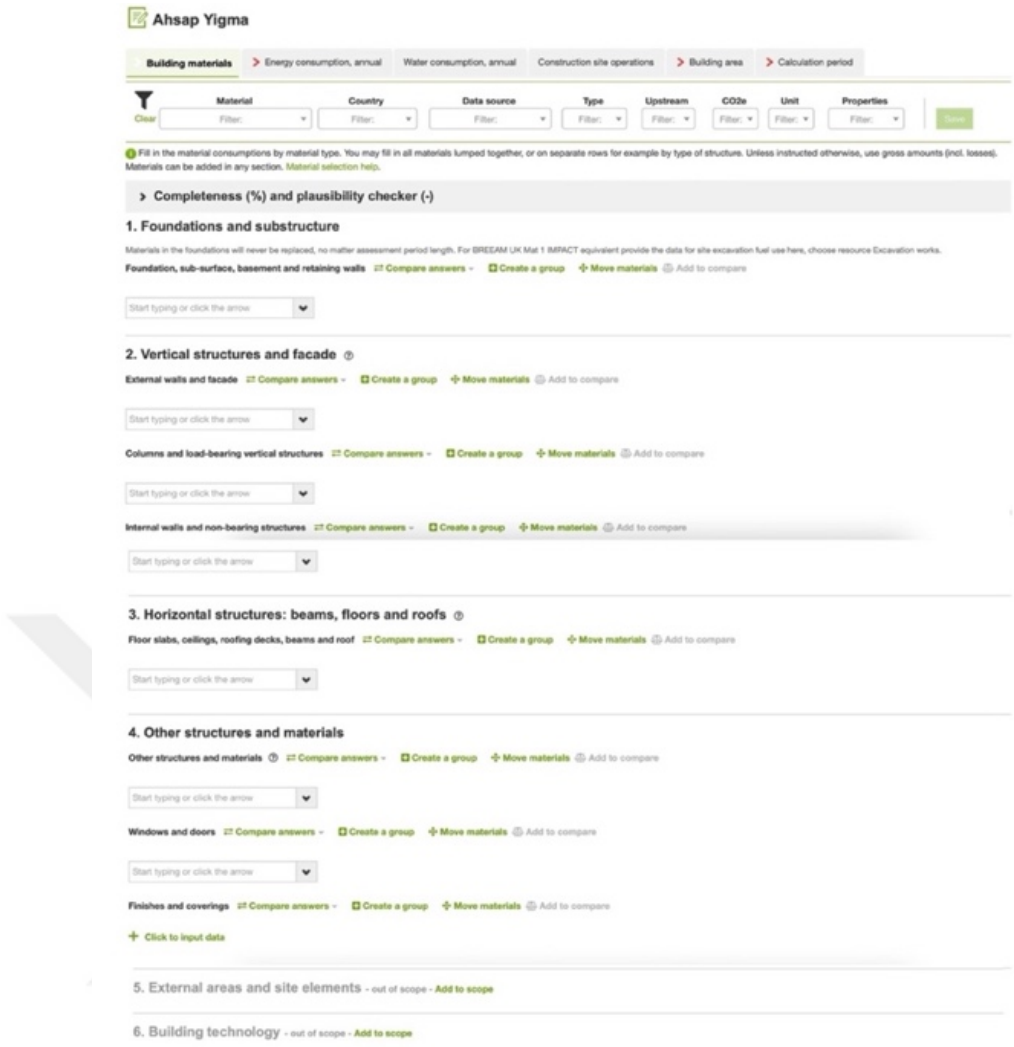
Şekil 4.11 One Click LCA YDD aracında yeni tasarım oluşturma



Şekil 4.12 One Click LCA YDD aracında veri girişi sağlanan süreçler

One Click LCA YDD aracında yapı malzemeleri sekmesi içerisinde çeşitli alt kategoriler bulunmaktadır (Şekil 4.13);

- Temel ve alt yapı,
- Dikey taşıyıcı sistem ve cephe,
- Yatay taşıyıcı sistem: kiriş, döşeme ve çatı,
- Diğer taşıyıcı sistemler ve malzemeler.

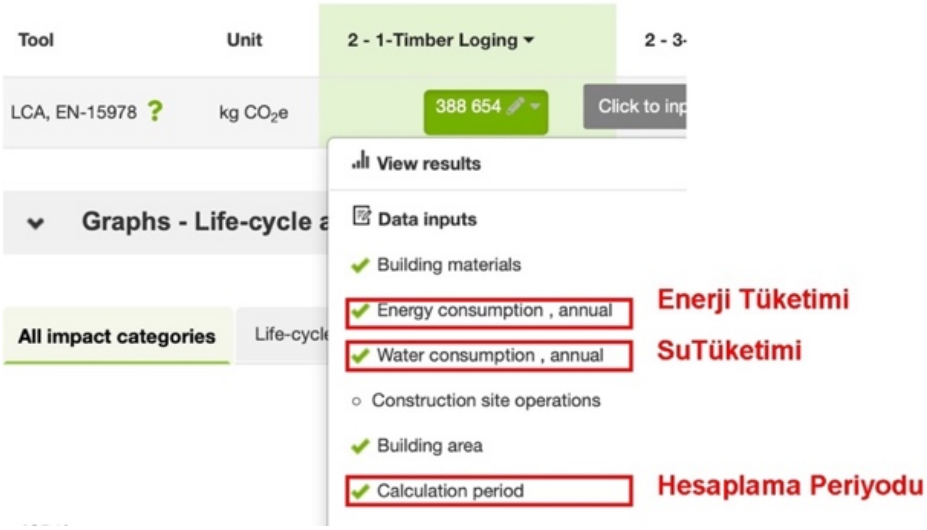


Şekil 4.13 One Click LCA YDD aracının yapı malzemeleri sekmesi alt başlıkları

One Click LCA YDD aracına girilen veriler arasında bulunan yapının kullanım süreçleri (Şekil 4.14) ile ilgili bilgiler bütün yapı sistemlerinde sabit tutulmuş (Tablo 4.3) ve gerekli sekmeler altında veri girişi sağlanmıştır. Bu veriler;

- Yapıyı kullanan kişi sayısı,
- Yapının yıllık kullanım gün sayısı,
- Yapının günlük kullanım saati,
- Yapının senelik elektrik tüketim verisi,
- Yapının senelik temiz su tüketim verisi,
- Yapının senelik doğal gaz tüketim verisi

şeklindedir.



Şekil 4.14 One Click LCA YDD aracının tüketim süreçlerine dair sekmeler

Yapıyı kullanan kişi sayısı, yapının yıllık kullanım gün sayısı, yapının yıllık kullanım gün sayısı, yapının günlük kullanım saatine ait veriler 'hesaplama periyodu' sekmesine; yapının senelik elektrik tüketim verisi, yapının senelik doğal gaz tüketim verisi 'enerji tüketimi' sekmesine ce yapının senelik temiz su tüketimi verisi de 'su tüketimi' sekmesine girilmektedir (Tablo 4.2).

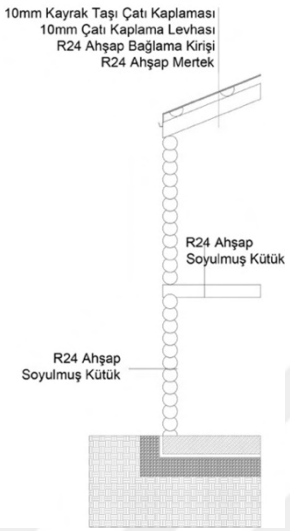
Tablo 4. 2 Yapıda sabit tutulacak veriler

Sabit tutulacak YDD türü	**Sabit tutulacak YDD verisi**
Yapıyı kullanan kişi sayısı	2
Yapının yıllık kullanım gün sayısı	365
Yapının günlük kullanım saati	16
Yapının senelik elektrik tüketimi	8310 kWh
Yapının senelik temiz su tüketimi	166,44 m^3
Yapının senelik doğal gaz tüketimi	851 m^3

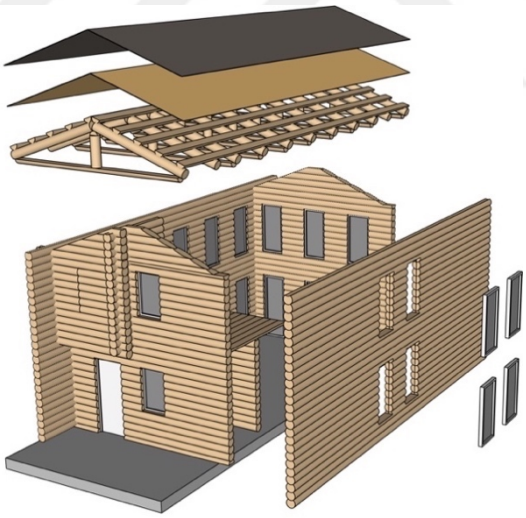
4.2.1 Ahşap Kütük Yığma Yapı Sistemi Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

YDD'si yapılan beş yapı sisteminden ilki, geleneksel ahşap yapı sistemlerinden, ahşap kütük yığma yapı sistemidir. Bu yapı sisteminde dış duvar, iç duvar, döşeme

ve çatılarda soyulmuş kütük kullanılması ön görülmüştür. Bu doğrultuda hazırlanan yapının sistem kesiti Şekil 4.15'te belirtilen şekildedir. Öngörülen yapı ve sistem kesiti ile tasarlanan yapının üç boyutlu modellemesi SketchUp programı ile yapılmıştır (Şekil 4.16).



Şekil 4.15 Ahşap kütük yığma yapı sistem kesiti



Şekil 4.16 Ahşap kütük yığma yapı modeli

Yapının oluşturulan sistem kesitindeki yapı malzemelerinin katmanlar ve kullanıldığı birimler Tablo 4.3'te belirtilmiştir. Belirtilen yapı malzemelerinin karşılıkları One Click LCA YDD aracında da bulunmaktadır.

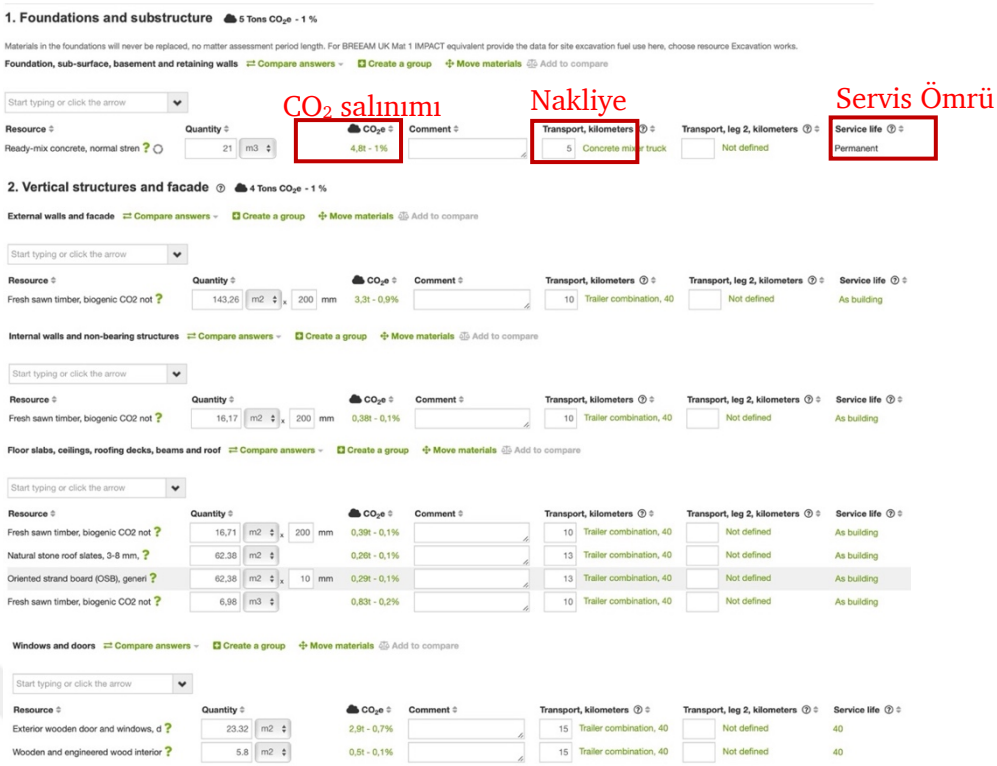
Tablo 4. 3 Ahşap kütük yığma yapı sisteminde kullanılan yapı malzemeleri

Yapıda tasarlanan alan	**Kullanılan malzeme**	**Kullanım miktarı**
Temel	Hazır beton karışımı	21 m3
Dış Duvar	Soyulmuş Kütük	143,26 m^2 x 200mm
İç duvar	Soyulmuş Kütük	16,17 m^2 x 200mm
Döşeme	Soyulmuş Kütük	16,71 m^2 x 200mm
Çatı	Kayrak Taşı Çatı Kaplaması	62,38 m^2
	OSB Çatı Kaplaması	62,38 m^2 x 100mm
	Soyulmuş Kütük	6,98 m^3
Kapı ve Pencere	Ahşap dış kapı ve pencere	23,22 m^2
	Ahşap iç kapı	5,8 m^2

Ahşap kütük yığma yapı sisteminde kullanılacak yapı malzemelerinin sisteme girişinde, daha önce Bölüm 4.15'te de belirtilen nakliye süreçlerine (A4) dair hesaplanan uzaklık verilerinin de girişi sağlanmıştır.

Seçilen yapı malzemelerinin sisteme girişi sırasında yapı envanterinden seçilen yapı malzemelerinin servis ömürlerini envanterden otomatik olarak çekmektedir.

Bütün süreçlere dair olan verilerin girişini sisteme sağladıktan sonra, eklenen yapı malzemelerin bütün YDD içerisinde ne kadar CO_2 salınımı sağladığını da belirtmektedir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17 Ahşap kütük yığma yapı One Click LCA yapı malzemeleri listesi

Ahşap kütük yığma yapı malzemelerinin sisteme girilmesiyle birlikte öncelikli olarak yapı kategorilerinin kütleleri ve toplama olan oranı hesaplanmıştır (Tablo 4.4).

Tablo 4. 4 Ahşap kütük yığma yapı sistemi yapı kategorilerinin kütle ağırlıkları

Yapı Malzemesi	**Kütlesi**	**Kütle Oranı**
Temel	50000 kg	%58,17
Dış duvarlar	21000 kg	%24.47
Döşeme, çatı, kiriş	10000 kg	%12.06
İç duvarlar	2400 kg	%2,76
Pencere ve kapılar	2200 kg	%2.53
Toplam	**75600 kg**	

Ahşap kütük yığma yapı sistemin gerekli verilerin girişinin tamamlanmasıyla ile birlikte YDD sonuçları oluşmaktadır. Bütün süreçlerin sonuçlarına dair olan YDD sonuçları Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4. 5 Ahşap kütük yığma yapı sistemi YDD

Süreç	**Süreç Kategorisi**	**GWP**	**AP**	**EP**	**ODP**
A1-A3	Yapı Malzemeleri	7,84E+03	3,10E+01	1,20E+01	3,60E-04
A4	Nakliye	4,68E+01	1,10E-01	2,40E-02	8,30E-06
A5	Kurulum Süreci	-	-	-	-
B1-B5	Bakım ve Değişim	1,63E+03	9,75E+00	1,54E+00	6,90E-05
B6	Enerji Kullanımı	3,72E+05	2,30E+03	4,94E+02	1,50E-02
B7	Su Kullanımı	2,50E+03	1,35E+01	6,84E+00	2,70E-04
C1-C4	Yaşam Sonu	4,21E+03	6,72E+00	1,55E+00	4,00E-07
C1-C4	Yapısöküm	4,21E+03	6,72E+00	1,55E+00	4,00E-07
D	Dış Etkiler	-1,60E+04	-1,84E+01	-3,46E+00	-3,30E-05
D	Kurulu Malzemeler	-1,60E+04	-1,84E+01	-3,46E+00	-3,30E-05
D2	Enerji geri kazanımı	-	-	-	-
	Total	**3,89E+05**	**2,36E+03**	**5,16E+02**	**1,62E-02**

Ahşap kütük yığma yapı sisteminin YDD'nin yapı malzemeleri (A1-A3) süreci ele alındığında malzemelerin de kendi içlerinde etki değerleri hesaplanabilmekte ve böylece karşılaştırılabilir bilgi edinilmektedir (Tablo 4.6).

Tablo 4. 6 Ahşap kütük yığma yapı sistemi, A1-A3 süreci malzemeleri etki değerleri

Yapıda tasarlanan alan	**Kullanılan malzeme**	**GWP**	**AP**	**EP**	**ODP**
Temel	Hazır beton karışımı	4,68E3	1,09E1	6,83E0	1,8E-4
Dış Duvar	Soyulmuş Kütük	6,62E2	4,8E0	1,84E0	6,11E-9

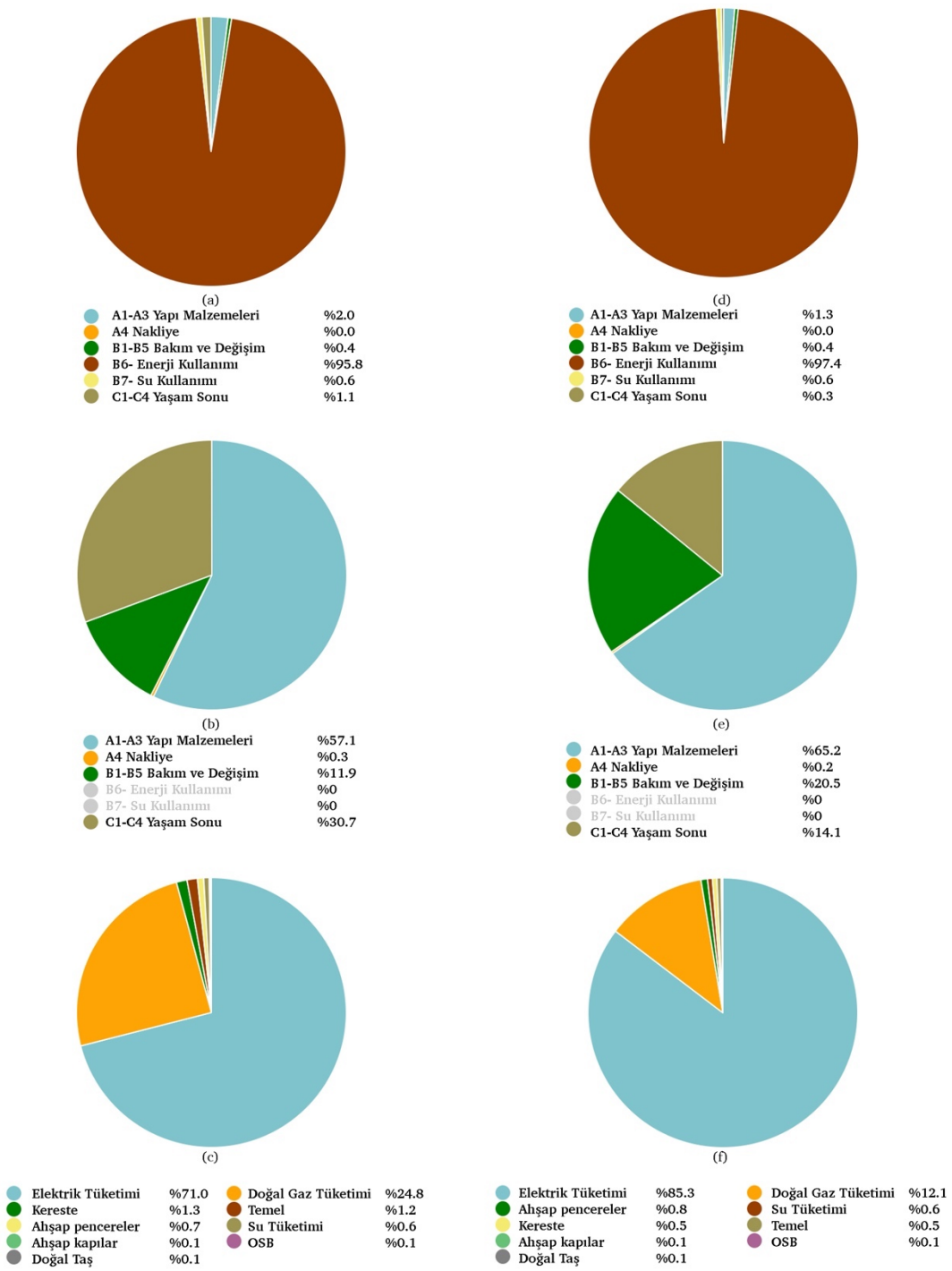
Tablo 4.6 Ahşap kütük yığma yapı sistemi, A1-A3 süreci malzemeleri etki değerleri (devamı)

İç duvar	Soyulmuş Kütük	7,47E1	5,42E-1	2,08E-1	6,9E-10
Döşeme	Soyulmuş Kütük	2,5E2	1,85E0	2,03E-1	1,05E-4
Çatı	Kayrak Taşı Çatı Kaplaması	2,84E2	1,49E0	7,54E-1	8,15E-6
	OSB Çatı Kaplaması	1,83E2	1,2E0	4,58E-1	2,1E-9
	Soyulmuş Kütük	7,72E1	5,6E-1	2,15E-1	7,13E-10
Kapı ve Pencere	Ahşap dış kapı ve pencere	1,4E3	9,09E0	1,4E0	4,43E-5
	Ahşap iç kapı	2,34E2	6,57E-1	1,34-1	2,49E-5

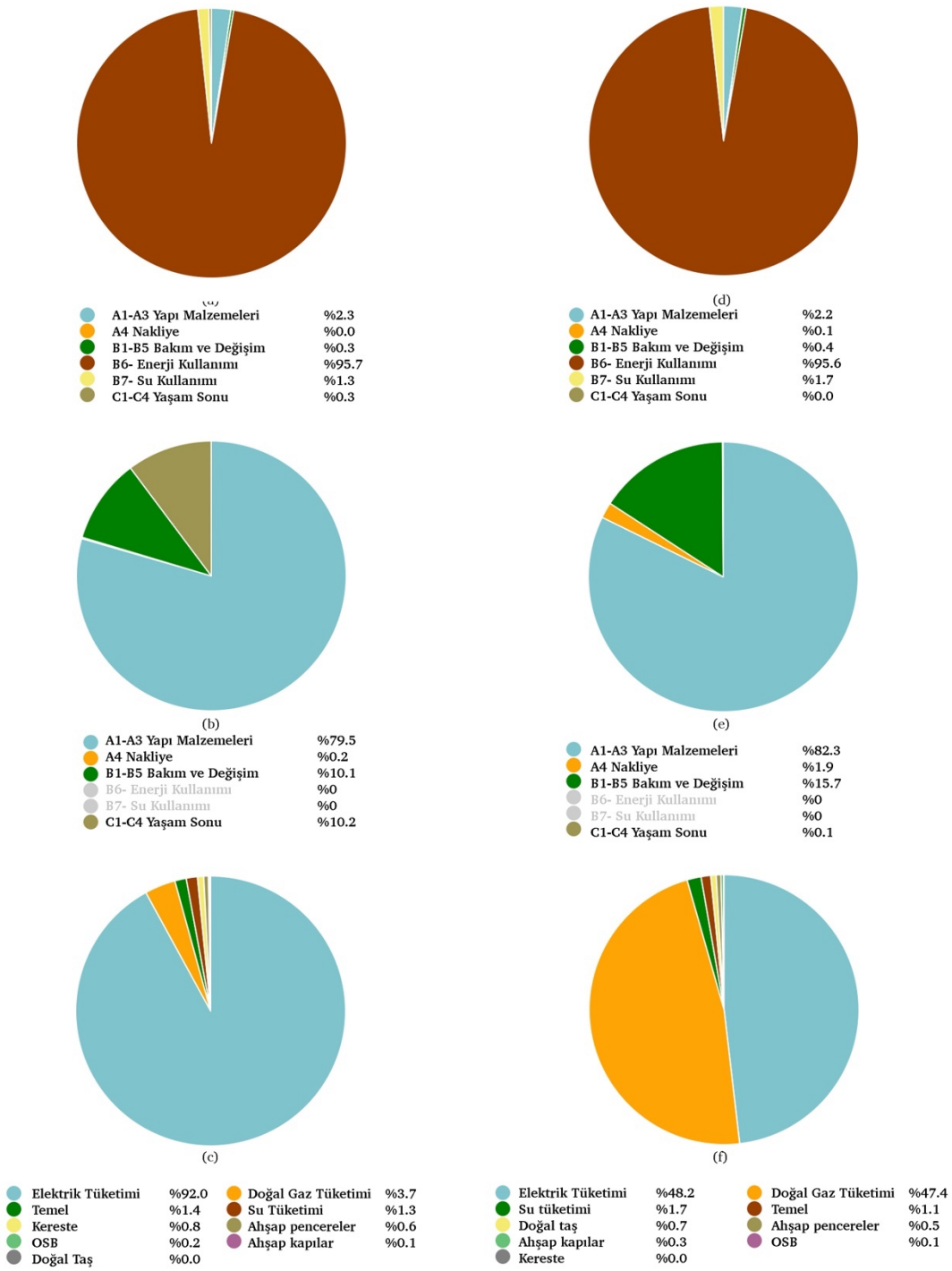
Ahşap kütük yığma yapı YDD sonuçlarına göre çeşitli grafiklere erişim sağlanmaktadır. Bu grafikler, süreçlerin etkilerine ilşkin anlaşılabilir bilgiyi sunmaktadır. Ahşap kütük yığma yapının;

- Bütün YDD süreçlerine göre GWP etkileri (Şekil 4.18.a),
- B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre GWP etkileri (Şekil 4.18.b),
- Kaynak türlerine göre GWP etkileri (Şekil 4.18.c),
- Bütün YDD süreçlerine göre AP etkileri (Şekil 4.18.d),
- B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre AP etkileri (Şekil 4.18.e),
- Kaynak türlerine göre AP etkileri (Şekil 4.18.f),
- Bütün YDD süreçlerine göre EP etkileri (Şekil 4.19.a),
- B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre EP etkileri (Şekil 4.19.b),
- Kaynak türlerine göre EP etkileri (Şekil 4.19.c),
- Bütün YDD süreçlerine göre ODP etkileri (Şekil 4.19.d),
- B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre ODP etkileri (Şekil 4.19.e),
- Kaynak türlerine göre ODP etkileri (Şekil 4.19.f)

ilgili grafiklerde verilmiştir.



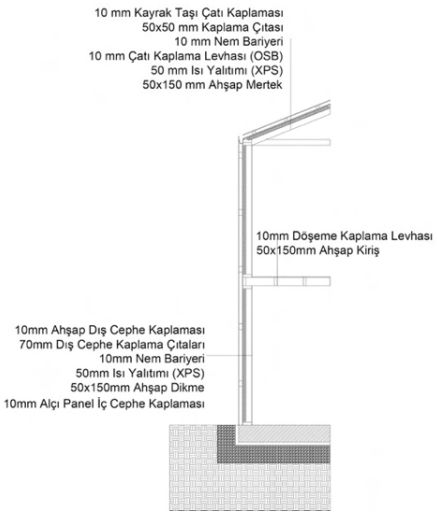
Şekil 4.18 Bütün YDD süreçlerine göre GWP etkileri (a), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre GWP etkileri (b), Kaynak türlerine göre GWP etkileri (c), Bütün YDD süreçlerine göre AP etkileri (d), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre AP etkileri (e), Kaynak türlerine göre AP etkileri (f)



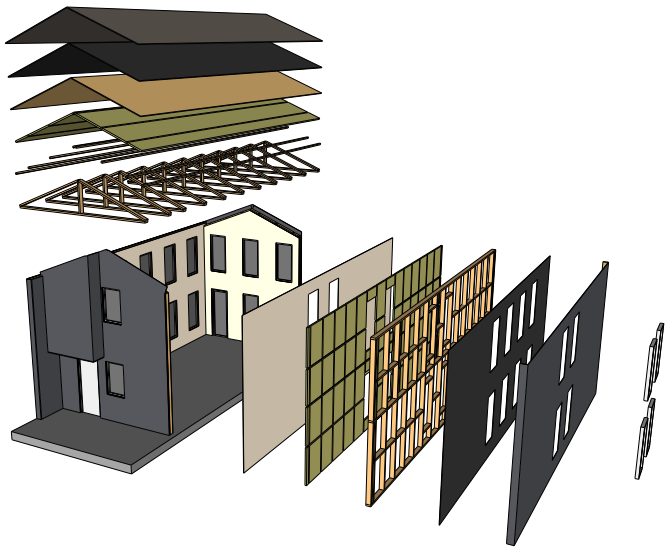
Şekil 4.19 Bütün YDD süreçlerine göre EP etkileri (a), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre EP etkileri (b), Kaynak türlerine göre EP etkileri (c), Bütün YDD süreçlerine göre ODP etkileri (d), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre ODP etkileri (e), Kaynak türlerine göre ODP etkileri (f)

4.2.2 Ahşap Platform Çerçeve Yapı Sistemi Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

YDD'si yapılan beş yapı sisteminden ikincisi, geleneksel ahşap yapı sistemlerinden ahşap platform çerçeve yapı sistemidir. Bu yapı sisteminde dış duvar, iç duvar, döşeme ve çatıda, kerestelerden oluşan ahşap platform çerçevenin standart kullanımı ön görülmüştür. Bu doğrultuda hazırlanan yapının sistem kesiti Şekil 4.20'te belirtilen şekildedir. Öngörülen yapı ve sistem kesiti ile tasarlanan yapının üç boyutlu modellemesi SketchUp programı ile yapılmıştır (Şekil 4.21).



Şekil 4.20 Ahşap platform çerçeve yapı sistem kesiti



Şekil 4.21 Ahşap platform çerçeve yapı modeli

Yapının oluşturulan sistem kesitindeki yapı malzemelerinin katmanlar ve kullanıldığı birimler Tablo 4.7'te belirtilmiştir. Belirtilen yapı malzemelerinin karşılıkları One Click LCA YDD aracında da bulunmaktadır ve koşulları sağlamaktadır.

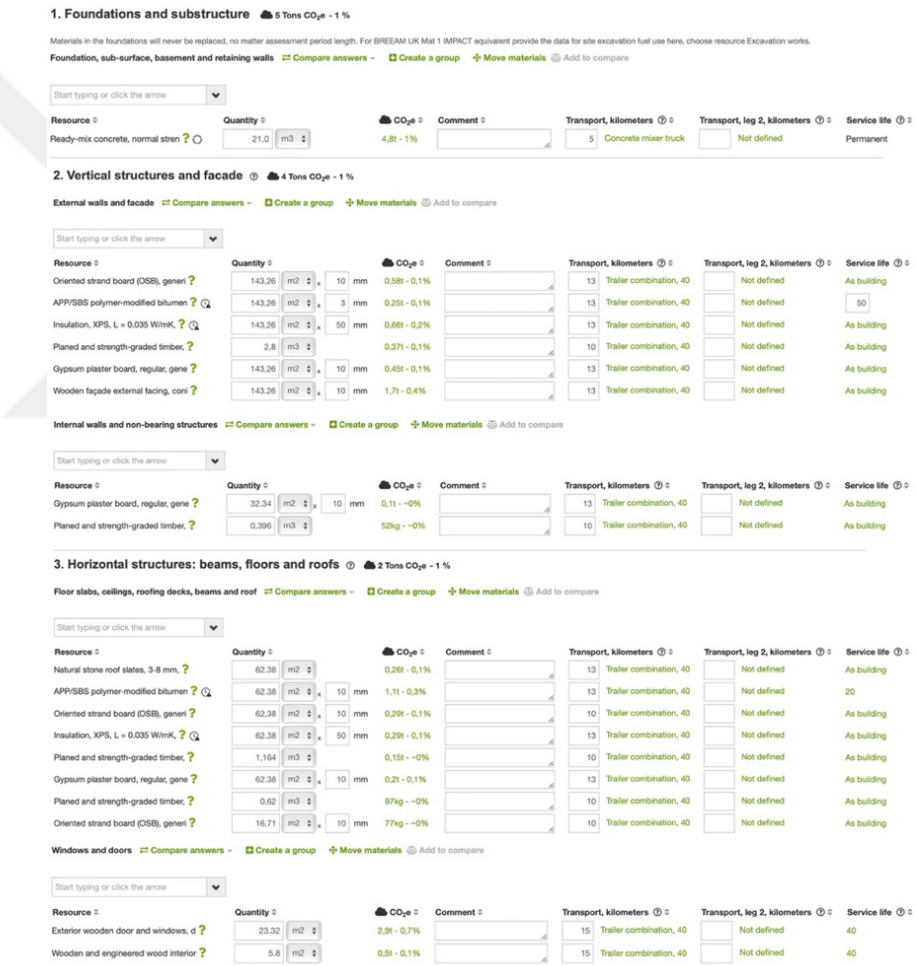
Tablo 4. 7 Ahşap platform çerçeve yapı sisteminde kullanılan yapı malzemeleri

Yapıda tasarlanan alan	**Kullanılan malzeme**	**Kullanım miktarı**
Temel	Hazır beton karışımı	21 m^3
Dış Duvar	Ahşap Dış Cephe Kaplaması	143,26 m^2 x 10mm
	Nem Bariyeri	143,26 m^2 x 3mm
	Isı Yalıtımı (XPS)	143,26 m^2 x 50mm
	OSB Kaplama	143,26 m^2 x 10mm
	Soyulmuş ve Biçimlendirilmiş Kereste	2,8 m^3
	Alçı Panel İç Cephe Kaplaması	143,26 m^2 x 10mm
İç duvar	Soyulmuş ve Biçimlendirilmiş Kereste	0,396 m^3
	Alçı Panel İç Cephe Kaplaması	32,24 m^2
Döşeme	Soyulmuş ve Biçimlendirilmiş Kereste	0,62 m^3
	Döşeme Kaplaması (OSB)	16,71 m^2 x 10mm
Çatı	Kayrak Taşı Çatı Kaplaması	62,38 m^2
	Nem Bariyeri	62,38 m^2 x 10mm
	Çatı Kaplama Levhası (OSB)	62,38 m^2 x 10mm
	Isı Yalıtımı (XPS)	62,38 m^2 x 50mm
	Soyulmuş ve Biçimlendirilmiş Kereste	1,164 m^3
	Alçı Panel İç Cephe Kaplaması	62,38 m^2
Kapı ve Pencere	Ahşap dış kapı ve pencere	23,22 m^2
	Ahşap iç kapı	5,8 m^2

Ahşap platform çerçeve yapı sisteminde kullanılacak yapı malzemelerinin sisteme girişinde, daha önce Bölüm 4.15'te de belirtilen nakliye süreçlerine (A4) dair hesaplanan uzaklık verilerinin de girişi sağlanmıştır.

Seçilen yapı malzemelerinin sisteme girişi sırasında yapı envanterinden seçilen yapı malzemelerinin servis ömürlerini envanterden otomatik olarak sağlamaktadır.

Bütün süreçlere dair olan verilerin girişini sisteme sağladıktan sonra, eklenen yapı malzemelerin bütün YDD içerisinde ne kadar CO_2 salınımı sağladığını da belirtmektedir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22 Ahşap platform çerçeve yapı One Click LCA yapı malzeme listesi

Ahşap platform çerçeve yapı malzemelerinin sisteme girilmesiyle birlikte öncelikli olarak yapı kategorilerinin kütleleri ve toplama olan oranı hesaplanmaktadır (Tablo 4.8).

Tablo 4. 8 Ahşap platform çerçeve yapı sistemi yapı kategorilerinin kütle ağırlıkları

Yapı Malzemesi	Kütlesi	Kütle Oranı
Temel	50000 kg	%65,28
Dış duvarlar	13000 kg	%16,71
Döşeme, çatı, kiriş	10000 kg	%13,42
Pencere ve kapılar	2200 kg	%2,84
İç Duvarlar	1300 kg	%1,74
Toplam	**76500 kg**	

Ahşap platform çerçeve yapı sistemin gerekli verilerin girişinin tamamlanmasıyla ile birlikte YDD sonuçları hazır olmaktadır. Bütün süreçlerin sonuçlarına dair olan YDD sonuçları Tablo 4.9'te verilmektedir.

Tablo 4. 9 Ahşap platform çerçeve yapı YDD

Süreç	Süreç Kategorisi	GWP	AP	EP	ODP
A1-A3	Yapı Malzemeleri	1,17E+04	4,98E+01	2,15E+01	7,00E-04
A4	Nakliye	3,81E+01	7,30E-02	1,50E-02	6,60E-06
A5	Kurulum Süreci	-	-	-	-
B1-B5	Bakım ve Değişim	2,35E+03	1,34E+01	3,34E+00	2,70E-04
B6	Enerji Kullanımı	3,72E+05	2,30E+03	4,94E+02	1,50E-02
B7	Su Kullanımı	2,50E+03	1,35E+01	6,84E+00	2,70E-04
C1-C4	Yaşam Sonu	7,50E+02	2,31E+00	8,70E-01	6,80E-06
C1-C4	Yapısöküm	7,50E+02	2,31E+00	8,70E-01	6,80E-06

Tablo 4.9 Ahşap platform çerçeve yapı YDD (devamı)

D	Dış Etkiler	-3,42E+03	-5,00E+00	-1,31E+00	-3,30E-05
D	Kurulu Malzemeler	-3,42E+03	-5,00E+00	-1,31E+00	-3,30E-05
D2	Enerji geri kazanımı	-	-	-	-
	Total	**3,9E+05**	**2,38E+03**	**5,26E+02**	**1,67E-02**

Ahşap platform çerçeve yapı sisteminin YDD'nin yapı malzemeleri (A1-A3) süreci ele alındığında malzemelerin de kendi içlerinde etki değerleri hesaplanabilmekte ve böylece karşılaştırılabilir bilgi edinilmektedir (Tablo 4.10).

Tablo 4. 10 Ahşap platform çerçeve yapı sistemi, A1-A3 süreci malzemeleri etki değerleri

Yapıda tasarlanan alan	**Kullanılan malzeme**	**GWP**	**AP**	**EP**	**ODP**
Temel	Hazır beton karışımı	4,68E3	1,09E1	6,83E0	1,8E-4
Dış Duvar	Ahşap Dış Cephe Kaplaması	1,65E3	1,1E1	2,57E0	6,27E-5
	Nem Bariyeri	2,48E2	1,26E0	6,22E-1	6,75E-5
	Isı Yalıtımı (XPS)	6,63E2	1,69-1	2,94E0	1,93E-5
	OSB Kaplama	5,73E2	3,34E0	1,7E0	1,34E-5
	Soyulmuş Biçimlendir Kereste	2,06E2	1,63E0	7,61E-1	2,13E-5
	Alçı Panel İç Cephe Kaplaması	3,92E2	2,89E0	3,77E-1	1,45E-5
İç duvar	Soyulmuş Biçimlendir Kereste	2,91E1	2,31E-1	1,08E-1	3,01E-6
	Alçı Panel İç Cephe Kaplaması	9,09E1	6,56E-1	8,58E-2	3,51E-6
Döşeme	Soyulmuş Biçimlendir Kereste	6,12E1	4,84E-1	1,59E-1	5,2E-6
	OSB Kaplama	7,62E-1	3,99E-1	2,02E-1	2,18E-6

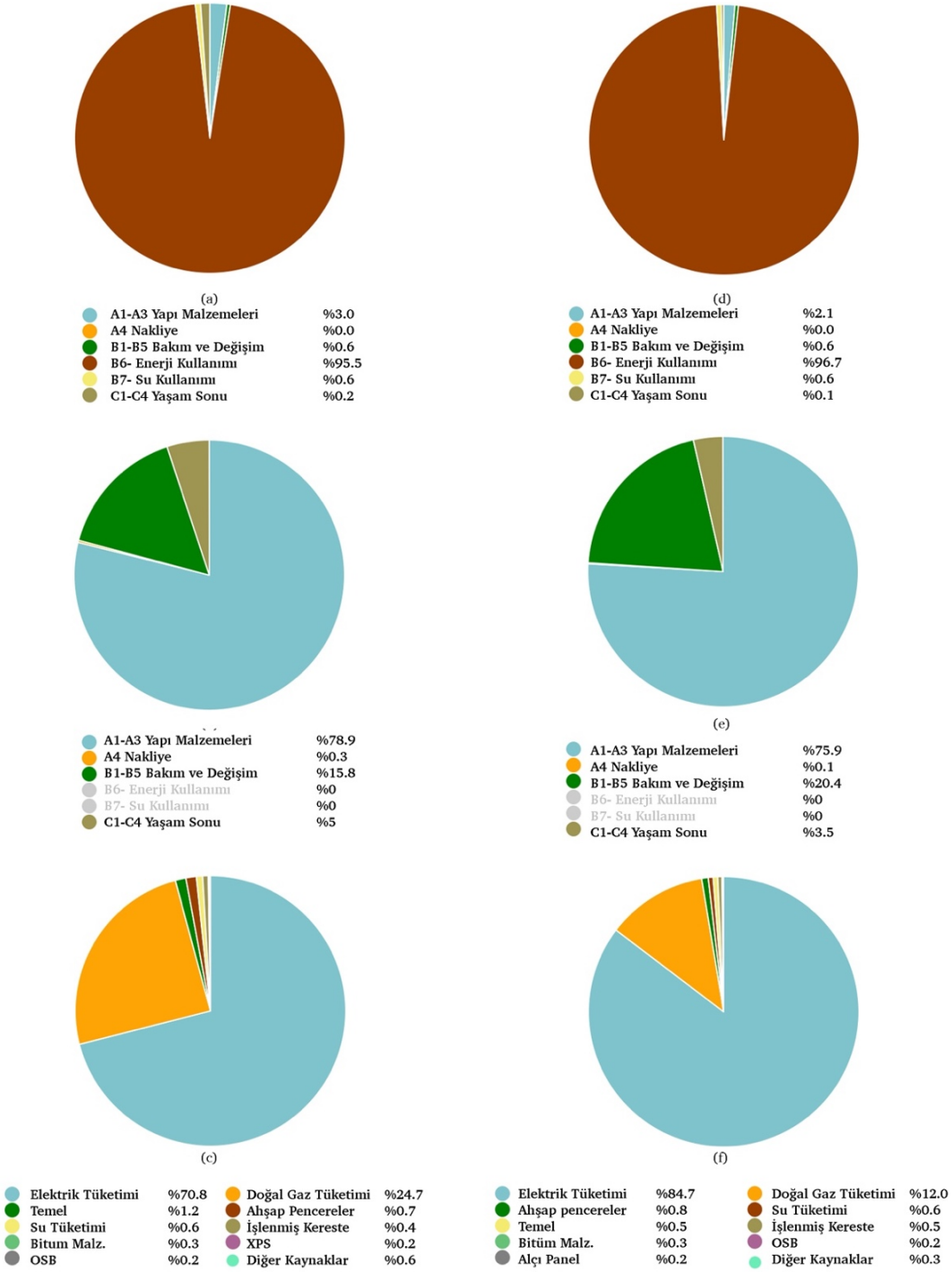
Tablo 4.10 Ahşap platform çerçeve yapı sistemi, A1-A3 süreci malzemeleri etki değerleri (devamı)

Çatı	Kayrak Taşı Çatı Kaplaması	2,84E2	1,49E0	7,54E-1	8,15E-6
	Nem Bariyeri	3,6E2	1,83E0	9,02E-1	9,79E-5
	Çatı Kaplama Levha (OSB)	2,84E2	1,49E0	7,54E-1	8,15E-6
	Isı Yalıtımı (XPS)	2,89E2	7,37E-2	1,28E0	8,39E-6
	Soyulmuş Biçimlendir Kereste	8,56E1	6,78E-1	3,16E-1	8,85E-6
	Alçı Panel Kaplama	1,75E2	1,26E0	1,65E-1	6,77E-6
Kapı ve Pencere	Ahşap dış kapı ve pencere	1,4E3	9,09E0	1,4E0	4,43E-5
	Ahşap iç kapı	2,34E2	6,57E-1	1,34-1	2,49E-5

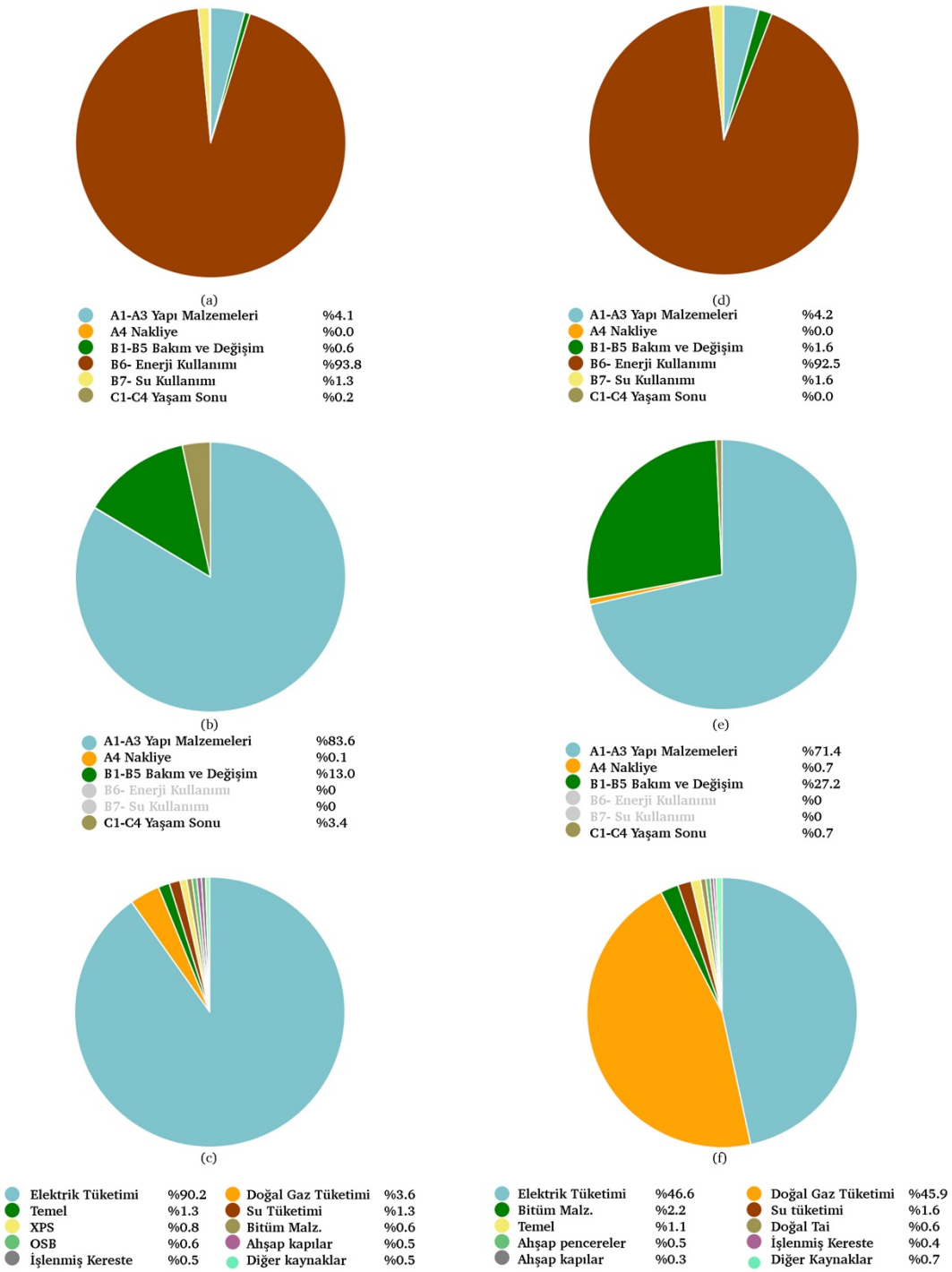
Ahşap platform çerçeve yapı YDD sonuçlarına göre çeşitli grafiklere erişim sağlanmaktadır. Bu grafikler, süreçlerin etkilerine ilişkin anlaşılabilir bilgiyi sunmaktadır. Ahşap platform çerçeve yapının;

- Bütün YDD süreçlerine göre GWP etkileri (Şekil 4.23.a),
- B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre GWP etkileri (Şekil 4.23.b),
- Kaynak türlerine göre GWP etkileri (Şekil 4.23.c),
- Bütün YDD süreçlerine göre AP etkileri (Şekil 4.23.d),
- B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre AP etkileri (Şekil 4.23.e),
- Kaynak türlerine göre AP etkileri (Şekil 4.23.f),
- Bütün YDD süreçlerine göre EP etkileri (Şekil 4.24.a),
- B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre EP etkileri (Şekil 4.24.b),
- Kaynak türlerine göre EP etkileri (Şekil 4.24.c),
- Bütün YDD süreçlerine göre ODP etkileri (Şekil 4.24.d),
- B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre ODP etkileri (Şekil 4.24.e),
- Kaynak türlerine göre ODP etkileri (Şekil 4.24.f)

ilgili grafiklerde verilmiştir.



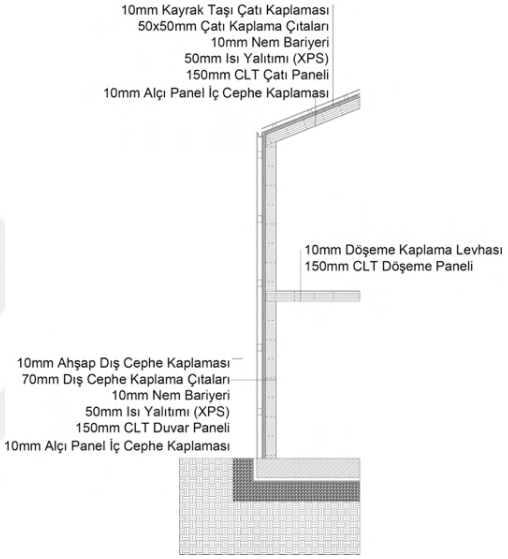
Şekil 4.23 Bütün YDD süreçlerine göre GWP etkileri (a), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre GWP etkileri (b), Kaynak türlerine göre GWP etkileri (c), Bütün YDD süreçlerine göre AP etkileri (d), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre AP etkileri (e), Kaynak türlerine göre AP etkileri (f)



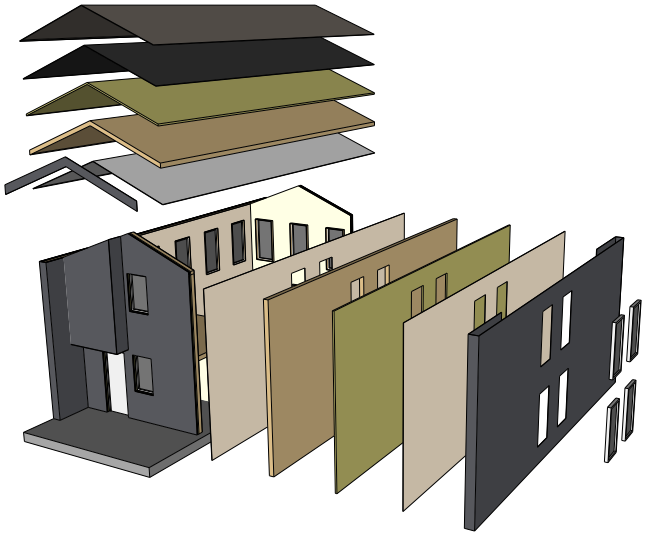
Şekil 4.24 Bütün YDD süreçlerine göre EP etkileri (a), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre EP etkileri (b), Kaynak türlerine göre EP etkileri (c), Bütün YDD süreçlerine göre ODP etkileri (d), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre ODP etkileri (e), Kaynak türlerine göre ODP etkileri (f)

4.2.3 Ahşap Çapraz Lamine Ahşap Panel Yapı Sistemi Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

YDD'si yapılan beş yapı sisteminden üçüncüsü, çağdaş ahşap yapı sistemlerinden, ahşap CLT panel yapı sistemidir. Bu yapı sisteminde dış duvar, iç duvar, döşeme ve çatıda, prefabrike bir şekilde oluşturulmuş CLT paneller kullanımı ön görülmüştür. Bu doğrultuda hazırlanan yapının sistem kesiti Şekil 4.25'te belirtilen şekildedir. Öngörülen yapı ve sistem kesiti ile tasarlanan yapının üç boyutlu modellemesi SketchUp programı ile yapılmıştır (Şekil 4.26).



Şekil 4.25 Ahşap CLT panel yapı sistem kesiti



Şekil 4.26 Ahşap CLT panel yapı modeli

Yapının oluşturulan sistem kesitindeki yapı malzemelerinin katmanlar ve kullanıldığı birimler Tablo 4.11'te belirtilmiştir. Belirtilen yapı malzemelerinin karşılıkları One Click LCA YDD aracında da bulunmaktadır ve koşulları sağlamaktadır.

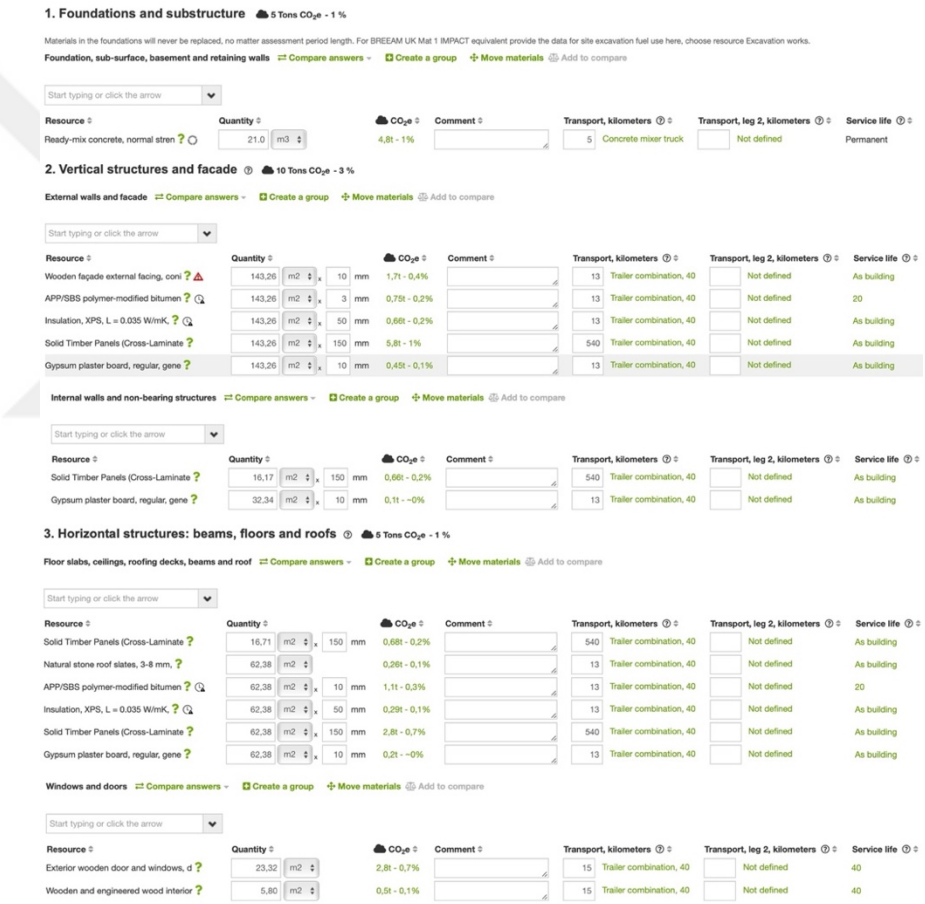
Tablo 4. 11 Ahşap CLT panel yapı sisteminde kullanılan yapı malzemeleri

Yapıda tasarlanan alan	**Kullanılan malzeme**	**Kullanım miktarı**
Temel	Hazır beton karışımı	21 m^3
Dış Duvar	Ahşap Dış Cephe Kaplaması	143,26 m^2 x 10mm
	Nem Bariyeri	143,26 m^2 x 3mm
	Isı Yalıtımı (XPS)	143,26 m^2 x 50mm
	CLT Duvar Paneli	143,26 m^2 x 150mm
	Alçı Panel İç Cephe Kaplaması	143,26 m^2 x 10mm
İç duvar	CLT Duvar Paneli	16,17 m^2 x 150mm
	Alçı Panel İç Cephe Kaplaması	32,24 m^2
Döşeme	CLT Döşeme Paneli	16,71 m^2 x 150mm
	Döşeme Kaplaması (OSB)	16,71 m^2 x 10mm
Çatı	Kayrak Taşı Çatı Kaplaması	62,38 m^2
	Nem Bariyeri	62,38 m^2 x 10mm
	Isı Yalıtımı (XPS)	62,38 m^2 x 50mm
	CLT Çatı Paneli	62,38 m^2 x 150mm
	Alçı Panel İç Cephe Kaplaması	62,38 m^2
Kapı ve Pencere	Ahşap dış kapı ve pencere	23,22 m^2
	Ahşap iç kapı	5,8 m^2

Ahşap CLT panel yapı sisteminde kullanılan yapı malzemelerinin sisteme girişinde, daha önce Bölüm 4.15'te de belirtilen nakliye süreçlerine (A4) dair hesaplanan uzaklık verilerinin de girişi sağlanmıştır.

Seçilen yapı malzemelerinin sisteme girişi sırasında yapı envanterinden seçilen yapı malzemelerinin servis ömürlerini envanterden otomatik olarak sağlamaktadır.

Bütün süreçlere dair olan verilerin girişini sisteme sağladıktan sonra, eklenen yapı malzemelerin bütün YDD içerisinde ne kadar CO_2 salınımı sağladığını da belirtmektedir (Şekil 4.27).



Şekil 4.27 Ahşap CLT panel yapı One Click LCA yapı malzeme listesi

Ahşap CLT panel yapı malzemelerinin sisteme girilmesiyle birlikte öncelikli olarak yapı kategorilerinin kütleleri ve toplama olan oranı hesaplanmaktadır (Tablo 4.12).

Tablo 4. 12 Ahşap CLT Panel yapı sistemi yapı kategorilerinin kütle ağırlıkları

Yapı Malzemesi	Kütlesi	Kütle Oranı
Temel	50000 kg	%65,28
Dış duvarlar	13000 kg	%16,71
Döşeme, çatı, kiriş	10000 kg	%13,42
Pencere ve kapılar	2200 kg	%2,84
İç Duvarlar	1300 kg	%1,74
Toplam	**76500 kg**	

Ahşap CLT panel yapı sistemin gerekli verilerin girişinin tamamlanmasıyla ile birlikte YDD sonuçları hazır olmaktadır. Bütün süreçlerin sonuçlarına dair olan YDD sonuçları Tablo 4.13'te verilmektedir.

Tablo 4. 13 Ahşap CLT panel yapı YDD

Süreç	Süreç Kategorisi	GWP	AP	EP	ODP
A1-A3	Yapı Malzemeleri	1,80E+04	7,97E+01	3,62E+01	1,20E-03
A4	Nakliye	3,62E+02	1,56E+00	3,40E-01	7,10E-05
A5	Kurulum Süreci	-	-		
B1-B5	Bakım ve Değişim	2,81E+03	1,59E+01	4,58E+00	4,00E-04
B6	Enerji Kullanımı	3,72E+05	2,30E+03	4,94E+02	1,50E-02
B7	Su Kullanımı	2,50E+03	1,35E+01	6,84E+00	2,70E-04
C1-C4	Yaşam Sonu	2,43E+03	4,30E+00	9,70E-01	5,40E-06
C1-C4	Yapısöküm	2,43E+03	4,30E+00	9,70E-01	5,40E-06
D	Dış Etkiler	-1,39E+04	-1,62E+01	-3,10E+00	-3,30E-05
D	Kurulu Malzemeler	-1,39E+04	-1,62E+01	-3,10E+00	-3,30E-05
D2	Enerji geri kazanımı	-	-	-	-
	Total	**3,99E+05**	**2,41E+03**	**5,43E+02**	**1,74E-02**

Ahşap CLT panel yapı sisteminin YDD'nin yapı malzemeleri (A1-A3) süreci ele alındığında malzemelerin de kendi içlerinde etki değerleri hesaplanabilmekte ve böylece karşılaştırılabilir bilgi edinilmektedir (Tablo 4.14).

Tablo 4. 14 Ahşap CLT panel yapı sistemi, A1-A3 süreci malzemeleri etki değerleri

Yapıda tasarlanan alan	**Kullanılan malzeme**	**GWP**	**AP**	**EP**	**ODP**
Temel	Hazır beton karışımı	4,68E3	1,09E1	6,83E0	1,8E-4
Dış Duvar	Ahşap Dış Cephe Kaplaması	1,65E3	1,1E1	2,57E0	6,27E-5
	Nem Bariyeri	2,48E2	1,26E0	6,22E-1	6,75E-5
	Isı Yalıtımı (XPS)	6,63E2	1,69-1	2,94E0	1,93E-5
	CLT Duvar Paneli	4,43E3	2,28E1	1,12E1	3,31E-4
	Alçı Panel İç Cephe Kaplaması	2,06E2	1,63E0	7,61E-1	2,13E-5
İç duvar	CLT Duvar Paneli	5E2	2,57E0	1,26E0	3,74E-5
	Alçı Panel İç Cephe Kaplaması	9,09E1	6,56E-1	8,58E-2	3,51E-6
Döşeme	CLT Döşeme Paneli	5,17E2	2,66E0	1,3E0	3,86E-5
	Döşeme Kaplaması (OSB)	7,62E-1	3,99E-1	2,02E-1	2,18E-6
Çatı	Kayrak Taşı Çatı Kaplaması	2,84E2	1,49E0	7,54E-1	8,15E-6
	Nem Bariyeri	3,6E2	1,83E0	9,02E-1	9,79E-5
	Isı Yalıtımı (XPS)	2,84E2	1,49E0	7,54E-1	8,15E-6

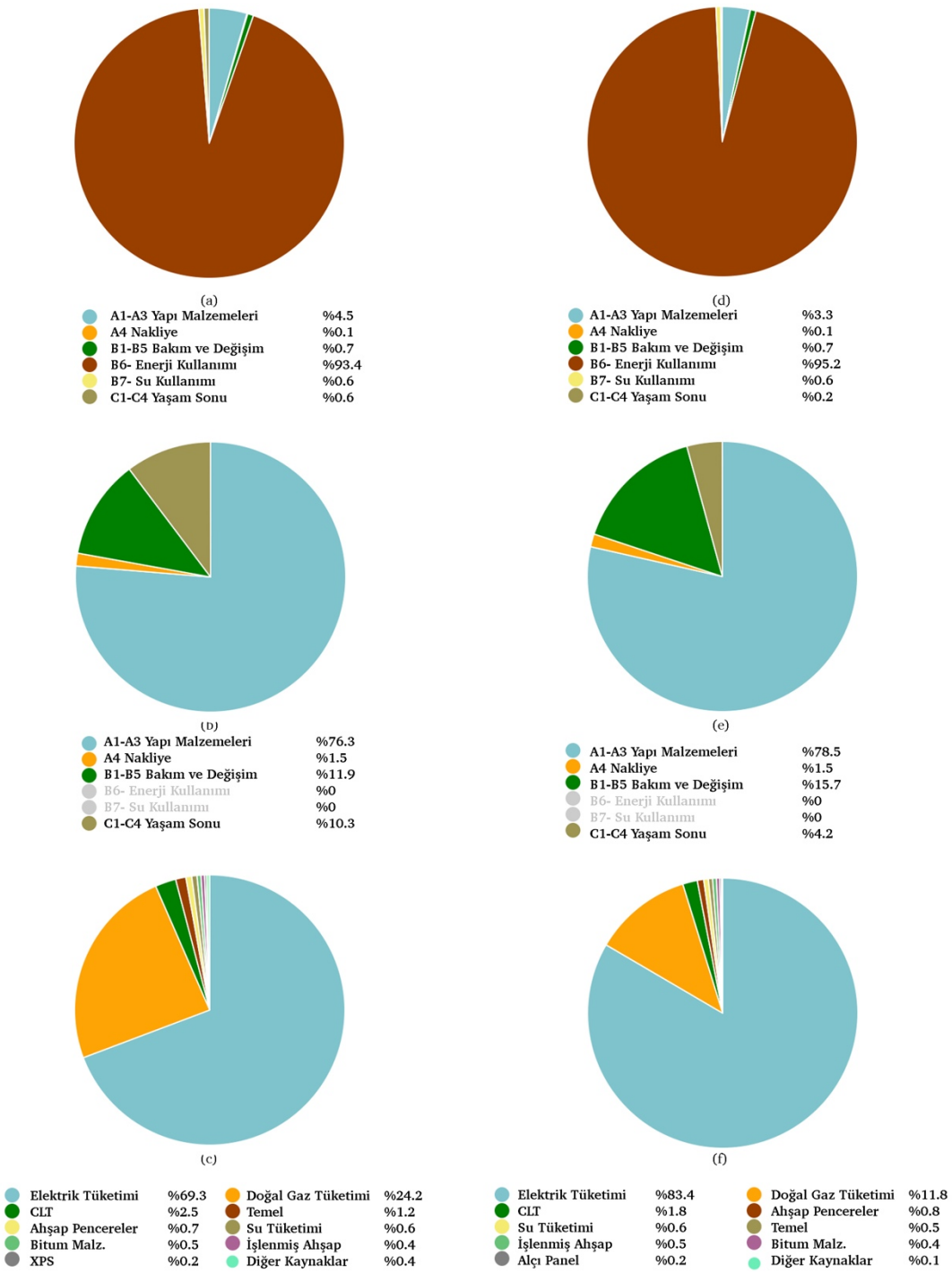
Tablo 4.14 Ahşap CLT panel yapı sistemi, A1-A3 süreci malzemeleri etki değerleri (devamı)

	CLT Çatı Paneli	2,19E3	1,02E1	4,95E0	2,04E-4
	Alçı Panel İç Cephe Kaplaması	8,56E1	6,78E-1	3,16E-1	8,85E-6
Kapı ve Pencere	Ahşap dış kapı ve pencere	1,4E3	9,09E0	1,4E0	4,43E-5
	Ahşap iç kapı	2,34E2	6,57E-1	1,34-1	2,49E-5

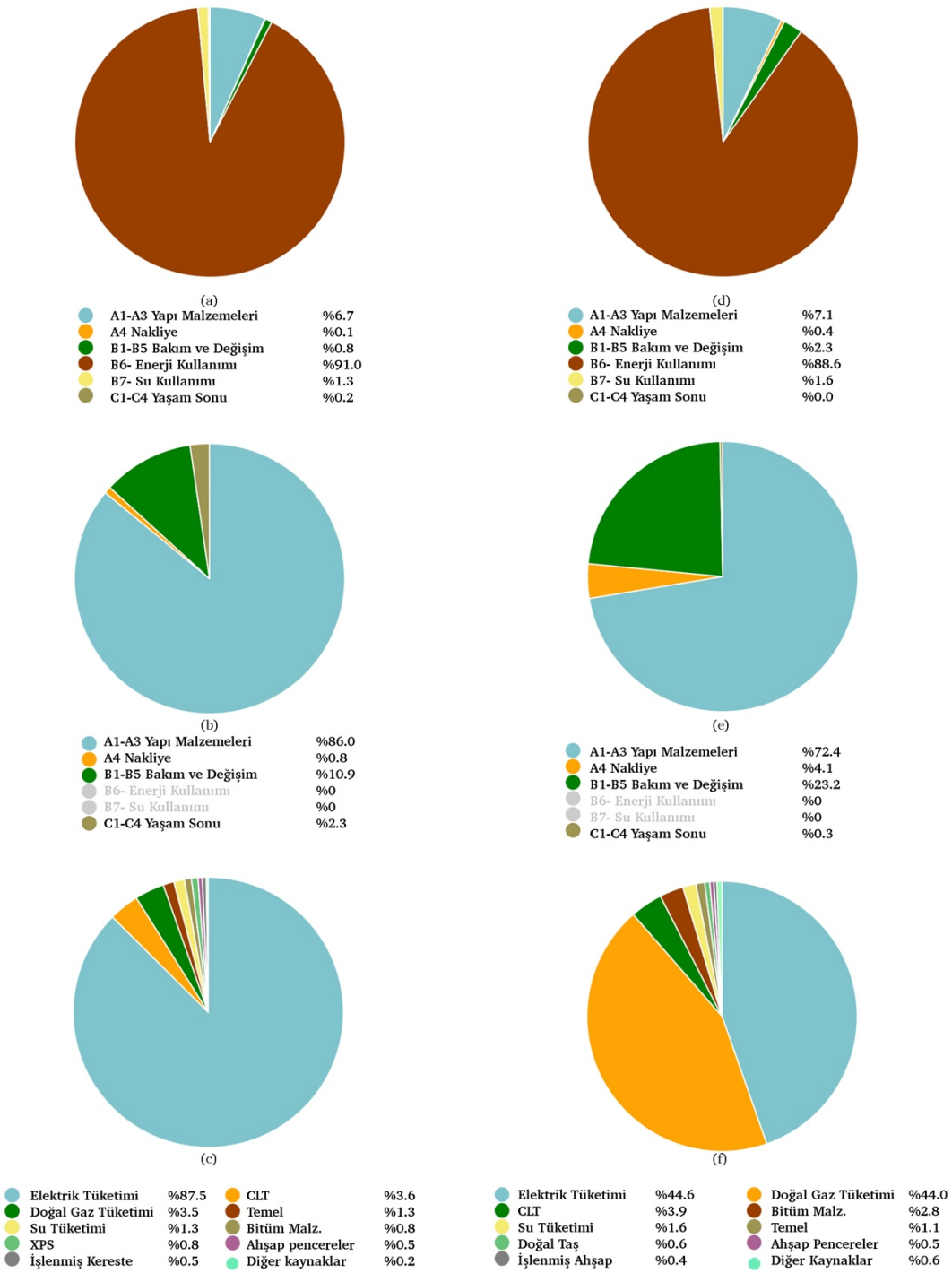
Ahşap CLT panel yapı YDD sonuçlarına göre çeşitli grafiklere erişim sağlanmaktadır. Bu grafikler, süreçlerin etkilerine ilişkin anlaşılabilir bilgiyi sunmaktadır. Ahşap CLT panel yapının;

- Bütün YDD süreçlerine göre GWP etkileri (Şekil 4.28.a),
- B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre GWP etkileri (Şekil 4.28.b),
- Kaynak türlerine göre GWP etkileri (Şekil 4.28.c),
- Bütün YDD süreçlerine göre AP etkileri (Şekil 4.28.d),
- B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre AP etkileri (Şekil 4.28.e),
- Kaynak türlerine göre AP etkileri (Şekil 4.28.f),
- Bütün YDD süreçlerine göre EP etkileri (Şekil 4.29.a),
- B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre EP etkileri (Şekil 4.29.b),
- Kaynak türlerine göre EP etkileri (Şekil 4.29.c),
- Bütün YDD süreçlerine göre ODP etkileri (Şekil 4.29.d),
- B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre ODP etkileri (Şekil 4.29.e),
- Kaynak türlerine göre ODP etkileri (Şekil 4.29.f),

ilgili grafiklerde verilmiştir.



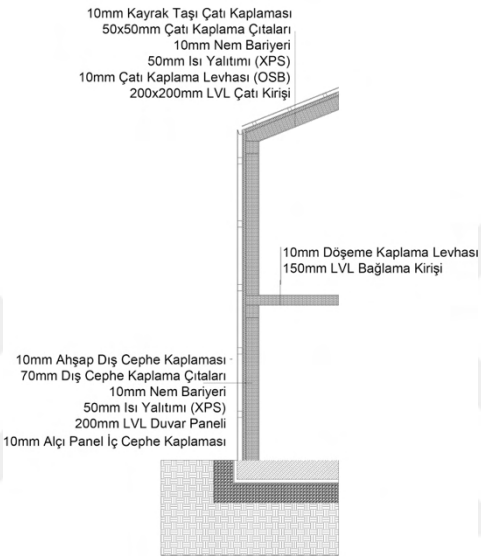
Şekil 4.28 Bütün YDD süreçlerine göre GWP etkileri (a), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre GWP etkileri (b), Kaynak türlerine göre GWP etkileri (c), Bütün YDD süreçlerine göre AP etkileri (d), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre AP etkileri (e), Kaynak türlerine göre AP etkileri (f)



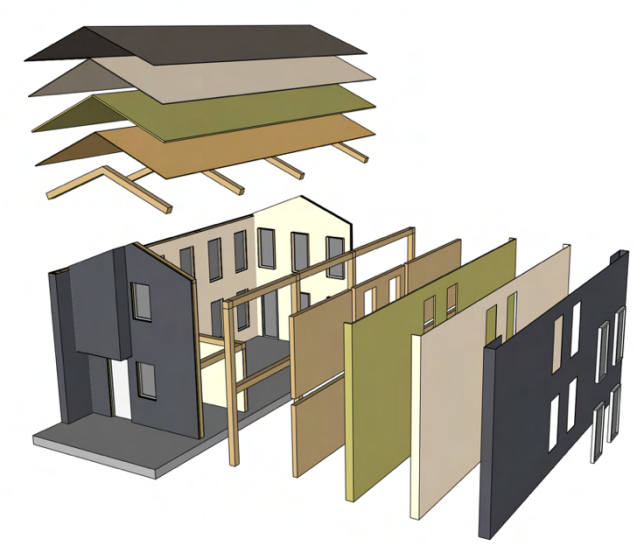
Şekil 4.29 Bütün YDD süreçlerine göre EP etkileri (a), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre EP etkileri (b), Kaynak türlerine göre EP etkileri (c), Bütün YDD süreçlerine göre ODP etkileri (d), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre ODP etkileri (e), Kaynak türlerine göre ODP etkileri (f)

4.2.4 Ahşap LVL Kolon-Kiriş Yapı Sistemi Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

YDD'si yapılan beş yapı sisteminden dördüncüsü, çağdaş ahşap yapı sistemlerinden, ahşap LVL kolon-kiriş yapı sistemidir. Bu yapı sisteminde temel olarak LVL yapı malzemesinde oluşan kolon-kiriş kurgulanmaktadır. Dış duvar ve iç duvar boşlukları da LVL malzemesi dolgu olacak şekilde kurgulanmıştır (Şekil 4.30) Öngörülen yapı ve sistem kesiti ile tasarlanan yapının üç boyutlu modellemesi SketchUp programı ile üretilmiştir (Şekil 4.31).



Şekil 4.30 Ahşap LVL Kolon-Kiriş yapı sistem kesiti



Şekil 4.31 Ahşap LVL Kolon-Kiriş yapı modeli

Yapının oluşturulan sistem kesitindeki yapı malzemelerinin katmanlar ve kullanıldığı birimler Tablo 4.15'te belirtilmiştir. Belirtilen yapı malzemelerinin karşılıkları One Click LCA YDD aracında da bulunmaktadır ve koşulları sağlamaktadır.

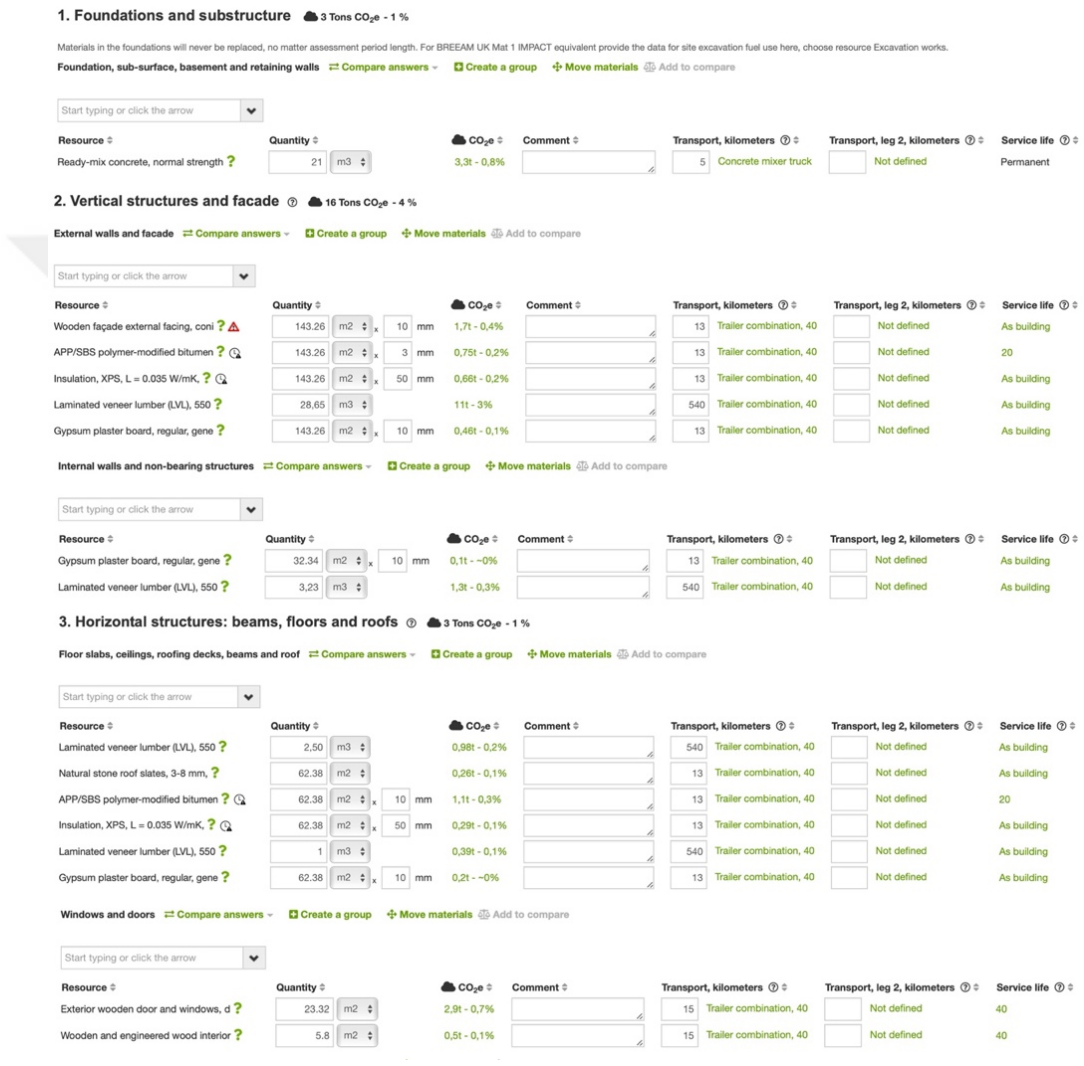
Tablo 4. 15 Ahşap LVL Kolon-Kiriş yapı sisteminde kullanılan yapı malzemeleri

Yapıda tasarlanan alan	**Kullanılan malzeme**	**Kullanım miktarı**
Temel	Hazır beton karışımı	21 m^3
Dış Duvar	Ahşap Dış Cephe Kaplaması	143,26 m^2 x 10 mm
	Nem Bariyeri	143,26 m^2 x 3 mm
	Isı Yalıtımı (XPS)	143,26 m^2 x 50 mm
	LVL Kolon-Kiriş ve Duvar Dolgusu	28,65 m^3
	Alçı Panel İç Cephe Kaplaması	143,26m^2 x 10 mm
İç duvar	LVL Duvar Paneli	3,23 m^3
	Alçı Panel İç Cephe Kaplaması	32,24 m^2
Döşeme	LVL Döşeme	2,50 m^3
	Döşeme Kaplaması (OSB)	16,71 m^2 x 10 mm
Çatı	Kayrak Taşı Çatı Kaplaması	62,38 m^2
	Nem Bariyeri	62,38 m^2 x 10 mm
	Isı Yalıtımı (XPS)	62,38 m^2 x 50 mm
	Alçı Panel İç Cephe Kaplaması	62,38 m^2
	LVL Çatı Kirişleri	1 m^3
Kapı ve Pencere	Ahşap dış kapı ve pencere	23,22 m^2
	Ahşap iç kapı	5,8 m^2

Ahşap LVL Kolon-Kiriş yapı sisteminde kullanılacak yapı malzemelerinin sisteme girişinde, daha önce Bölüm 4.15'te de belirtilen nakliye süreçlerine (A4) dair hesaplanan uzaklık verilerinin de girişi sağlanmıştır.

Seçilen yapı malzemelerinin sisteme girişi sırasında yapı envanterinden seçilen yapı malzemelerinin servis ömürlerini envanterden otomatik olarak sağlamaktadır.

Bütün süreçlere dair olan verilerin girişini sisteme sağladıktan sonra, eklenen yapı malzemelerin bütün YDD içerisinde ne kadar CO_2 salınımı sağladığını da belirtmektedir (Şekil 4.32).



Şekil 4.32 Ahşap LVL Kolon-Kiriş yapı One Click LCA yapı malzeme listesi

Ahşap LVL Kolon-Kiriş yapı malzemelerinin sisteme girilmesiyle birlikte öncelikli olarak yapı kategorilerinin kütleleri ve toplama olan oranı hesaplanmaktadır (Tablo 4.16).

Tablo 4. 16 Ahşap LVL kolon-kiriş yapı sistemi yapı kategorilerinin kütle ağırlıkları

Yapı Malzemesi	**Kütlesi**	**Kütle Oranı**
Temel	50000 kg	%62,28
Dış duvarlar	19000 kg	%23,74
Döşeme, çatı, kiriş	7100 kg	%8,73
Pencere ve kapılar	2200 kg	%2,71
İç Duvarlar	2100 kg	%2,54
Toplam	**80400 kg**	

Ahşap LVL Kolon-Kiriş yapı sistemin gerekli verilerin girişinin tamamlanmasıyla ile birlikte YDD sonuçları hazır olmaktadır. Bütün süreçlerin sonuçlarına dair olan YDD sonuçları Tablo 4.17'te verilmektedir.

Tablo 4. 17 Ahşap LVL Kolon-Kiriş yapı YDD

Süreç	**Süreç Kategorisi**	**GWP**	**AP**	**EP**	**ODP**
A1-A3	Yapı Malzemeleri	2,00E+04	8,57E+01	2,37E+01	6,30E-04
A4	Nakliye	4,39E+02	1,92E+00	4,20E-01	8,60E-05
A5	Kurulum Süreci	-	-	-	-
B1-B5	Bakım ve Değişim	2,84E+03	1,59E+01	4,59E+00	4,00E-04
B6	Enerji Kullanımı	3,72E+05	2,30E+03	4,94E+02	1,50E-02
B7	Su Kullanımı	2,50E+03	1,35E+01	6,84E+00	2,70E-04
C1-C4	Yaşam Sonu	2,89E+03	4,93E+00	1,11E+00	5,40E-06
C1-C4	Yapısöküm	2,89E+03	4,93E+00	1,11E+00	5,40E-06
D	Dış Etkiler	-1,67E+04	-1,92E+01	-3,58E+00	-3,30E-05
D	Kurulu Malzemeler	-1,67E+04	-1,92E+01	-3,58E+00	-3,30E-05
D2	Enerji geri kazanımı	-	-	-	-
	Total	**4,01E+05**	**2,42E+03**	**5,3E+02**	**1,68E-02**

Ahşap LVL Kolon-Kiriş yapı sisteminin YDD'nin yapı malzemeleri (A1-A3) süreci ele alındığında malzemelerin de kendi içlerinde etki değerleri hesaplanabilmekte ve böylece karşılaştırılabilir bilgi edinilmektedir (Tablo 4.18).

Tablo 4. 18 Ahşap LVL Kolon-Kiriş yapı sistemi, A1-A3 süreci malzemeleri etki değerleri

Yapıda tasarlanan alan	Kullanılan malzeme	GWP	AP	EP	ODP
Temel	Hazır beton karışımı	4,68E3	1,09E1	6,83E0	1,8E-4
Dış Duvar	Ahşap Dış Cephe Kaplaması	1,65E3	1,1E1	2,57E0	6,27E-5
	Nem Bariyeri	2,48E2	1,26E0	6,22E-1	6,75E-5
	Isı Yalıtımı (XPS)	6,63E2	1,69-1	2,94E0	1,93E-5
	LVL Kolon-Kiriş ve Duvar Dolgu	8,97E3	3,57E1	8,23E0	2,58E-6
	Alçı Panel İç Cephe Kaplaması	2,06E2	1,63E0	7,61E-1	2,13E-5
İç duvar	LVL Kolon Kiriş ve Duvar Dolgu	1,01E3	4,03E0	9,28E-1	2,9E-7
	Alçı Panel İç Cephe Kaplaması	9,09E1	6,56E-1	8,58E-2	3,51E-6
Döşeme	LVL Döşeme	7,82E2	3,12E0	7,19E-1	2,25E-7
	Döşeme Kaplaması (OSB)	7,62E-1	3,99E-1	2,02E-1	2,18E-6
Çatı	Kayrak Taşı Çatı Kaplaması	2,84E2	1,49E0	7,54E-1	8,15E-6
	Nem Bariyeri	3,6E2	1,83E0	9,02E-1	9,79E-5
	Isı Yalıtımı (XPS)	2,84E2	1,49E0	7,54E-1	8,15E-6

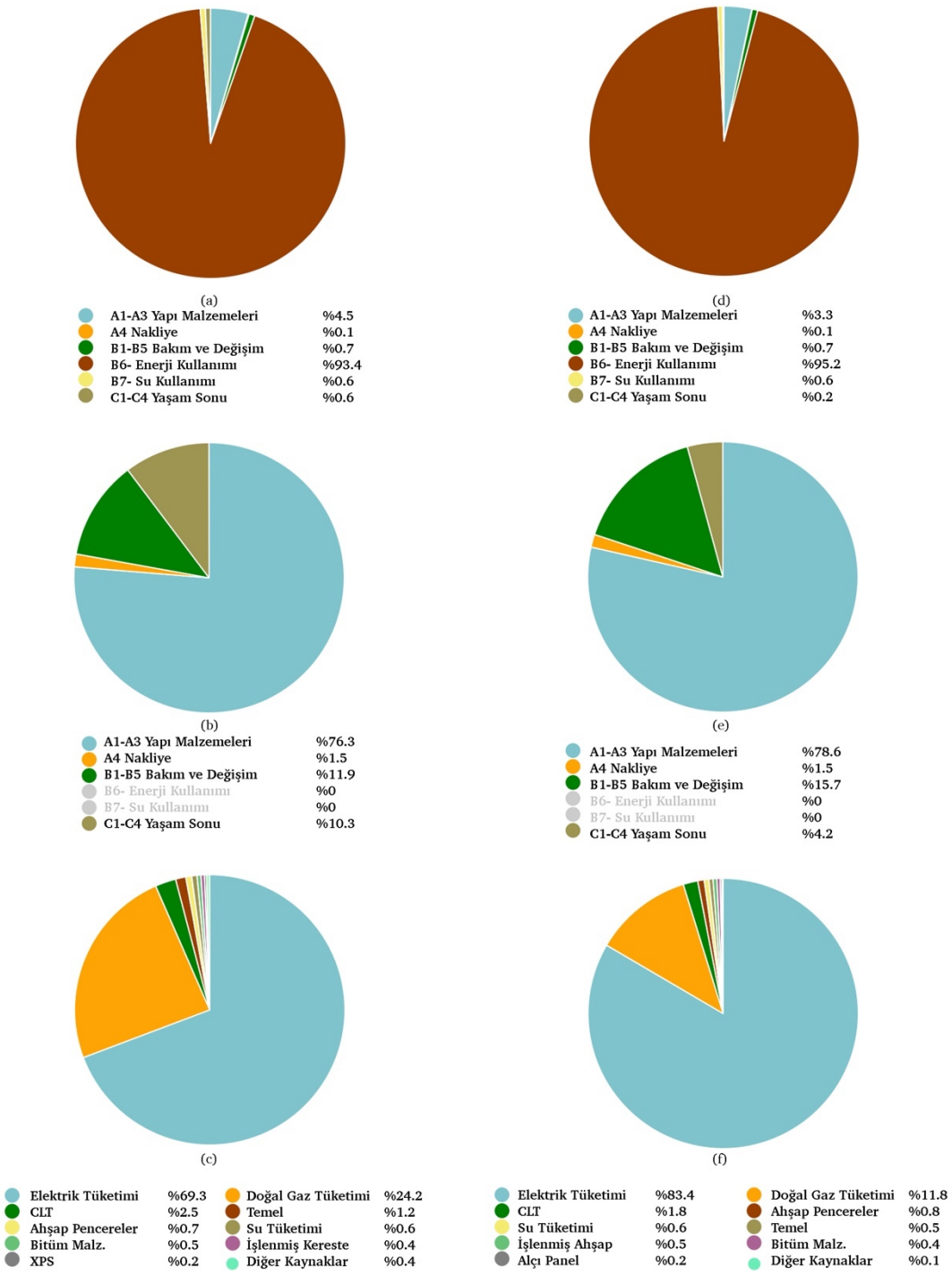
Tablo 4.18 Ahşap LVL Kolon-Kiriş yapı sistemi, A1-A3 süreci malzemeleri etki değerleri (devamı)

	LVL Çatı Kirişleri	3,13E2	1,25E0	2,87E-1	8,99E-8
	Alçı Panel İç Cephe Kaplaması	8,56E1	6,78E-1	3,16E-1	8,85E-6
Kapı ve Pencere	Ahşap dış kapı ve pencere	1,4E3	9,09E0	1,4E0	4,43E-5
	Ahşap iç kapı	2,34E2	6,57E-1	1,34-1	2,49E-5

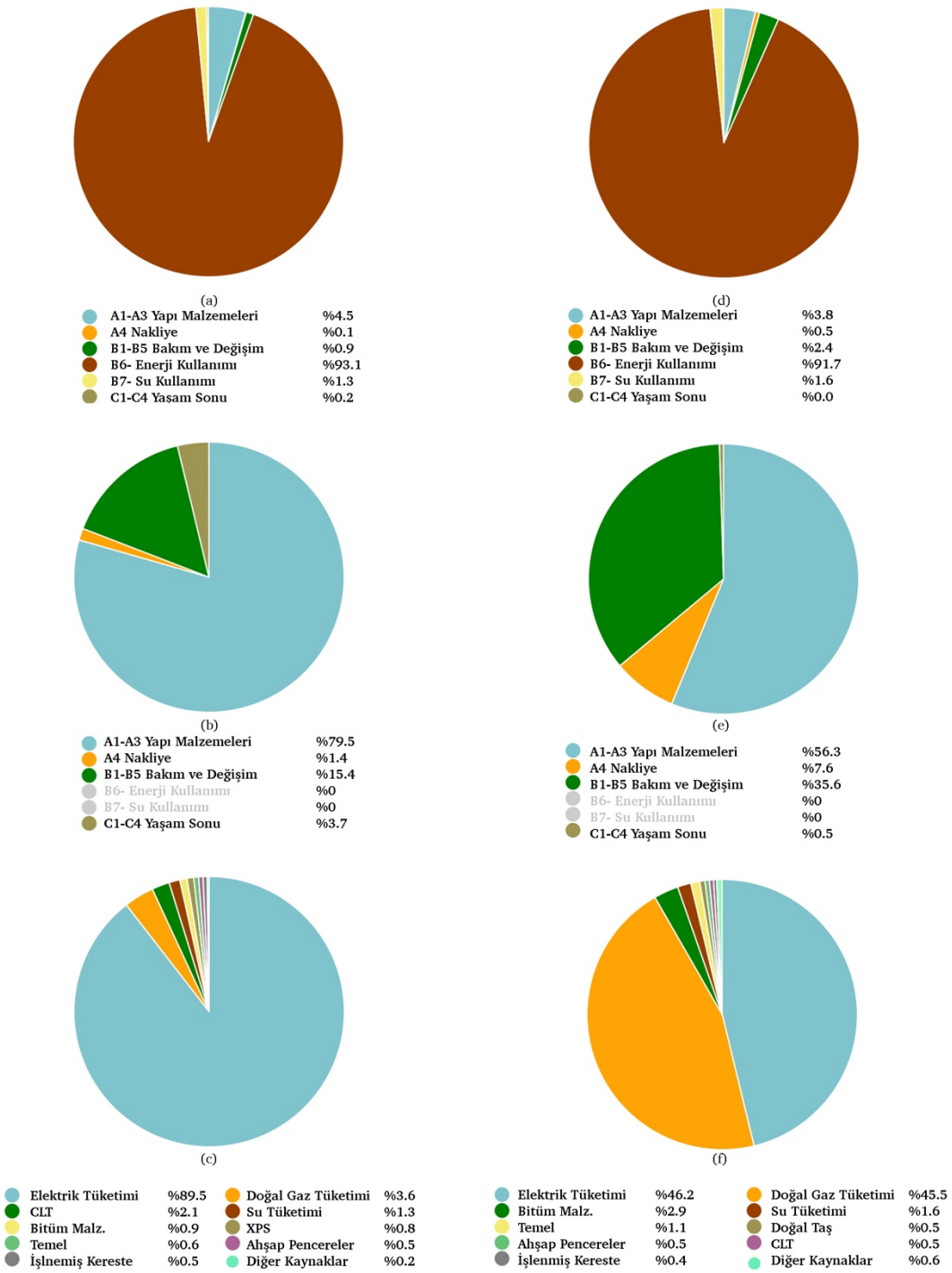
Ahşap LVL Kolon-Kiriş yapı YDD sonuçlarına göre çeşitli grafiklere erişim sağlanmaktadır. Bu grafikler, süreçlerin etkilerine ilişkin anlaşılabilir bilgiyi sunmaktadır. Ahşap LVL Kolon-Kiriş yapının;

- Bütün YDD süreçlerine göre GWP etkileri (Şekil 4.33.a),
- B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre GWP etkileri (Şekil 4.33.b),
- Kaynak türlerine göre GWP etkileri (Şekil 4.33.c),
- Bütün YDD süreçlerine göre AP etkileri (Şekil 4.33.d),
- B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre AP etkileri (Şekil 4.33.e),
- Kaynak türlerine göre AP etkileri (Şekil 4.33.f),
- Bütün YDD süreçlerine göre EP etkileri (Şekil 4.34.a),
- B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre EP etkileri (Şekil 4.34.b),
- Kaynak türlerine göre EP etkileri (Şekil 4.34.c),
- Bütün YDD süreçlerine göre ODP etkileri (Şekil 4.34.d),
- B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre ODP etkileri (Şekil 4.34.e),
- Kaynak türlerine göre ODP etkileri (Şekil 4.34.f),

ilgili grafiklerde verilmiştir.



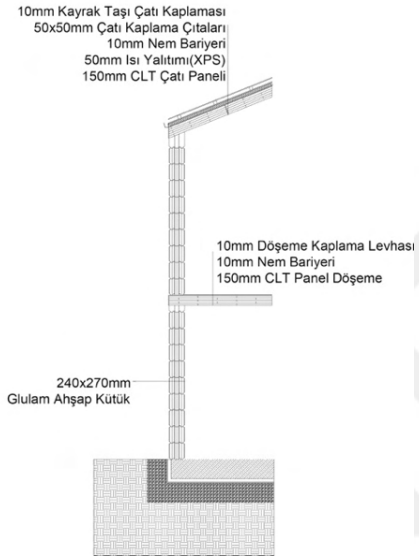
Şekil 4.33 Bütün YDD süreçlerine göre GWP etkileri (a), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre GWP etkileri (b), Kaynak türlerine göre GWP etkileri (c), Bütün YDD süreçlerine göre AP etkileri (d), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre AP etkileri (e), Kaynak türlerine göre AP etkileri (f)



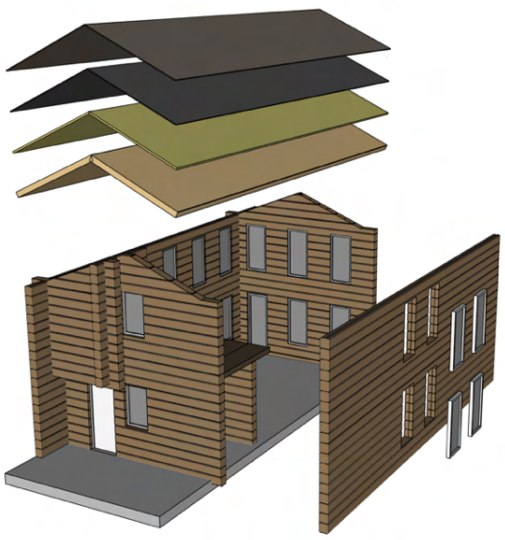
Şekil 4.34 Bütün YDD süreçlerine göre EP etkileri (a), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre EP etkileri (b), Kaynak türlerine göre EP etkileri (c), Bütün YDD süreçlerine göre ODP etkileri (d), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre ODP etkileri (e), Kaynak türlerine göre ODP etkileri (f)

4.2.5 Ahşap GLT Kütük Yığma Yapı Sistemi Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

YDD'si yapılan beş yapı sisteminden beşincisi, çağdaş ahşap yapı sistemlerinden, ahşap GLT kütük yığma yapı sistemidir. Bu yapı sisteminde dış duvarlar ve iç duvarlar kütük yığma yapı sistemine benzer şekilde inşa edilmektedir, kullanılan malzeme GLT yapı malzemesinden üretilmektedir (Şekil 4.35). Öngörülen yapı ve sistem kesiti ile tasarlanan yapının üç boyutlu modellemesi SketchUp programı ile üretilmiştir (Şekil 4.36).



Şekil 4.35 Ahşap GLT kütük yığma yapı sistem kesiti



Şekil 4.36 Ahşap GLT kütük yığma yapı modeli

Yapının oluşturulan sistem kesitindeki yapı malzemelerinin katmanları ve kullanıldığı birimler Tablo 4.19'de belirtilmiştir. Belirtilen yapı malzemelerinin karşılıkları One Click LCA YDD aracında da bulunmaktadır ve koşulları sağlamaktadır.

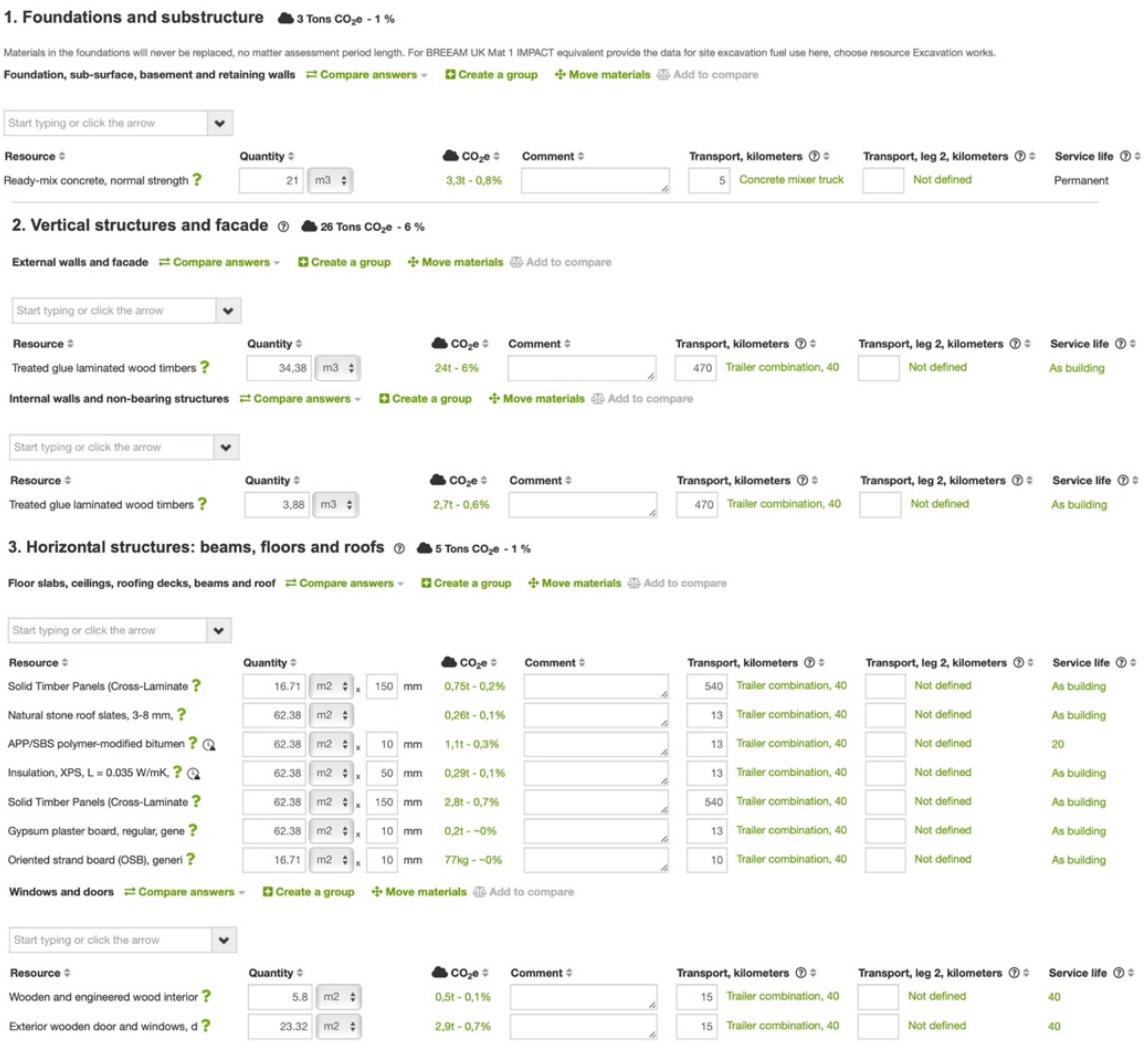
Tablo 4. 19 Ahşap GLT kütük yığma yapı sisteminde kullanılan yapı malzemeleri

Yapıda tasarlanan alan	**Kullanılan malzeme**	**Kullanım miktarı**
Temel	Hazır beton karışımı	21 m^3
Dış Duvar	GLT Kütük	34,38 m^3
İç duvar	GLT Kütük	3,88 m^3
Döşeme	CLT Panel Döşeme	16,71 m^2 x 150 mm
	Döşeme Kaplaması (OSB)	16,71 m^2 x 10 mm
Çatı	Kayrak Taşı Çatı Kaplaması	62,38 m^2
	Nem Bariyeri	62,38 m^2 x 10 mm
	Isı Yalıtımı (XPS)	62,38 m^2 x 50 mm
	CLT Çatı Paneli	62,38 m^2 x 150 mm
	Alçı Panel İç Cephe Kaplaması	62,38 m^2
Kapı ve Pencere	Ahşap dış kapı ve pencere	23,22 m^2
	Ahşap iç kapı	5,8 m^2

Ahşap GLT kütük yığma yapı sisteminde kullanılan yapı malzemelerinin sisteme girişinde, daha önce Bölüm 4.15'te de belirtilen nakliye süreçlerine (A4) dair hesaplanan uzaklık verilerinin de girişi sağlanmıştır.

Seçilen yapı malzemelerinin sisteme girişi sırasında yapı envanterinden seçilen yapı malzemelerinin servis ömürlerini envanterden otomatik olarak sağlamaktadır.

Bütün süreçlere dair olan verilerin girişini sisteme sağladıktan sonra, eklenen yapı malzemelerin bütün YDD içerisinde ne kadar CO_2 salınımı sağladığını da belirtmektedir (Şekil 4.37).



Şekil 4.37 Ahşap GLT kütük yığma yapı One Click LCA yapı malzeme listesi

Ahşap GLT kütük yığma yapı malzemelerinin sisteme girilmesiyle birlikte öncelikli olarak yapı kategorilerinin kütleleri ve toplama olan oranı hesaplanmaktadır (Tablo 4.20).

Tablo 4. 20 Ahşap GLT kütük yığma yapı sistemi yapı kategorilerinin kütle ağırlıkları

Yapı Malzemesi	**Kütlesi**	**Kütle Oranı**
Temel	50000 kg	%62,78
Dış duvarlar	15000 kg	%19,27
Döşeme, çatı, kiriş	10000 kg	%13,03

Tablo 4.20 Ahşap GLT kütük yığma yapı sistemi yapı kategorilerinin kütle ağırlıkları (devamı)

Pencere ve kapılar	2200 kg	%2,73
İç Duvarlar	1700 kg	%2,18
Toplam	**78900 kg**	

Ahşap GLT kütük yığma yapı sistemin gerekli verilerin girişinin tamamlanmasıyla ile birlikte YDD sonuçları hazır olmaktadır. Bütün süreçlerin sonuçlarına dair olan YDD sonuçları Tablo 4.21'te verilmektedir.

Tablo 4. 21 Ahşap GLT kütük yığma yapı YDD

Süreç	**Süreç Kategorisi**	**GWP**	**AP**	**EP**	**ODP**
A1-A3	Yapı Malzemeleri	3,25E+04	2,35E+02	8,36E+01	1,90E-03
A4	Nakliye	4,53E+02	1,98E+00	4,30E-01	8,90E-05
A5	Kurulum Süreci	-	-	-	-
B1-B5	Bakım ve Değişim	2,35E+03	1,34E+01	3,34E+00	2,70E-04
B6	Enerji Kullanımı	3,72E+05	2,30E+03	4,94E+02	1,50E-02
B7	Su Kullanımı	2,50E+03	1,35E+01	6,84E+00	2,70E-04
C1-C4	Yaşam Sonu	3,12E+03	5,22E+00	1,17E+00	1,50E-06
C1-C4	Yapısöküm	3,12E+03	5,22E+00	1,17E+00	1,50E-06
D	Dış Etkiler	-1,47E+04	-1,71E+01	-3,24E+00	-3,30E-05
D	Kurulu Malzemeler	-1,47E+04	-1,71E+01	-3,24E+00	-3,30E-05
D2	Enerji geri kazanımı	-	-	-	-
	Total	**4,13E+05**	**2,57E+03**	**5,89E+02**	**1,8E-02**

Ahşap GLT yığma kütük sisteminin YDD'nin yapı malzemeleri (A1-A3) süreci ele alındığında malzemelerin de kendi içlerinde etki değerleri hesaplanabilmekte ve böylece karşılaştırılabilir bilgi edinilmektedir (Tablo 4.22).

Tablo 4. 22 Ahşap GLT yığma kütük yapı sistemi, A1-A3 süreci malzemeleri etki değerleri

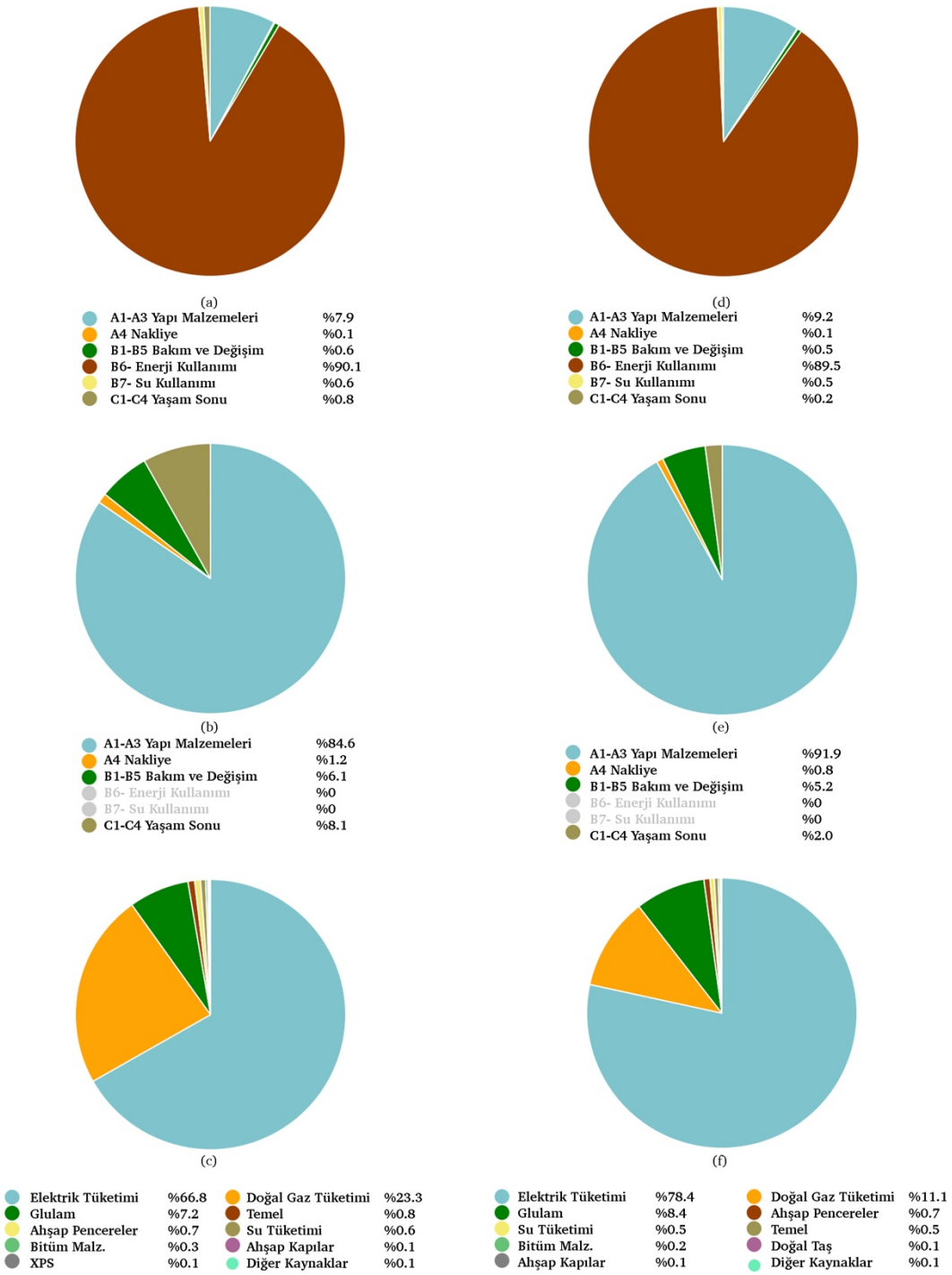
Yapıda tasarlanan alan	Kullanılan malzeme	GWP	AP	EP	ODP
Temel	Hazır beton karışımı	4,68E3	1,09E1	6,83E0	1,8E-4
Dış Duvar	GLT Kütük	2,14E4	1,77E2	6,31E1	1,04E-3
İç duvar	GLT Kütük	2,41E3	1,99E1	7,12E0	1,18E-4
Döşeme	CLT Panel Döşeme	5,88E2	2,72E0	1,33E0	5,45E-5
	Döşeme Kaplaması (OSB)	7,62E-1	3,99E-1	2,02E-1	2,18E-6
Çatı	Kayrak Taşı Çatı Kaplaması	2,84E2	1,49E0	7,54E-1	8,15E-6
	Nem Bariyeri	3,6E2	1,83E0	9,02E-1	9,79E-5
	Isı Yalıtımı (XPS)	2,84E2	1,49E0	7,54E-1	8,15E-6
	CLT Çatı Paneli	2,19E3	1,02E1	4,95E0	2,04E-4
	Alçı Panel İç Cephe Kaplaması	8,56E1	6,78E-1	3,16E-1	8,85E-6
Kapı ve Pencere	Ahşap dış kapı ve pencere	1,4E3	9,09E0	1,4E0	4,43E-5
	Ahşap iç kapı	2,34E2	6,57E-1	1,34-1	2,49E-5

Ahşap GLT kütük yığma yapı YDD sonuçlarına göre çeşitli grafiklere erişim sağlanmaktadır. Bu grafikler, süreçlerin etkilerine ilişkin anlaşılabilir bilgiyi sunmaktadır. Ahşap GLT kütük yığma yapının;

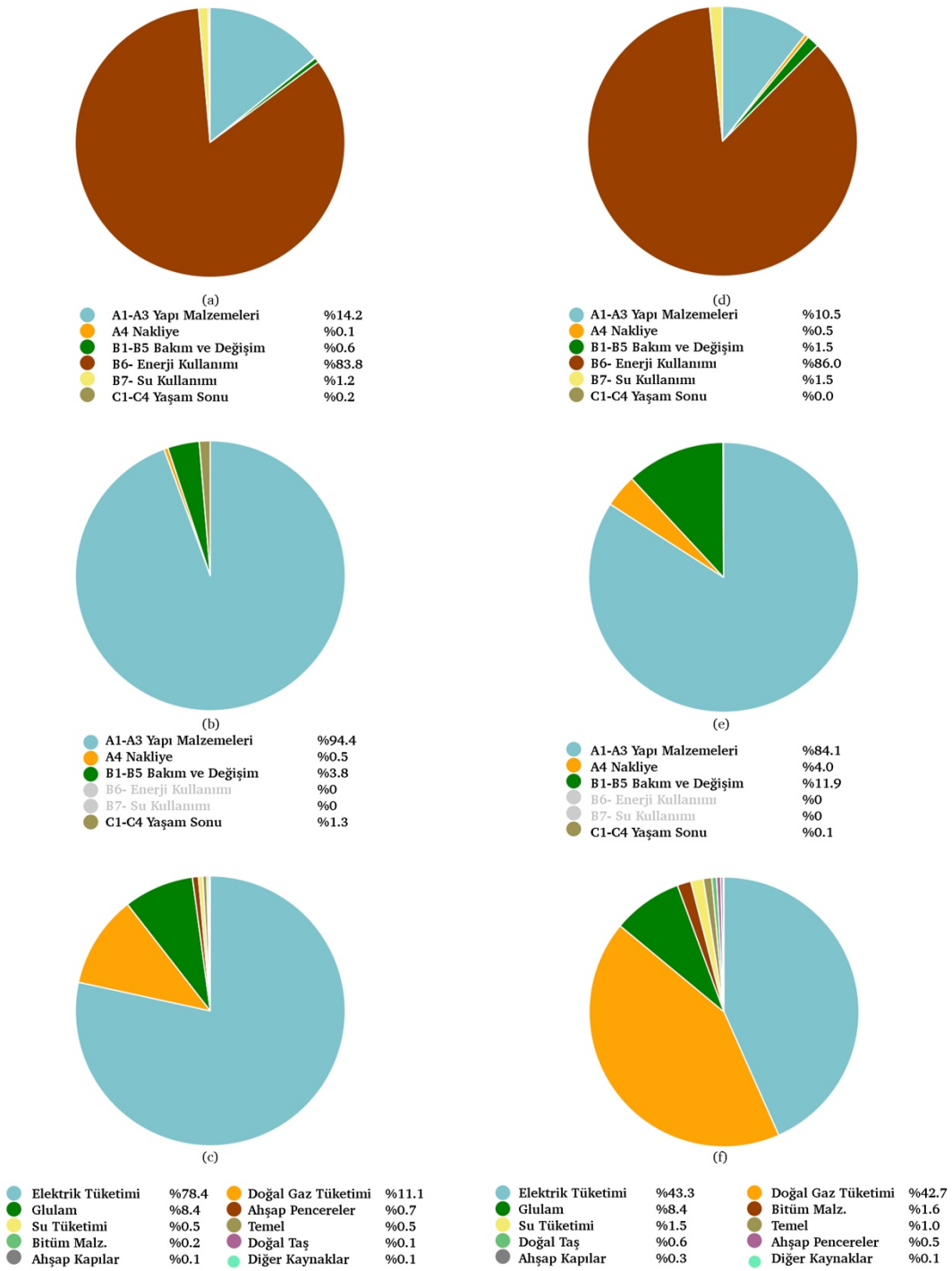
- Bütün YDD süreçlerine göre GWP etkileri (Şekil 4.38.a),
- B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre GWP etkileri (Şekil 4.38.b),
- Kaynak türlerine göre GWP etkileri (Şekil 4.38.c),

- Bütün YDD süreçlerine göre AP etkileri (Şekil 4.38.d),
- B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre AP etkileri (Şekil 4.38.e),
- Kaynak türlerine göre AP etkileri (Şekil 4.38.f),
- Bütün YDD süreçlerine göre EP etkileri (Şekil 4.39.a),
- B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre EP etkileri (Şekil 4.39.b),
- Kaynak türlerine göre EP etkileri (Şekil 4.39.c),
- Bütün YDD süreçlerine göre ODP etkileri (Şekil 4.39.d),
- B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre ODP etkileri (Şekil 4.39.e),
- Kaynak türlerine göre ODP etkileri (Şekil 4.39.f),

ilgili grafiklerde verilmiştir.



Şekil 4.38 Bütün YDD süreçlerine göre GWP etkileri (a), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre GWP etkileri (b), Kaynak türlerine göre GWP etkileri (c), Bütün YDD süreçlerine göre AP etkileri (d), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre AP etkileri (e), Kaynak türlerine göre AP etkileri (f)



Şekil 4.39 Bütün YDD süreçlerine göre EP etkileri (a), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre EP etkileri (b), Kaynak türlerine göre EP etkileri (c), Bütün YDD süreçlerine göre ODP etkileri (d), B6 ve B7 süreçleri haricinde YDD süreçlerine göre ODP etkileri (e), Kaynak türlerine göre ODP etkileri (f)

4.3 Karşılaştırmalı Analizin Bulguları ve Tartışma

One Click LCA aracı ile yapılan YDD sonuçlarına göre, seçilen yapı sistemlerinin YDD sonuçları kendi içlerinde değerlendirilmiş olup bu bölümde seçilen yapı sistemlerinin tamamı çevresel etkiler altında gruplandırılmış ve GWP, AP, EP, ODP sonuçları karşılaştırılmıştır.

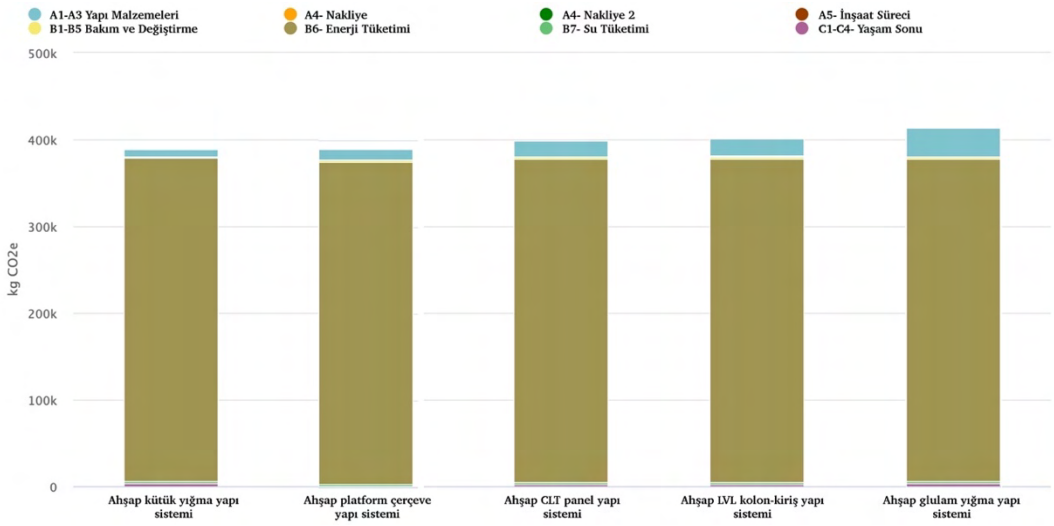
Karşılaştırmalar;

- Bütün yaşam döngüsü süreçlerine,
- Seçilen yapı sistemlerinde benzer verilerin girildiği süreçlerin (A5, B6, B7) haricinde kalan süreçlerine (A1-A3, A4, B1-B5, C1-C4),
- Yapıların sistem olarak birbirilerinden farklılaştıkları dış duvar, iç duvar ve döşeme, çatı sistemlerine

göre yapılmıştır. Bu karşılaştırmalar ilk olarak etki alanlarına göre irdelenmiş, sonrasında bütün etki değerlerinin toplamına göre bir sonuç karşılaştırılması yapılmıştır.

4.3.1 Küresel Isınma Potansiyeline İlişkin Bulgular

GWP sonuçları irdelendiğinde, ele alınan bütün YDD süreçlerine göre (Şekil 4.40), bütün yapı sistemleri yaklaşık olarak 400 000 kg CO_2 değerindedirler. Yapılarda en çok etki eden süreç enerji tüketimi (B6) olarak görülmektedir.



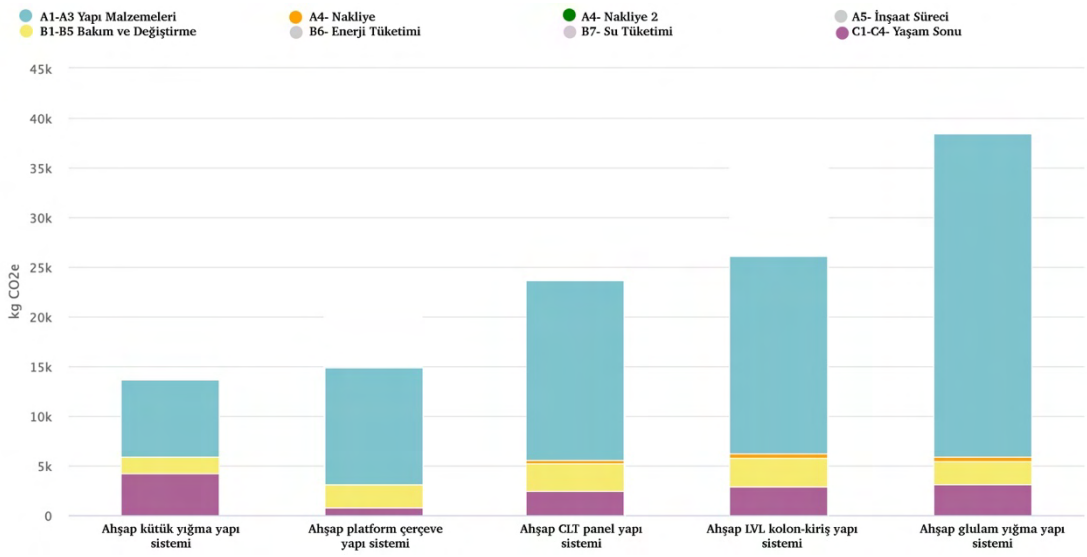
Şekil 4.40 Bütün YDD süreçlerine göre sistemlerin GWP karşılaştırması

Azdan çoğa doğru GWP etkisine göre sistemler sıralandığında, ahşap kütük yığma yapı sistemi ilk sırada yer almaktadır. Ardından platform çerçeve yapı sistemi, CLT panel yapı sistemi, LVL kolon-kiriş yapı sistemi, son olarak da GLT kütük yığma yapı sistemi yer almaktadır. Bu sıralamanın ilk ve son değerleri arasında 25 000 kg CO_2 fark bulunmaktadır.

Seçilen yapı sistemlerinde benzer verilerin girildiği süreçlerin (A5, B6, B7) haricinde kalan süreçlere göre (A1-A3, A4, B1-B5, C1-C4), değerlendirildiğinde, sistemlerin etki değerlerinde farklılıklar görülmektedir (Şekil 4.41). Sistemlerin etki değerleri sıralaması önceki grafiğe benzer şekildedir.

Bu karşılaştırmada en çok farklılık yapı malzemeleri sürecinde görülmektedir. Yapı malzemelerinin etkisine bakıldığından ahşap yığma kütük yapı sistemi en az etki değerine sahipken GLT kütük yığma yapı sistemi en çok etki değerine sahiptir. Bir diğer öne çıkan farklılık ise yapı sistemlerinin yaşam sonu sürecinde (C1-C4) öne çıkmaktadır. Ahşap kütük yığma yapı yaşam sonu sürecinde 4206 kg CO2 etki değerine sahiptir. Ahşap platform yapı 750 kg CO_2 etki değerine sahiptir. İki yapının yaşam sonu sürecinde %560,8 oranında bir etki farkı bulunmaktadır.

CLT panel, LVL kolon-kiriş ve GLT yığma yapı sistemlerinin taşınma uzaklıkları diğer sistemlerden oldukça fazladır, fakat etki değerlerine bakıldığında büyük oranda bir fark görülmemektedir.



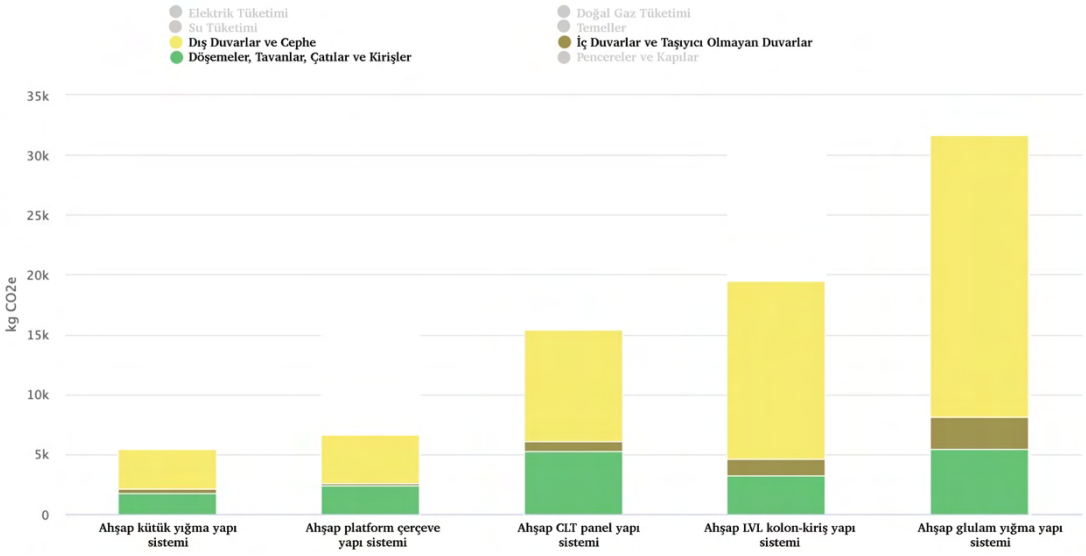
Şekil 4.41 Seçilen YDD süreçlerine göre sistemlerin GWP karşılaştırması

Yapıların sistem olarak birbirilerinden farklılaştıkları dış duvar, iç duvar ve döşeme, çatı sistemlerine göre karşılaştırılması (Şekil 4.42) değerlendirildiğinde;

- Dış duvarların üretiminde oluşan etki de en düşük değer olan 3 331 kg CO_2 ahşap kütük yığma sistemine sahip iken, en yüksek değer olan 23 594 kg CO_2 ahşap GLT kütük yığma yapı sistemine sahiptir. Aralarında %708,31 oranında bir etki farkı bulunduğu,
- İç duvarların üretiminde oluşan etki de en düşük değer olan 155 kg CO_2 platform çerçeve yapı sistemine sahip iken, en yüksek değer olan 2662 kg CO_2 tekrar ahşap GLT kütük yığma yapı sistemine sahiptir. Aralarında %1717,4 oranında bir etki farkı bulunduğu,
- Döşeme ve çatı üretiminde oluşan etki de en düşük değer olan 1 768 kg CO_2 ahşap kütük yığma yapı sistemine sahip iken, en yüksek değer olan 5302 kg CO_2 ahşap CLT panel yapı sistemine sahiptir. Aralarında %299,88 oranında bir etki farkı bulunduğu

görülmektedir.

Yapıların genel olarak dış duvar, iç duvar ve döşeme, çatı üretimi karşılaştırmalarına bakıldığında dış duvarların etki değerleri bütün sistemlerde yüksek değerlerde çıkarken, iç duvarların etki değerleri bütün sistemlerde düşük çıkmaktadır.

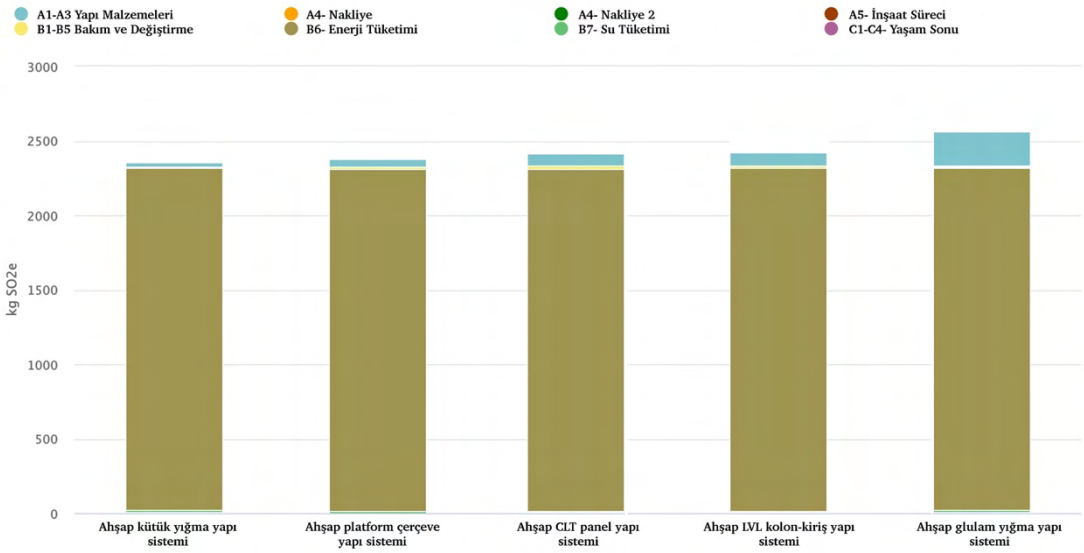


Şekil 4.42 Seçilen yapı elemanlarına göre sistemlerin GWP karşılaştırması

GWP'lerine göre karşılaştırıldığında, yapıların hepsinde çevresel etkisi en fazla olan süreç enerji tüketimidir. Üretim süreçlerinde çevresel etkisi en fazladan en az doğru şekilde sistemler sıralandığında, GLT kütük yığma, LVL kolon-kiriş, CLT panel, ahşap platform çerçeve, ahşap kütük yığma şeklindedir.

4.3.2 Asidifikasyon Potansiyeline İlişkin Bulgular

AP sonuçları irdelendiğinde, ele alınan bütün YDD süreçlerine göre (Şekil 4.43), bütün yapı sistemleri yaklaşık olarak 25 000 kg SO_2 değerindedirler. Yapılarda en çok etki eden süreç enerji tüketimi (B6) olarak görülmektedir.



Şekil 4.43 Bütün YDD süreçlerine göre sistemlerin AP karşılaştırması

Azdan çoğa doğru AP etkisine göre sistemler sıralandığında, ahşap kütük yığma yapı sistemi ilk sırada yer almaktadır. Ardından platform çerçeve yapı sistemi, CLT panel yapı sistemi, LVL kolon-kiriş yapı sistemi, son olarak da GLT kütük yığma yapı sistemi yer almaktadır. Bu sıralamanın ilk ve son değerleri arasında 209 kg SO_2 fark bulunmaktadır.

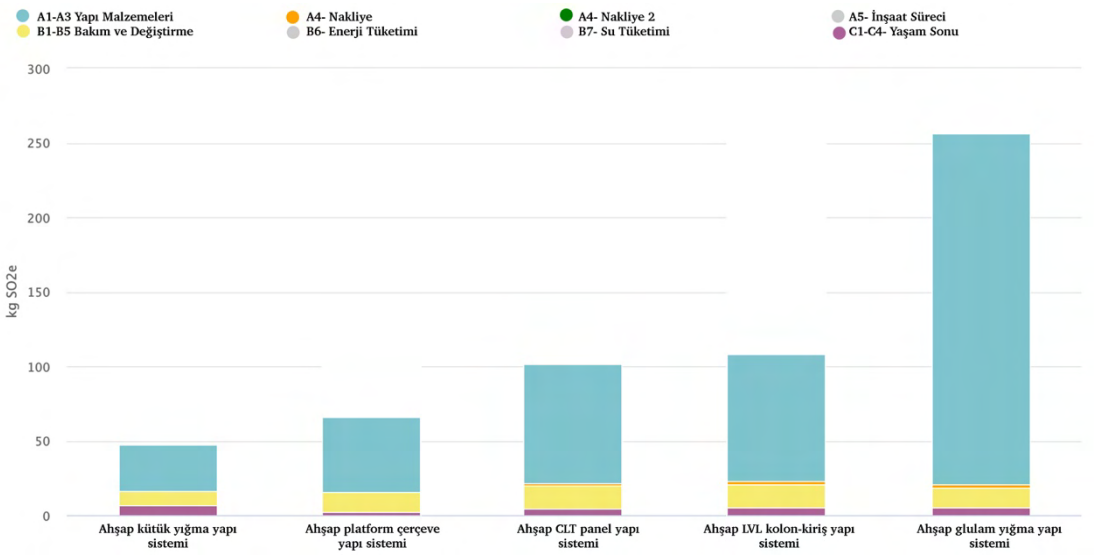
Seçilen yapı sistemlerinde benzer verilerin girildiği süreçlerin (A5, B6, B7) haricinde kalan süreçlere göre (A1-A3, A4, B1-B5, C1-C4), değerlendirildiğinde, sistemlerin etki değerlerinde farklılıklar görülmektedir (Şekil 4.44). Sistemlerin etki değerleri sıralaması önceki grafiğe benzer şekildedir.

Bu karşılaştırmada da GWP karşılaştırmasına benzer şekilde en çok farklılık yapı malzemeleri sürecinde görülmektedir. Yapı malzemelerinin etkisine bakıldığından

ahşap yığma kütük yapı sistemi en az etki değerine sahipken GLT kütük yığma yapı sistemi en çok etki değerine sahiptir.

Diğer öne çıkan farklılık ise yapı sistemlerinin yaşam sonu sürecinde (C1-C4) öne çıkmaktadır. Ahşap kütük yığma yapı yaşam sonu sürecinde 6,72 kg SO_2 etki değerine sahiptir. Ahşap platform yapı 2,31 kg SO_2 etki değerine sahiptir. İki yapının yaşam sonu sürecinde %290,9 oranında bir etki farkı bulunmaktadır.

GWP karşılaştırmasına benzer bir şekilde, CLT panel, LVL kolon-kiriş ve GLT yığma yapı sistemlerinin taşınma uzaklıkları diğer sistemlerden oldukça fazladır, fakat etki değerlerine bakıldığında büyük oranda bir fark görülmemektedir.



Şekil 4.44 Seçilen YDD süreçlerine göre sistemlerin AP karşılaştırması

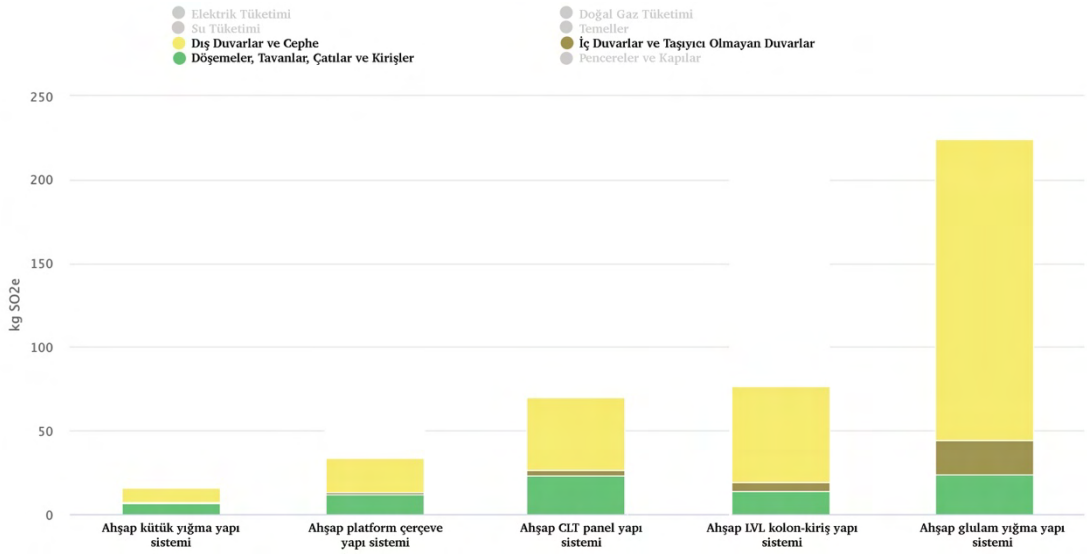
Yapıların sistem olarak birbirilerinden farklılaştıkları dış duvar, iç duvar, döşeme ve çatı sistemlerine göre karşılaştırılması (Şekil 4.45) değerlendirildiğinde;

- Dış duvarların üretiminde oluşan etkide en düşük değer olan 8,45 kg SO_2 ahşap kütük yığma sistemine sahip iken, en yüksek değer olan 180,61 kg SO_2 ahşap GLT kütük yığma yapı sistemine sahiptir. Aralarında %2137,39 oranında bir etki farkı bulunduğu,
- İç duvarların üretiminde oluşan etkide en düşük değer olan 0,95 kg SO_2 ahşap kütük yığma yapı sistemine sahip iken, en yüksek değer olan 20,38 kg SO_2 tekrar ahşap GLT kütük yığma yapı sistemine sahiptir. Aralarında %2145,46 oranında bir etki farkı bulunduğu,

- Döşeme ve çatı üretiminde oluşan etkide en düşük değer olan 6,55 kg SO_2 ahşap kütük yığma yapı sistemine sahip iken, en yüksek değer olan 23,50 kg SO_2 tekrar ahşap GLT kütük yığma yapı sistemine sahiptir. Aralarında %358,77 oranında bir etki farkı bulunduğu

görülmektedir.

Yapıların genel olarak dış duvar, iç duvar, döşeme ve çatı üretimi karşılaştırmalarına bakıldığında, GWP karşılaştırmasına benzer şekilde dış duvarların etki değerleri bütün sistemlerde yüksek değerlerde çıkarken, iç duvarların etki değerleri bütün sistemlerde düşük çıkmaktadır.



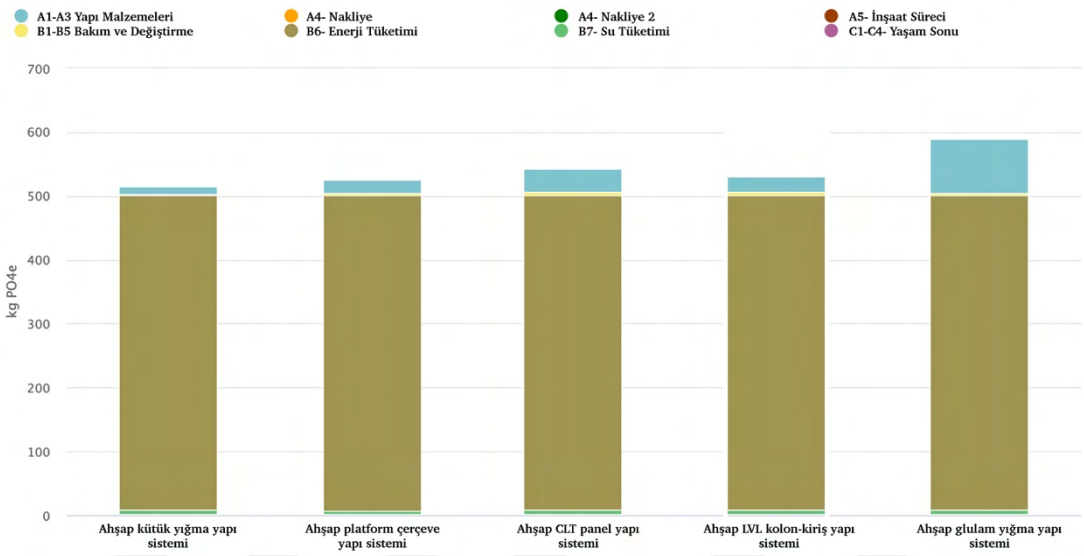
Şekil 4.45 Seçilen yapı elemanlarına göre sistemlerin AP karşılaştırması

AP'lerine göre karşılaştırıldığında, yapıların hepsinde çevresel etkisi en fazla olan süreç enerji tüketimidir. Üretim süreçlerinde çevresel etkisi en fazladan en aza doğru şekilde sistemler sıralandığında, GLT kütük yığma, LVL kolon-kiriş, CLT panel, ahşap platform çerçeve, ahşap kütük yığma şeklindedir.

4.3.3 Ötrofikasyon Potansiyeline İlişkin Bulgular

EP sonuçları irdelendiğinde, ele alınan bütün YDD süreçlerine göre (Şekil 4.46), bütün yapı sistemleri yaklaşık olarak 500-600 kg PO_4 değerindedirler. Yapılarda en çok etki eden süreç diğer karşılaştırmalarda da olduğu gibi enerji tüketimi (B6) olarak görülmektedir.

Azdan çoğa doğru EP etkisine göre sistemler sıralandığında, ahşap kütük yığma yapı sistemi ilk sırada yer almaktadır. Ardından platform çerçeve yapı sistemi, LVL kolon-kiriş yapı sistemi, CLT panel yapı sistemi, son olarak da GLT kütük yığma yapı sistemi yer almaktadır. Bu sıralamanın ilk ve son değerleri arasında 73 kg PO_4 fark bulunmaktadır.



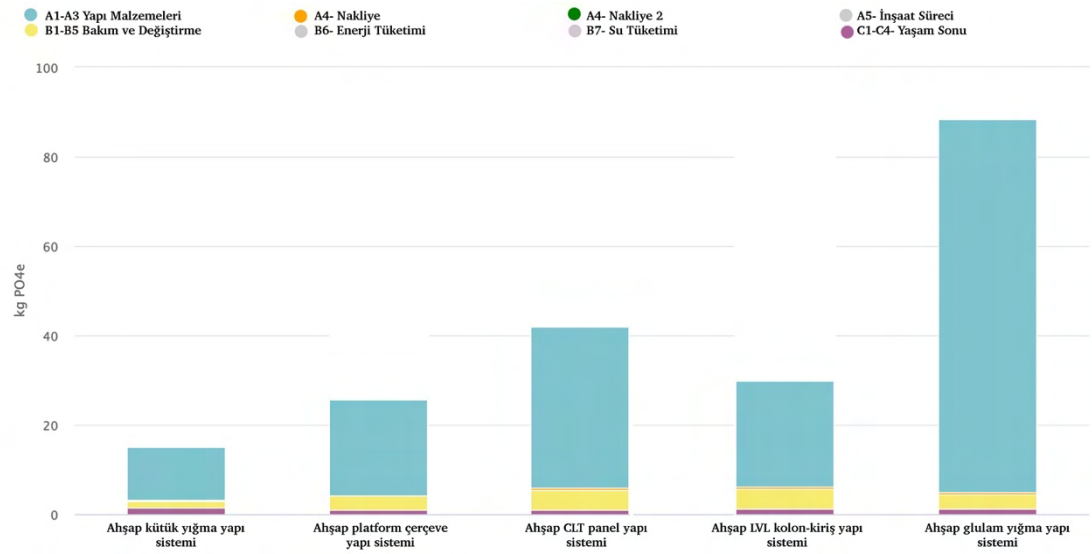
Şekil 4.46 Bütün YDD süreçlerine göre sistemlerin EP karşılaştırması

Seçilen yapı sistemlerinde benzer verilerin girildiği süreçlerin (A5, B6, B7) haricinde kalan süreçlere göre (A1-A3, A4, B1-B5, C1-C4), değerlendirildiğinde, sistemlerin etki değerlerinde farklılıklar görülmektedir (Şekil 4.47). Sistemlerin etki değerleri sıralaması önceki grafiğe benzer şekildedir.

Bu karşılaştırmada da diğer karşılaştırmalara benzer şekilde en çok farklılık yapı malzemeleri sürecinde görülmektedir. Yapı malzemelerinin etkisine bakıldığından ahşap yığma kütük yapı sistemi en az etki değerine sahipken GLT kütük yığma yapı sistemi en çok etki değerine sahiptir. Diğer karşılaştırmalardan farklı bir şekilde LVL kolon-kiriş yapı sistemi, CLT panel yapı sisteminden daha az bir etki değerine sahiptir.

Diğer karşılaştırmalara benzer bir şekilde, CLT panel, LVL kolon-kiriş ve GLT yığma yapı sistemlerinin taşınma uzaklıkları diğer sistemlerden oldukça fazladır, fakat etki değerlerine bakıldığında büyük oranda bir fark görülmemektedir.

Diğer etki kategorilerinden farklı şekilde yapının yaşam sonu sürecinde (C1-C4) yaklaşık olarak benzer değerler görülmektedir.



Şekil 4.47 Seçilen YDD süreçlerine göre sistemlerin EP karşılaştırması

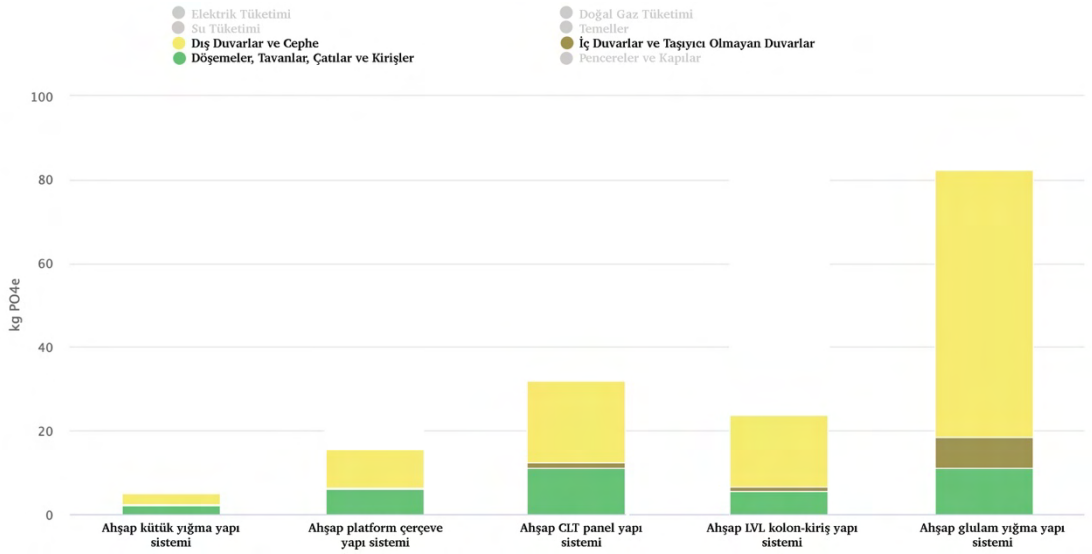
Yapıların sistem olarak birbirilerinden farklılaştıkları dış duvar, iç duvar, döşeme ve çatı sistemlerine göre karşılaştırılması (Şekil 4.48) değerlendirildiğinde;

- Dış duvarların üretiminde oluşan etki de en düşük değer olan 2,63 kg PO_4 ahşap kütük yığma sistemine sahip iken, en yüksek değer olan 63,94 kg PO_4 ahşap GLT kütük yığma yapı sistemine sahiptir. Aralarında %2437,17 oranında bir etki farkı bulunduğu,
- İç duvarların üretiminde oluşan etki de en düşük değer olan 0,21 kg PO_4 ahşap platform çerçeve yapı sistemine sahip iken, en yüksek değer olan 7,21 kg PO_4 tekrar ahşap GLT kütük yığma yapı sistemine sahiptir. Aralarında %3433,33 oranında bir etki farkı bulunduğu,
- Döşeme ve çatı üretiminde oluşan etki de en düşük değer olan 2,04 kg PO_4 ahşap kütük yığma yapı sistemine sahip iken, en yüksek değer olan 11,21 kg PO_4 tekrar ahşap GLT kütük yığma yapı sistemine sahiptir. Aralarında %549,50 oranında bir etki farkı bulunduğu

görülmektedir.

Yapıların genel olarak dış duvar, iç duvar ve döşeme, çatı üretimi karşılaştırmalarına bakıldığında, diğer karşılaştırmalara benzer şekilde dış

duvarların etki değerleri bütün sistemlerde yüksek değerlerde çıkarken, iç duvarların etki değerleri bütün sistemlerde düşük çıkmaktadır.



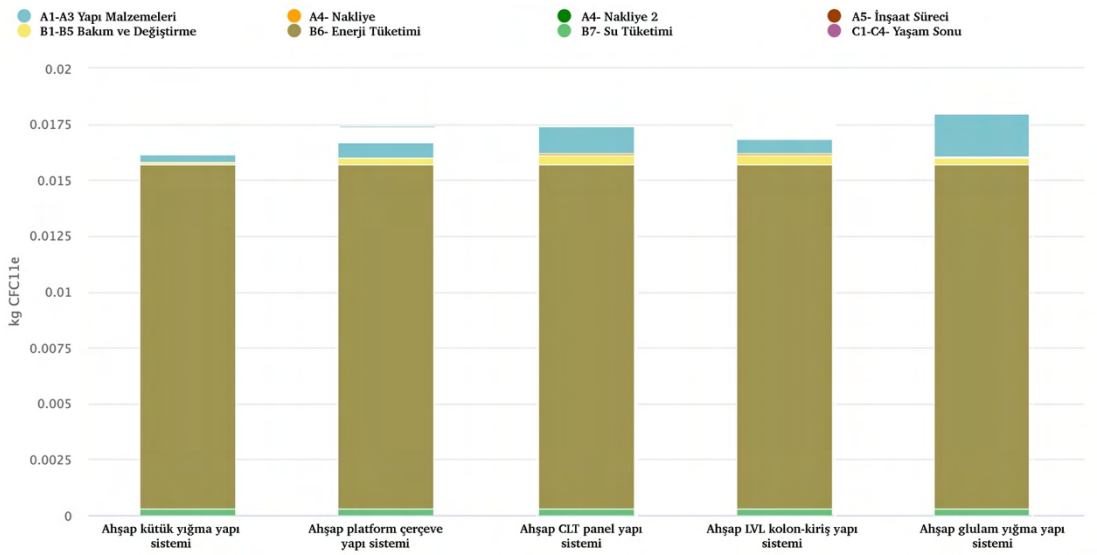
Şekil 4.48 Seçilen yapı elemanlarına göre sistemlerin EP karşılaştırması

EP'lerine göre karşılaştırıldığında, yapıların hepsinde çevresel etkisi en fazla olan süreç diğer karşılaştırmalarda da olduğu gibi enerji tüketimidir. Üretim süreçlerinde çevresel etkisi en fazladan en az doğru şekilde sistemler sıralandığında, GLT kütük yığma, CLT panel, LVL kolon-kiriş, ahşap platform çerçeve, ahşap kütük yığma şeklindedir.

4.3.4 Ozon Tabakası İncelme Potansiyeline İlişkin Bulgular

ODP sonuçları irdelendiğinde, ele alınan bütün YDD süreçlerine göre (Şekil 4.49), bütün yapı sistemleri yaklaşık olarak 0,015-0,0175 kg CFC_{11} değerindedir. Yapılarda en çok etki eden süreç diğer karşılaştırmalarda da olduğu gibi enerji tüketimi (B6) olarak görülmektedir.

Azdan çoğa doğru ODP etkisine göre sistemler sıralandığında, ahşap kütük yığma yapı sistemi ilk sırada yer almaktadır. Ardından platform çerçeve yapı sistemi, LVL kolon-kiriş yapı sistemi, CLT panel yapı sistemi, son olarak da GLT kütük yığma yapı sistemi yer almaktadır. Bu sıralamanın ilk ve son değerleri arasında %10,1 oranında bir fark bulunmaktadır.



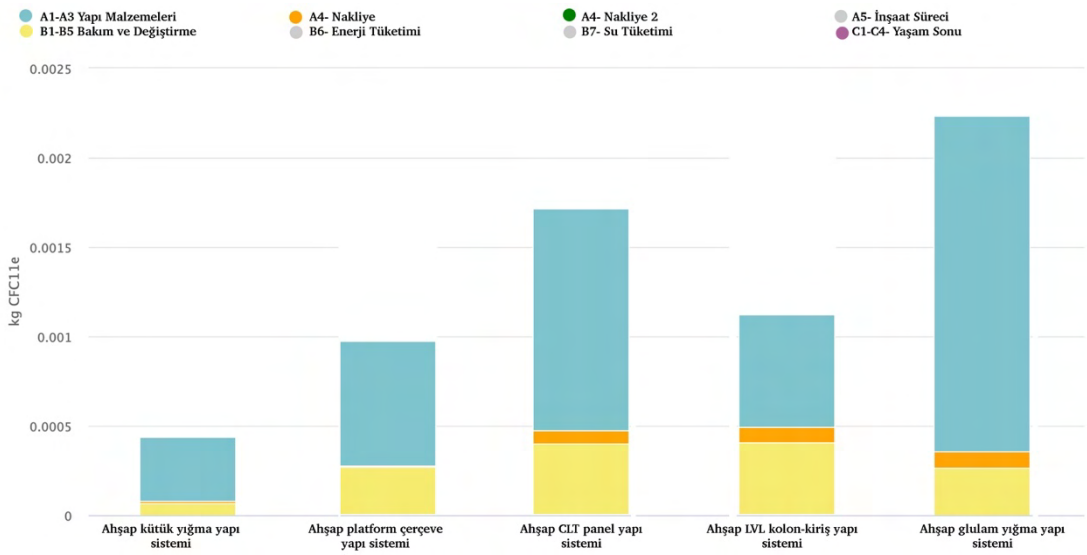
Şekil 4.49 Bütün YDD süreçlerine göre sistemlerin ODP karşılaştırması

Seçilen yapı sistemlerinde benzer verilerin girildiği süreçlerin (A5, B6, B7) haricinde kalan süreçlere göre (A1-A3, A4, B1-B5, C1-C4), değerlendirildiğinde, sistemlerin etki değerlerinde farklılıklar görülmektedir (Şekil 4.50). Sistemlerin etki değerleri sıralaması önceki grafiğe benzer şekildedir.

Bu karşılaştırmada da diğer karşılaştırmalara benzer şekilde en çok farklılık yapı malzemeleri sürecinde görülmektedir. Yapı malzemelerinin etkisine bakıldığında diğer karşılaştırmalara benzer şekilde ahşap yığma kütük yapı sistemi en az etki değerine sahipken GLT kütük yığma yapı sistemi en çok etki değerine sahiptir. Diğer karşılaştırmalardan farklı bir durum olarak sıralamada LVL kolon-kiriş yapı sistemi, platform çerçeve yapı sistemi ve CLT panel yapı sisteminden daha az etki değerine sahiptir.

Diğer karşılaştırmalara farklı bir şekilde, CLT panel, LVL kolon-kiriş ve GLT yığma yapı sistemlerinin taşınma uzaklıkları diğer sistemlerden oldukça fazladır, etki değerlerine bakıldığında diğer sistemlere göre daha fazla bir etki değerine sahiptir.

EP karşılaştırmasına benzer şekilde yapının yaşam sonu sürecinde (C1-C4) yaklaşık olarak benzer değerler görülmektedir.



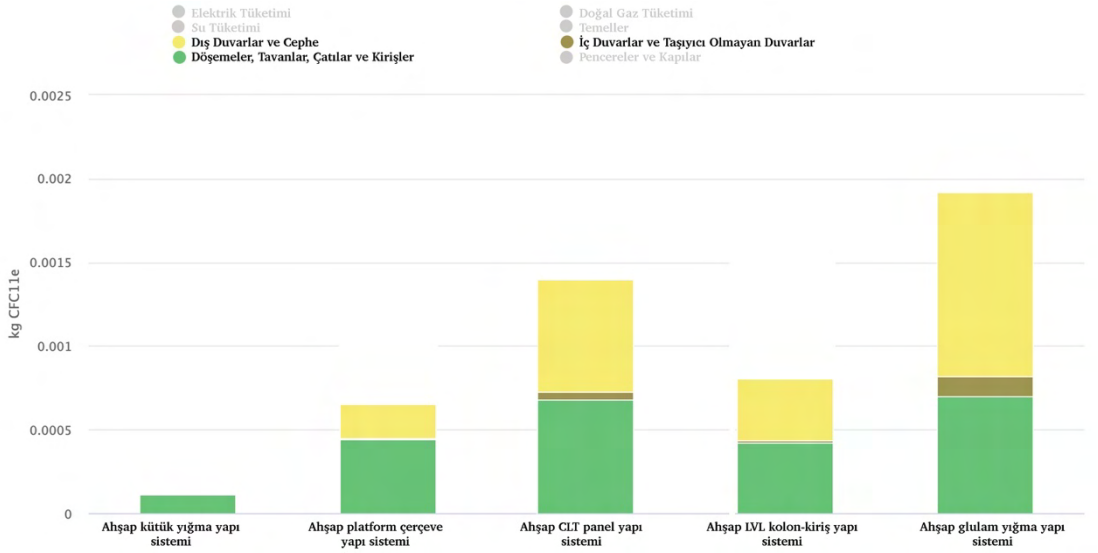
Şekil 4.50 Seçilen YDD süreçlerine göre sistemlerin ODP karşılaştırması

Yapıların sistem olarak birbirilerinden farklılaştıkları dış duvar, iç duvar ve döşeme, çatı sistemlerine göre karşılaştırılması (Şekil 4.51) değerlendirildiğinde;

- Dış duvarların üretiminde oluşan etki de en düşük değer ahşap kütük yığma sistemine sahip iken, en yüksek değer olan ahşap GLT kütük yığma yapı sistemine sahiptir. Aralarında %698,81 oranında bir etki farkı bulunduğu,
- İç duvarların üretiminde oluşan etki de en düşük değer tekrar ahşap kütük yığma yapı sistemine sahip iken, en yüksek değer tekrar ahşap GLT kütük yığma yapı sistemine sahiptir. Aralarında %684,53 oranında bir etki farkı bulunduğu,
- Döşeme ve çatı üretiminde oluşan etki de en düşük değer ahşap kütük yığma yapı sistemine sahip iken, en yüksek tekrar ahşap GLT kütük yığma yapı sistemine sahiptir. Aralarında %611 oranında bir etki farkı bulunduğu

görülmektedir.

Yapıların genel olarak dış duvar, iç duvar, döşeme ve çatı üretimi karşılaştırmalarına bakıldığında, diğer karşılaştırmalara benzer şekilde bir yorum yapılamamaktadır. Kullanılan malzemeler göre değişken sonuçlar görülmektedir.



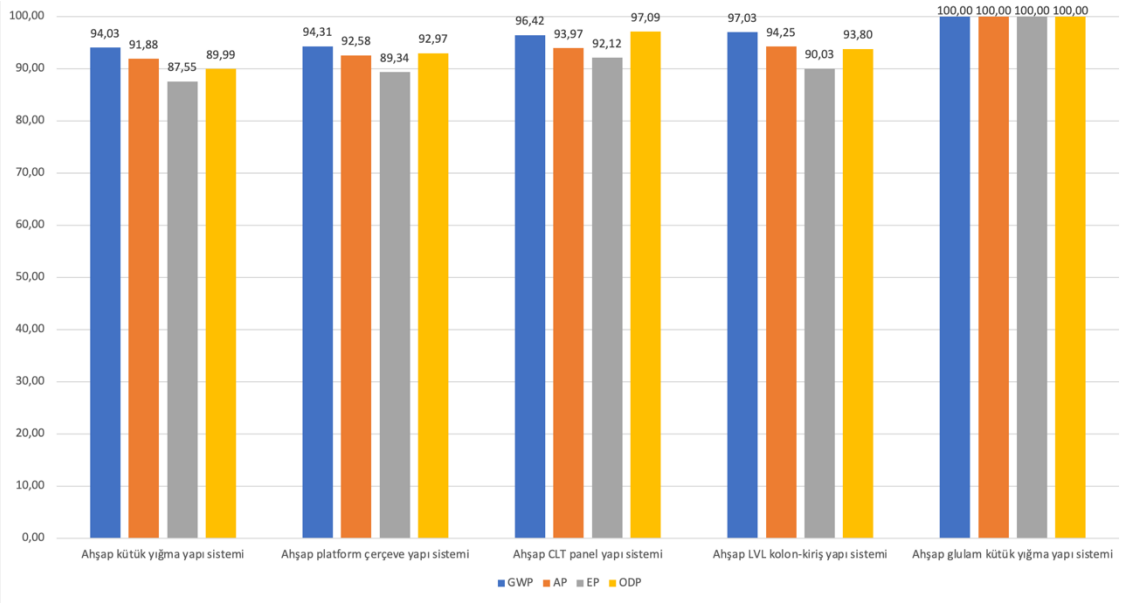
Şekil 4.51 Seçilen yapı elemanlarına göre sistemlerin ODP karşılaştırması

ODP'lerine göre karşılaştırıldığında, yapıların hepsinde çevresel etkisi en fazla olan süreç diğer karşılaştırmalarda da olduğu gibi enerji tüketimidir. Üretim süreçlerinde çevresel etkisi en fazladan en az doğru şekilde sistemler sıralandığında, GLT kütük yığma, CLT panel, LVL kolon-kiriş, ahşap platform çerçeve, ahşap kütük yığma şeklindedir.

4.3.5 Etki Kategorilerin İlişkin Bulguların Genel Değerlendirmesi

Bu çalışmada, Bursa'da tasarlanan iki katlı konut yapısının yapı sisteminde kullanılması önerilen beş farklı ahşap yapı sisteminin (kütük yığma, platform çerçeve, CLT panel, LVL kolon-kiriş, GLT kütük yığma) üretim, kullanım ve yaşam sonu çevresel etkileri değerlendirilmiştir. Söz konusu yapı sistemleri YDD araçlarından One Click LCA kullanılarak GWP, AP, EP, ODP etki kategorilerine göre One Click LCA'dan elde edilen veriler doğrultusunda oluşturulan yüzdelik oran üzerinden karşılaştırmaları Şekil 4.52'de belirtilmektedir.

Karşılaştırılan sistemler içerisinde ahşap GLT kütük yığma yapı sistemi bütün etki kategorilerinde en yüksek değerlere, ahşap kütük yığma yapı sistemi ise bütün etki kategorilerinde en düşük değerlere sahiptir.



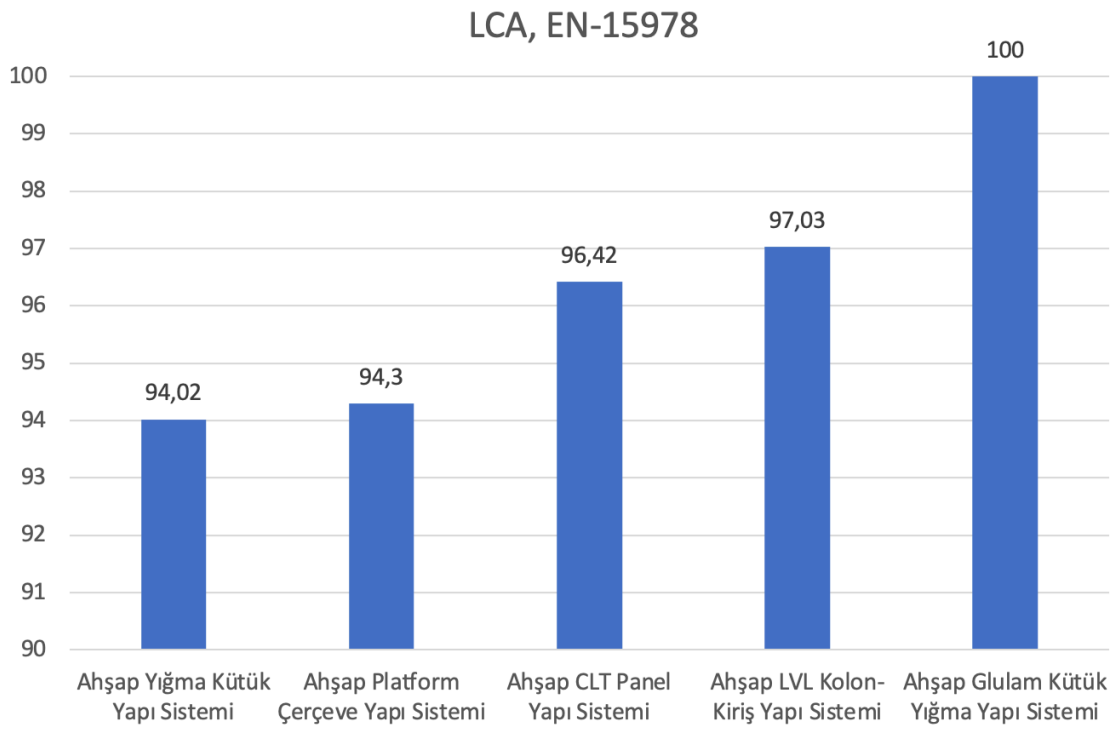
Şekil 4.52 Sistemlerin etki kategorilerine göre karşılaştırılması

Karşılaştırılan sistemlerin LCA, EN-15978'e göre kg CO_2 değerleri Tablo 4.23'te belirtilmiştir.

Tablo 4. 23 Karşılaştırılan sistemlerin LCA EN-15978 değerleri

	Ahşap Yığma Kütük Yapı Sistemi	Ahşap Platform Çerçeve Yapı Sistemi	Ahşap CLT Panel Yapı Sistemi	Ahşap LVL Kolon-Kiriş Yapı Sistemi	Ahşap GLT Kütük Yığma Yapı Sistemi
LCA, EN-15978 (kg CO_2)	388 654	389 809	398 565	401 075	413 343

Karşılaştırılan sistemlerin LCA, One Clicak LCA'dan elde edilen veriler doğrultusunda oluşturulan EN-15978'e göre kg CO_2 değerleri yüzdelik oran ile karşılaştırılması Şekil 4.53'te verilmiştir. Sistemlerin toplam etki kategorilerine göre karşılaştırıldığında, çevresel etkilerine azdan çoğa göre sıralaması; ahşap yığma kütük yapı sistemi, ahşap platform çerçeve yapı sistemi, ahşap CLT panel yapı sistemi, ahşap LVL kolon-kiriş yapı sistemi, ahşap GLT kütük yığma yapı sistemi şeklinde olmaktadır.



Şekil 4.53 Sistemlerin LCA, EN-15978 oranları

5
SONUÇ VE ÖNERİLER

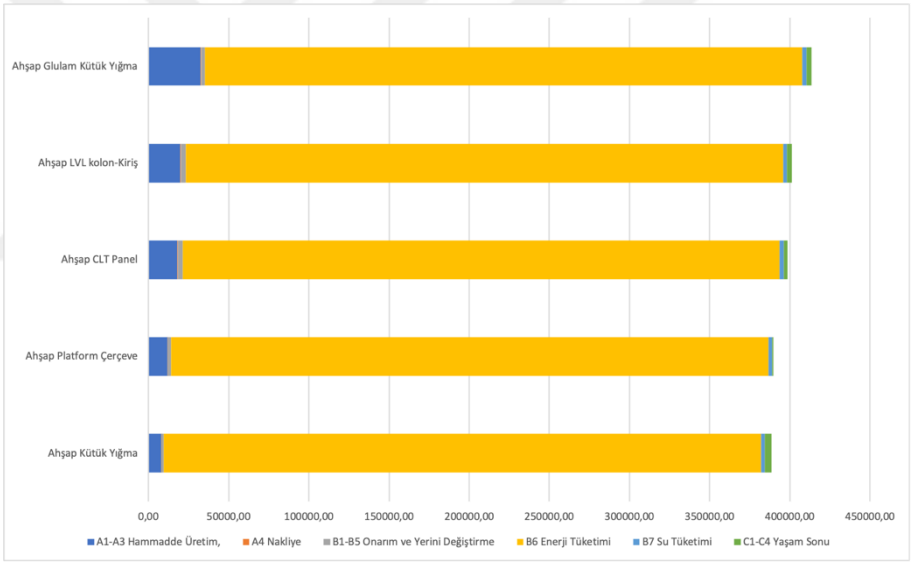
21. yy. ile birlikte tüm toplumların ve canlılığın geleceği için küresel ısınma, kaynakların tüketilmesi, atık oluşumu gibi çevresel konularda önlemlerin alınması için çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmalarda yapıların da önemli oranda çevresel etkilere neden olduğu görülmektedir. Bunun için, teknolojik gelişmelerle çevreye daha duyarlı yapı malzemesi ve yapı sistemlerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

Ahşap, eski çağlardan beri kullanılan doğal bir yapı malzemesidir. Geçmişten bu yana yapılarda kullanıcı beklentilerinin değişmesiyle birlikte, yapısal olarak çok katlı yapılaşmaya olanak vermemesinden, yangına dayanımı düşük olmasından, bakım gerekmesinden dolayı yapılarda taşıyıcı sistem malzemesi olarak kullanımı azalmıştır. Ancak çağdaş üretim sistemleriyle üretilen ahşap yapı malzemelerinin yapısal olarak geliştirilmiş olması yapılarda çevreye duyarlı yapı malzemesi ve yapı sistemi kullanımı açısından önemlidir. Çağdaş üretim teknolojisi ürünü ahşap ürünlerinin kullanımının şantiyedeki yapım süresini kısalması, şantiyede daha az kişinin çalışmasına gerek duyulması, bakım gerekliliğinin düşüklüğü vb. avantajlar sağlamasının yanı sıra çevresel etkilerinin daha az olması nedeniyle bu malzemelerin yapıda kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, geleneksel yöntemler ile üretilen sistemler ve çağdaş üretim teknolojileri ile üretilen sistemlerin çevreye etkilerinin karşılaştırılması ele alınmıştır. Bu karşılaştırmada geleneksel üretimlerde sıklıkla kullanılan ahşap kütük yığma yapı sistemi ve ahşap platform çerçeve yapı sistemi, çağdaş üretim teknolojileri ile üretilen CLT panel yapı sistemi, LVL kolon-kiriş yapı sistemi, GLT kütük yığma sistemleri seçilmiştir. Değerlendirmede Bursa ili, Mudanya ilçesinde tasarlanan bir konut yapısında üretim, kullanım ve yaşam sonu süreçlerindeki çevresel etkilerinin One Click LCA yazılım aracı ile YDD değerlendirilmesi yapılmış ve sonuç verileri karşılaştırılarak çevresel açıdan en uygun sisteme karar verilmiştir.

Yapıda kullanılan yapı malzemelerinin edinimi, yapının kullanım ömrü boyunca tüketilen enerji ve yapının yaşam sonunda oluşturduğu çevresel etkiler YDD araçlarından One Click LCA ile hesaplanmıştır. YDD aracı ile hesaplanan GWP, AP, EP, ODP değerlendirme sonuçlarına göre;

- Tüm yapı sistemlerinin YDD'de en fazla çevresel etkiye neden olan süreç %90,1-95,8 oranları arasında olan enerji tüketimi (B6) sürecidir,
- En az çevresel etkiye neden olan süreç %0,01-0,1 oranları arasında olan nakliye (A4) sürecidir (Şekil 5.1). Nakliye sürecinin çevresel etkisinin düşük olmasında, yapı malzemelerinin yerel olarak seçilmesinden kaynaklanması söz konusu olabilmektedir. İthal ürünlerin kullanılması durumunda nakliye süreçlerinin çevresel etkisinin artabilmesi öngörülmektedir,



Şekil 5.1 Yapı sistemlerinin YDD süreçlerindeki etki oranları

- Ürün aşaması sürecinde (A1-A3), etki kategorilerine bakıldığında en yüksek etkinin küresel ısınma potansiyeli kategorisinde oluştuğu görülmektedir. Yapı sistemleri açısından incelendiğinde, en yüksek çevresel etkiden en düşük olana göre sıralandığında, GLT kütük yığma, LVL kolon-kiriş, CLT panel, platform çerçeve ve kütük yığma şeklinde olmaktadır. Ürün aşamasında geleneksel yöntemler ile üretilen sistemlerin daha az çevresel etkiye sahip oldukları görülmektedir. Çağdaş sistemlerin daha fazla çevresel etkiye sahip olmalarındaki sebep, fabrikasyon süreçlerinde

bazı yapıştırıcı kullanımlarından ve üretim aşamalarının birden fazla olmasından kaynaklı olabilir,

- Yaşam sonu sürecinde (C1-C4), etki kategorilerine bakıldığında en yüksek etkinin küresel ısınma potansiyeli kategorisinde oluştuğu görülmektedir. Yapı sistemleri açısından incelendiğinde, en yüksek çevresel etkiden en düşük olana göre sıralandığında, kütük yığma, GLT kütük yığma, LVL kolon-kiriş ve platform çerçeve şeklinde olmaktadır.

Elde edilen sonuçlara göre; tasarlanan konut yapısı çevresel etkiler açısından değerlendirildiğinde en uygun sistem; üretim süreci için ahşap kütük yığma yapı sistemi, nakliye süreci için ahşap platform çerçeve yapı sistemi, yaşam sonu süreci için ahşap platform çerçeve yapı sistemidir. Farklı süreçler için farklı seçeneklerin en etkin sonucu vermesi, bir YDD çalışmasında tek bir sürecin değil tüm süreçlerin birlikte ele alınmasının daha doğru bir yaklaşım olacağını göstermektedir. Yapı yaşam döngüsünün üretim, kullanım, onarım ve yerini değiştirme, yaşam sonu aşamalarının tümünü içeren bir YDD çalışmasıyla çevresel açıdan etkin bir ahşap yapı sistemi elde edilebilir.

YDD araçlarından seçilen One Click LCA, yapının tasarım sürecinde kullanımıyla birlikte öngörülen sistem ve malzemelerin nicel değerlerle çevresel etkileri görülmektedir. One Click LCA YDD aracı, kullanıma ilişkin irdelendiğinde çıkan sonuçlar aşağıda sıralanmıştır;

- Seçilen malzemelerin üretim süreçlerine (A1-A3) YDD aracı yapı envanterindeki bilgilerden sağlamaktadır. Bu durum, malzeme seçimi ve karşılaştırılması konusunda büyük bir kolaylık sağlamaktadır,
- Nakliye süreçlerine dair çevresel etkilerin oluşturulmasında sadece üretim noktasıyla yapı arasındaki mesafe yeterlidir, araç kendisi gerekli bilgileri oluşturmaktadır,
- Yapıların inşa süreçlerine dair olan girdilerin kullanıcı tarafından oluşturulması gerekmektedir, sistemin bu konuda bir önerisi ya da bilgi sağlayışı bulunmamaktadır,
- YDD süreçlerinden enerji ve su tüketim süreçlerine (B6-B7) dair veriler kullanıcı tarafından girilmektedir,

- YDD süreçlerinde yapı sökümüne, geri dönüşüm ve yeniden kullanım süreçlerine (C-D) dair çevresel etkiler YDD aracı tarafından oluşturulmaktadır,
- Yapıların duvar, döşeme, çatı gibi yapı kesitlerinde oluşturulan katmanların bir araya gelmesiyle birlikte oluşacak ısı geçirgenlik katsayısı, akustik değeri gibi fiziksel özelliklerini oluşturmamaktadır. Belirtilen fiziksel özelliklerin oluşturulması durumunda, yapının çevresel etkileri ile birlikte yapıya dair fiziksel özelliklerin çıktıları da sağlanmış olabilir ve bu durum karşılaştırmalarda farklı bir boyutta da değerlendirme olanağı sağlayabilmektedir,
- One Click LCA aracında malzeme seçimleri ile birlikte maliyet analizi yapılmamaktadır. Çevresel analiz ile maliyet analizinin birlikte değerlendirilebiliyor olması, önerilen yapı sistemlerinin seçiminde önemli ayrıcalık oluşturabilir,
- Yapı modellemesinde kullanılan araçlar ile daha fazla entegrasyon seçeneği sağlayabilir. Bu çalışmada kullanılan SketchUp modelleme aracı ile entegrasyonu bulunmamaktadır.
- Yapı sistemlerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi amacıyla kullanılan YDD aracının tanıtılması, kullanılması ve sonuçların değerlendirilmesinin yapıldığı bu çalışmada;
- Yapı endüstrisinde yer alan tüm karar vericilere tasarım ve planlama aşamasında yeni bir konut yapısının yapı sistemlerinin enerji tüketiminden ve malzeme seçiminden kaynaklanan çevresel etkilerini tahmin etmek için tasarım seçenekleri geliştirmek ya da karşılaştırma yapmak üzere yardımcı olacağı,
- Çevreye daha duyarlı, sürdürülebilir yapı sistemlerinin tercih edilme kolaylığı sağlayacağı,
- Üretim, nakliye, kullanım ve geri dönüşüm süreçlerinin birlikte ele alındığı YDD süreçlerinde, yapı sistemlerinin çevresel etkilerinin karşılaştırılarak en uygun seçeneğin belirlenmesinde yapının büyüklüğü, taşıyıcı sistem tasarımı önemli rol oynamaktadır. Bu çalışma kapsamında tasarlanan yapı

ve taşıyıcı sistemi doğrultusunda YDD yapılarak örneklenen konuta en uygun çözümün ahşap kütük yığma yapı sistemi olduğu görülmektedir.

KAYNAKÇA

[1] D. Kuban, Mimarlık Kavramları, Yem Yayınevi, İstanbul, 1974.

[2] Ö. Çalışkan, E. Meriç ve M. Yüncüler, "Ahşap ve Ahşap Yapıların Dünü, Bugünü, Yarını", Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, vol. 6, no. 1, pp. 109-118, 2019.

[3] K. Görmez, Çevre Sorunları ve Türkiye, Gazi Kitabevi, Ankara, 2003.

[4] IPCC, "Uluslararası İklim Değişikliği Paneli, Beşinci Değerlendirme Raporu", Birleşmiş Milletler, 2014.

[5] UNEP (United Nations Environment Programme), "Sustainable Buildings & Climate Iniative", 2009. URL: https://www.uncclearn.org/wp-content/uploads/library/unep207.pdf. (Erişim zamanı; Kasım, 4, 2021)

[6] ETKB (T.C. Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı), «Dünyada ve Türkiye'de Enerji Görünümü,» Ankara, 2013.

[7] IEA (International Energy Agency) "Key World Energy Sciences 2008", 2009. URL: http://www.indiaenvironmentportal.org.in/files/key_stats_2008.pdf. (Erişim zamanı; Kasım, 4, 2021)

[8] N. Gül ve M. Güzelçoban, "Çağdaş Ahşap Yapım Sistemlerinin Çok Katlı Yapılarda Kullanımının İncelenmesi: The Tree", Kent Akademisi Dergisi, vol. 12, no. 3, 2019.

[9] K. Sahoo, K. Bergman, S. Rosenbaum, H. Gu ve S. Liang, "Life Cycle Assessment of Forest-Based Products: A Review" Sustainability , vol. 11, no. 4722, 2019. doi:10.3390/su11174722

[10] S. M. Onat ve İ. Özlüsoylu, "Ahşap Yapı Teknolojisindeki Gelişmeler" International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology, 2018.

[11] J. Hart ve F. Pomponi, "More Timber in Construciton: Unanswered Questions and Future Challenges" Sustainability, vol. 12, no. 3473, 2012. doi:10.3390/su12083473

[12] G. T. Taygun, "Çevre Duyarlı Mimarlık" *Mimarlık Dergisi,* vol. 362, 2011.

[13] C. Vezzoli ve E. Manzini, Design for Environmental Sustainability, Springer, London, 2008.

[14] M. Owsianiak, A. Bjorn, A. Laurent, C. Molin ve M. W. Ryberg, "LCA Applications" *Life Cycle Assessments*, Springer, 2018, pp. 31-43.

[15] M. A. Curran, Life Cycle Assessment: Principles and Practice, Natıonal Rısk Management Research Laboratory Office Of Research And Development U.S. Envıronmental Protectıon Agency, Ohio, ABD, 2006.

[16] S. Halliday, "Sustainability Drivers in Sustainable Construction", Elsevier, vol.1, pp.21-25, 2008. https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-6394-6.50006-0

[17] R. Bergman, "Drying and Control of Moisture Content and Dimensional Changes" Wood Handcook, ABD, United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Labrotary, 2010, pp. 13.1-13.20.

[18] R. C. Cole ve P. C. Kernan, "Life-Cycle Energy Use in Office Buildings", Building and Environment, vol. 4, no. 31, pp. 307-317, 1996.

[19] B. Hozatlı ve H. Günerhan, "Muğla ili Koşullarında Betonarme ve Ahşap İskeletli Binalara Ait Yaşam Döngüsü Analizi", Mühendis ve Makina, vol. 56, no. 660, pp. 52-60, 2015.

[20] J. L. Skullestad, B. R. A. ve J. Lohne, "High-Rise Timber Buildings as a Climate Change Mitigation Measure - A Comparative LCA of Structural System Alternatives" *SBE16 Talllinn and Helsinki Conference: Build Green and Renovate Deep, Energy Procedia 96, 2016, pp. 112 – 123.*

[21] K. Allan ve A. R. Philips, "Comparative Cradle to Grave Life Cycle Assessment of Low and Mid-Rise Timber Buildings with Equivalent Structural Steel Alternatives", Sustainability, vol. 13, no. 3401, 2021. https://doi.org/10.3390/su13063401

[22] A. R. Eliassen, S. Faanes ve A. R. Bohne, "Comparative LCA of a Concrete and Steel Apartment Building and a Cross Laminated Timber Apartment Building", IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 323, 2019. doi:10.1088/1755-1315/323/1/012017

[23] J. Mukkavaara, M. Sandberg, K. Sandberg, A. Pousette ve J. Noren, "Sustainability evaluation of timber dwellings in the north of Sweden based on environmental impact and optimization of energy and cost", *1st International Conference on Optimization-Driven Architectural Design (OPTARCH 2019)*, 2019.

[24] J. Svajlenka ve M. Kozlovska, "Perception of User Criteria in the Context of Sustainability of Modern Methods of Construction Based on Wood", *Sustainability,* cilt 10, no. 116, 2018. doi:10.3390/su10020116

[25] G. C. Foliente, “Wood Structures: A Global Forum on the Treatment Conservation, and Repair of Cultural Heritage”, *History of Timber Construction*, ASTM, Londra, 2000.

[26] T. Herzog, J. Natterer, R. Schweitzer, M. Volz ve W. Winter, Timber Construction Manual, Birhauser, Basel, 2004.

[27] P. Morris, Understanding Biodeterioration of Wood in Structures, Canada Corn: Forintek, Kanada, 1998.

[28] S. B. Güler, “Ahşabın Yaşam Döngüsü Çerçevesinde Koruma ve Onarım Metotlarının Analizi”, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2011.

[29] O. Şimşek, Yapı Malzemesi II, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2007.

[30] H. İ. Güngör, Ahşap Yapı Bilgisi, İstanbul Teknik Üniversitesi Teknik Okulu Yayınları, İstanbul, 1969.

[31] M. Eriç, Yapı Malzemeleri, Cilt II, Kazmaz Matbaası, İstanbul, 1978.

[32] F. Canan, “Sürdürülebilir Mimarlıkta Ahşap Yapı Malzemesi Kullanımı” Yapı Dergisi, vol. 262, 2003.

[33] D. Bardavit, “Ahşap Yapıda Taşıyıcılık ve Koruyuculuk Sorunları”, İstanbul Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1992.

[34] A. Batur, “Gelişmiş Ahşap Yapım Sistemleri ve Türkiye Koşulları Yönünden Değerlendirmesi”, Gebze Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Gebze, 2004.

[35] E. Bostancıoğlu, “Ekoloji ve Ahşap - Türkiye'de Ahşap Malzemenin Geleceği”, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, vol. 9, no. 2 , pp. 37-44, 2004.

[36] A. Shabani, H. Hosamo, V. Plevris ve M. Kioumarsi, “A Prelımınary Structural Survey Of Herıtage Tımber Log Houses In Tønsberg, Norway”, 12th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions SAHC 2020, 2021.

[37] Y. Odabaşı, Ahşap ve Çelik Yapı Elemanları, Beta Basım Yayın Dağıtım, İstanbul, 1997.

[38] E. Avlar, “Ahşap Çerçeve Yapıların Strüktürel Tasarımı”, Deprem Bölgelerinde Yapı Üretimi Sempozyumu, pp. 113-130, 2002.

[39] B. Kartal, “Yapılarda Ahşap Kullanımı Ve Çağdaş Yapı Teknolojisinde Ahşap Kullanımı”, Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2015.

[40] Z. Uzun Aktaş, “Anadolu Coğrafyasında Ahşap Yapım Teknikleri”, Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü Yayımlanmamış Ders Notları, İstanbul, 2019.

[41] A. Saydamer, “Türkiye'deki Geleneksel Ahşap Yapılarda Kullanılan Taşıyıcı Sistemlerin İrdelenmesi ve Bursa Örneği”, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Bursa, 2014.

[42] A. Doğangün, Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2002. ISBN: 975-511-310-X

[43] Venus4hire, URL: https://venues4hire.org/venue/details/12247/southampton-register-office. (Erişim Tarihi: Nisan, 3, 2022)

[44] J. Bowyer, vd., Modern Tall Wood Buildings: Opportunities for Innovation, Dovetail Partners Inc., Minneapolis, ABD, 2016.

[45] B. Cheret ve G. Grohe, Holzbau Handbuch, Informationsdienst Holz, Düsseldorf, Almanya, 2000.

[46] P. J. ve A. Kermani, Structural Timber Design to Eurocode 5, Wiley, Oxford, 2013.

[47] F. Lam ve H. G. L. Prion, Timber Engineering, John Wiley and Sons Ltd., Londra, 2003.

[48] Hyne, “CLT and GLT: A perfect combination for many structural building solutions”, URL: https://www.hyne.com.au/article/187/clt-and-glt-a-perfect-combination-for-many-structural-building-solutions. (Erişim Tarihi: Nisan, 3, 2022)

[49] B. Douglas ve E. Karacabeyli, CLT Handbook: Cross-Laminated Timber, FPInnovations and Binational Softwood Lumber Council, ABD, 2013.

[50] Y. Liao, D. Tu, H. Zhou, H. Yun ve C. Hu, “Feasibility of Manufacturing Cross-Laminated Timber Using Fast-Grown Small Diameter Eucalyptus Lumbers”, *Construction and Building Materials,* no. 132, pp. 508-515, 2017.

[51] LVL Ultralam, URL: https://ultralam.com/products/laminated-veneer-lumber-lvl/ (Erişim Tarihi: Nisan, 3, 2022)

[52] Structural Timber Assocation (STA), «Engineered wood products and an introduction to timber structural systems,» 2014.

[53] Weyerhauser, URL: https://www.weyerhaeuser.com/woodproducts/engineered-lumber/parallam-psl/parallam-psl-beams/ (Erişim Tarihi: Nisan, 3, 2022)

[54] H. Şentürk, "21. Yüzyılda Üretilen Çok Katlı Ahşap Yapıların Yapım Sürecinin Değerlendirilmesi", Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2019.

[55] S. N. Caştur, "Günümüz Mimarisinde Kullanılan Endüstriyel Ahşap Yapı Elemanları ve Yapı Örneklerinin İncelenmesi", Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2021.

[56] Timberstrand LSL, URL: https://www.weyerhaeuser.com/woodproducts/engineered-lumber/timberstrand-lsl/ (Erişim Tarihi: Nisan, 3, 2022)

[57] YapıMall, URL: https://www.yapimall.com.tr/en/products/roofing-materials/osb-standart-oriented-strand-board (Erişim Tarihi: Nisan, 3, 2022)

[58] Structure Craft, StructureCraft DLT Design & Profile Guide, Dowel Laminated Timber The All Wood Mass Timber Panel, ABD, 2019.

[59] ThinkWood, URL: https://www.thinkwood.com/mass-timber/nlt (Erişim Tarihi: Nisan, 3, 2022)

[60] Naturally Wood, URL: https://www.naturallywood.com/products/dowel-laminated-timber/ (Erişim Tarihi: Nisan, 3, 2022)

[61] G. Kaya, "Yapı Üretim Sisteminde Denetim Mekanizması", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 1997.

[62] N. Öztank, "Orta Yükseklikteki (4-8 Kat) Konut Yapılarında Ahşap Teknolojisinin Uygulanabilirliği", Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İzmir, 2004.

[63] Structrual Timber Assocation (STA), "Technical Bulletin 3- Timber frame structures- platform frame construction (part 1)", STA, İngiltere, 2014.

[64] J. Jianlin Sun, "Mid-rise Timber Construction in Finland: A Study on Material, Technology and Market Maturity," sMetropolia University of Applied Sciences Civil Engineering Sustainable Building Engineering Yüksek Lisans Tezi, Helsinki, 2016.

[65] F. D. K. Ching, Building Construction Illustrated, Wiley, New York, 2014.

[66] R. Crocetti, “Design of Timber Structures 1st Edition”, Swedish Wood, İsveç, 2011.

[67] Wikipedia, URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Framing_%28construction%29 (Erişim Tarihi: Nisan, 3, 2022).

[68] FRPF (Fıre Protectıon Research Foundatıon), “Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings, Final Report”, The Fıre Protectıon Research Foundatıon, ABD, 2013.

[69] Novawood, Büyük Mekanlar, Büyük Etkiler, URL: https://novawood.com/tr/product/lamine-ahsap-kiris/ (Erişim Tarihi: Kasım, 6, 2021).

[70] E. Avlar, “Ahşap Yapılar”, Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü Yayımlanmamış Ders Notları, İstanbul, 2019.

[71] Canadian Wood Council, URL: https://www.constructioncanada.net/wp-content/uploads/2014/07/IMG_2077.jpg (Erişim Tarihi: Kasım, 6, 2021).

[72] J. W. Burchell ve F. Sunter, Design and Build in Timber Frame, Longman Scientific & Technical, İngiltere, 1987.

[73] H. Lidelöw, Timber Building Systems for Housing, P. Bergkvist, Design of Timber Structures 1st Edition, Swedish Forest Industries Federation, Stockholm, 2016.

[74] T. Andersson ve L. Hammerber, “Consequences of Implementing Timber in Medium High-Rise Office Buildings”, Master's Programme Structural Engineering and Building Technology Yüksek Lisans Tezi, Chalmer University of Technology, Göteburg, 2015.

[75] URL-12. [Çevrimiçi]. Available: URL-12. [Erişildi: 6 Kasım 2021].

[76] TTJ, “The only way is up”, URL: https://www.ttjonline.com/features/the-only-way-is-up-4345756//image/the-only-way-is-up-4345756-457800.html (Erişim Tarihi: Temmuz, 6, 2022)

[77] X. Zhang, R. Azim, P. Bhat, M. Popovski ve T. Tannert, “Seismic performance of embedded steel beam connection in cross-laminated timber panels for tall-wood hybrid system”, Canadian Journal of Civil Engineering, vol. 44, pp. 611-618, 2017.

[78] E. Poirier, M. Moudgil, A. Fallahi, S. Staub-French ve T. Tannert, “Design and construction of a 53 meter tall Timber building at the University of British Columbia”, In Proceedings of the World Conference on Timber Engineering, Viyana, Avusturya, 2016.

[79] C. Moore, E3 Berlin Europe's First Wooden High-Rise, Building's Guide, Berlin, 2016.

[80] T. Kaden, “Holzbau vertikal: e3 Siebengeschossiger Wohnungsbau im Zentrum Berlins”, 13. Internatioanales Holzbau-Forum 2007, Garmisch, 2007.

[81] UrbanLand, “A Miss Timber Tower Rises in Portland”, URL: https://urbanland.uli.org/sustainability/a-mass-timber-tower-rises-in-portland/ (Erişim Tarihi: Kasım, 6, 2021).

[82] F. Dinkel, “Timber Office High-Rise in Risch-Rotkreuz”, Detail Structure, vol. 2, no. 9, pp. 36-41, 2019.

[83] N. Güzel ve Ö. Yılmaz Karaman, “Sürdürülebilir Bir Alternatif Olarak Çok Katlı Ahşap Yapılar”, Ege Mimarlık Dergisi, pp. 30-35, 2016.

[84] G. Wölfl, Timber The Construction Material for the Future, Graz University of Technology, Avusturya, 2016.

[85] C. Ayaz, “Çok Katlı Sürdürülebilir Yapı Tasarımında Ahşabın Strüktürel Olarak Kullanım Olanakları ve Dünyadaki Örnek Uygulamalar”, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2011.

[86] R. B. Abrahamsen ve K. A. Malo, “Structural Design And Assembly Of Treet-A 14-Storey Timber Residential Building In Norway”, World Conference on Timber Engineering (WCTE), Quebec, Kanada, 2014.

[87] The Skyscrapper Center, Treet, URL: https://www.skyscrapercenter.com/building/treet/16540 (Erişim Tarihi: Kasım, 6, 2021).

[88] TÜİK, Seragazı Emisyon İstatistikleri, Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara, 2017.

[89] G. Tuna Taygun, “Yapı Ürünlerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesine Yönelik Bir Model”, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul, 2005.

[90] G. Tuna Taygun, “Yapıda Yaşam Döngüsü Değerlendirme”, Yıldız Teknik Üniversitesi Yapıda Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Yayımlanmamış Doktora Ders Notu, 2020.

[91] A. Tukker, “Handbook on Life Cycle Assessment, Operational Guide to the ISO Standarts, Eco-Efficıency In Industry And Scıence”, Kluwer Academic Publishers, New York, 2004.

[92] J. Guinee, R. Heijungs, G. Huppes, A. Zamagni, P. Masoni, R. Buonamici, T. Ekvall ve T. Rydberg, “Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future”, Environment, Science, Technology, vol. 45, pp. 90-96, 2011.

[93] G. N. Demirer, “Yaşam Döngüsü Analizi, Pratik Yaşam Döngüsü Analizi Kılavuzu AB Sürecinde İşletmeler ve Kamu için Yaşam Döngüsü Analizi Yöntem ve Örnekleri”, Bölgesel Çevre Merkezi-REC, Ankara, 2011.

[94] M. A. Curran, Life Cycle Assessment Student Handbook, Scrivener Publishing LLC, ABD, 2015.

[95] N. Barutçu, “Çapraz Lamine Ahşap Ve Betonarme Taşıyıcı Sistemli Tekil Konut Yapılarının Çevresel Etkilerinin Karşılaştırmalı Değerlendirmesi”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2020.

[96] L. Jacquemin, P. Y. Pontalier ve C. Sablayrolles, “Life Cycle Assesment (LCA) applied to the process industry; a review”, The International Journal of Life Cycle Assesment, no. 17, pp. 1028-1041, 2012.

[97] ISO, “ISO 14044: Environmental management - life cycle assessment - requirements and guidelines”, International Organization for Standardization, İsviçre, 2006.

[98] T. F. Bayraktar, “Türkiye'de Yapı Malzemesi Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi İçin Bir Sistem Önerisi”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul, 2010.

[99] O. Jolliet, M. Saadé-Sbeih, S. Shaked, A. Jolliet ve P. Crettaz, Environmental Life Cycle Assessment London, CRC Press, New York, 2016.

[100] O. Ortiz, F. Castells ve G. Sonnemann, “Sustainability in the Construction Industry; A Review of Recent Developments Based on LCA”, Construction and Building Material, vol. 23, no. 1, pp. 28-39, 2009.

[101] TSE, “TS EN ISO 14044 Çevre yönetimi- Hayat boyu değerlendirme-Gerekler ve kılavuz”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2007.

[102] A. B. Gültekin ve G. Çelebi, “Yaşam Döngüsü Değerlendirme Yöntemi Kapsamında Yapı Ürünlerinin Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Model Önerisi”, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, no. 3, pp. 1-36, 2016.

[103] G. Finnveden ve J. Potting, “Life Cycle Assessment”, Encyclopedia of Toxicology, Elsevier, pp. 74-77, 2014.

[104] Ş. Levent, “Gezilemeyen Teras Çatılardaki Su Yalıtımı Uygulamalarının Üretim ve Yapım Süreci Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2019.

[105] J. Anderson, D. E. Shiers ve M. Sinclair, The Green Guide to Specification an Environmental Profiling System for Building Materials and Components, Blackwell Science, Oxford, 2002.

[106] R. Hobday, “IEA Annex 31. Energy Related Environemntal Impact of Buildings”, Energy Agency, Birmingham, 2005.

[107] W. B. Trusty ve J. K. Meil, “Creating Publicly Avaliable LCI Data Modules: An Up-Date of the US LCI Database Project”, The ATHENATM Sustainable Materials Institute, Ontario, Kanada, 2002.

[108] A. Haapio ve P. Viitaniemi, “A Critical Review of Building Environmental Assessment Tools”, Environemntal Impacts Assessment Review, vol. 28, no. 7, pp. 469-482, 2008.

[109] T. D. Mora ve F. Peron, “Evaluating Tools Coupling BIM and LCA”, Regenerative Design in Digital Practice, pp. 278-280, 2019.

[110] R. Vilde, “One Click LCA as a tool for comparable greenhouse gas calculations for a new building project and a rehabilition project”, Norges miljo-og biovitenskapelige universitet, Norveç, 2021.

[111] N. Kanan Özeler, A. B. Gültekin ve G. Çelebi, “Yaşam Döngüsü Değerlendirme Yöntemı Kapsamında Enerji Verimli Cephe Sistemlerine İlişkin Bır Lıteratür Araştırması”, 2nd Internatıonal Sustaınable Buıldıngs Symposıum , Ankara, 2015.

[112] TEDAŞ, “2020 Yılı Türkiye Elektrik Dağıtımı Sektör Raporu”, 2021. URL: https://www.tedas.gov.tr/#!Sektor_rapor (Erişim Tarihi: Haziran, 3, 2022).

[113] GAZBİR, “2020 Yılı Doğal Gaz Dağıtım Sektörü Raporu”, 2021. URL: https://www.gazbir.org.tr/yillik-raporlar/150 (Erişim Tarihi: Haziran, 3, 2022).

[114] TÜİK, “Su ve Atıksu İstatistikleri”, 2020. URL: https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Su-ve-Atiksu-Istatistikleri-2020-37197. (Erişim Tarihi: Haziran, 3, 2022).

Konferans Bildirileri

1. S. Akşar, “Çağdaş Ahşap Yapıların Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Üzerine Bir Örnek”, 7. Uluslararası Mimarlık ve Tasarım Kongresi, 29-30 Nisan 2022, İstanbul 2022.