T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

# ÇAĞDAŞ AHŞAP HİBRİT SİSTEMLERİN YAPI BİYOLOJİSİ BAĞLAMINDA İRDELENMESİ

Büşra AKYILDIZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Programı

Danışman

Doç. Dr. Gökçe TUNA TAYGUN

Temmuz, 2022

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

# ÇAĞDAŞ AHŞAP HİBRİT SİSTEMLERİN YAPI BİYOLOJİSİ BAĞLAMINDA İRDELENMESİ

Büşra AKYILDIZ tarafından hazırlanan tez çalışması 06.07.2022 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 _____

Prof. Dr. S. Müjdem VURAL, Üye

Doğu Akdeniz Üniversitesi _____

Doç. Dr. Polat DARÇIN, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Doç. Dr. Gökçe TUNA TAYGUN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Çağdaş Ahşap Hibrit Sistemlerin Yapı Biyolojisi Bağlamında İrdelenmesi 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.

Büşra AKYILDIZ

İmza

*Aileme.*

# TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince ve tez sürecimin en başından en sonuna kadar kıymetli zamanını benimle paylaşarak çalışmalarıma yapıcı şekilde yön ve destek vererek yanımda olan, her zaman sabır ve hoşgörüyle yaklaşan çok kıymetli hocam, danışmanım Doç. Dr. Gökçe TUNA TAYGUN'a teşekkürlerimi sunarım.

STEAM Architekten'da birlikte çalıştığım başta değerli şefim Dietmar BUCHWALD olmak üzere tüm çalışma arkadaşlarıma bu süreçte bana destekleri ve anlayışları için teşekkür ederim.

Tez savunma sınavında çalışmamı değerli katkılar sağlayarak yönlendiren değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. S.Müjdem VURAL'a ve Sayın Doç. Dr. Polat DARÇIN'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her aşamasında beni koşulsuz severek destekleyen, üzerimde sonsuz emekleri olan, her zaman yanımda olan ve bana moral veren sevgili annem Meral AKYILDIZ'a, sevgili babam Selçuk AKYILDIZ'a ve canım kardeşim Burak AKYILDIZ'a , zorlukları başarabileceğime dair beni her zaman motive eden değerli arkadaşım Berfin TEL'e, tez sürecindeki tüm stres ve zorlukları birlikte paylaşarak, yardımlaşarak aşmaya çalıştığım kıymetli arkadaşlarım Ecem KÖŞÜRGELİ'ye ve Sadık AKŞAR'a en içten sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER


**SİMGE LİSTESİ** vii

**KISALTMA LİSTESİ** ix

**ŞEKİL LİSTESİ** xi

**TABLO LİSTESİ** xiv

**ÖZET** xv

**ABSTRACT** xvii

**1 GİRİŞ** 1

1.1 Literatür Özeti ... 1

1.2 Tezin Amacı ... 6

1.3 Hipotez ... 7

**2 ÇAĞDAŞ AHŞAP YAPI ÜRETİMİNDE KULLANILAN ENDÜSTRİYEL ÜRÜNLER VE ÇAĞDAŞ AHŞAP YAPIM SİSTEMLERİ** 10

2.1 Çağdaş Ahşap Yapı Üretiminde Kullanılan Endüstriyel Ürünler ... 11

2.1.1 Çapraz Lamine Ahşap ... 13

2.1.2 Tutkallı Lamine Ahşap ... 15

2.1.3 Çivili Lamine Ahşap ... 17

2.1.4 Dübelli Lamine Ahşap ... 18

2.1.5 Lamine Kaplama Ahşap ... 20

2.1.6 Paralel Yonga Ahşap ... 21

2.1.7 Yönlendirilmiş Yonga Levha ... 22

2.1.8 Lamine Yonga Ahşap ve Yönlendirilmiş Yonga Ahşap ... 23

2.1.9 Yapısal Kompozit Ahşap ... 25

2.1.10 Masif Kontrplak Panel ... 26

2.1.11 Ahşap-Beton Kompozit ... 27

2.2 Çağdaş Ahşap Yapım Sistemleri ... 31

2.2.1 Ahşap Çerçeve Konstrüksiyon Yapım Sistemi ... 32

2.2.2 Ahşap Kolon-Kiriş Yapım Sistemi ... 33

2.2.3 Masif Ahşap Panel Yapım Sistemi ... 36

2.2.4 Ahşap Karma Yapım Sistemi ... 37

2.2.5 Ahşap Ön Yapımlı Modüler Konstrüksiyon Yapım Sistemi ... 38

2.2.6 Ahşap Hibrit Yapım Sistemi ... 40

3 YAPI BİYOLOJİSİ VE SAĞLIKLI YAPI KAVRAMI 50
3.1 Yapı Biyolojisinin Tanımı ..... 50
3.2 Sağlıklı Yapının Tanımı ..... 52
3.2.1 Ortamın İçindeki Havayı Oluşturan Maddeler ve İnsanın Hava Gereksinimi ..... 58
3.2.2 Ortam İçindeki Hava Hareketi ve Hava Akış Hızı ..... 59
3.2.3 İç Ortam Hava Sıcaklığı ..... 62
3.2.4 İç Ortam Bağıl Nem Oranı ..... 63
3.3 Yapıda Kullanılan Yapı Malzemelerinin İnsan Sağlığı, İç Mekân ve Doğal Çevre Konforu Üzerindeki Etkisi ..... 66
3.4 Yapıda Kullanılan Yapı Malzemesinin Isı İletkenlik ve Isı Geçirgenlik Katsayısının İç Mekân İklim Konforu Açısından Önemi ..... 71
4 ÇAĞDAŞ AHŞAP HİBRİT SİSTEMLERİN YAPI BİYOLOJİSİ BAĞLAMINDA İRDELENMESİ 79
4.1 Değerlendirme İçin Tasarlanan Konut Yapısının Tanıtılması ..... 79
4.2 Değerlendirmede Kullanılan Simülasyon Aracı ..... 81
4.3 Değerlendirilen Yapının Yapım Sistemleri ve Yapı Elemanları ..... 83
4.4 SimRoom Analizlerinde Kullanılan Farklı ve Ortak Veriler ..... 89
4.5 Verilerin Simülasyon Programına Aktarılması ve Yapı İçi Hava Niteliğinin Analizi ..... 91
4.6 Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Değerlendirilmesi ..... 92
4.6.1 Doğal Çevreye Etki ..... 92
4.6.2 İç Mekân Sıcaklığının İç Mekân Nem Miktarı ile Olan İlişkisi ..... 93
4.6.3 Yapı İçi Hava Niteliği ..... 94
4.6.4 İç Mekân Sıcaklığının Dış Sıcaklık ile İlişkisi ..... 96
4.6.5 Dış Sıcaklık-İç Mekân $CO_2$ Konsantrasyonu İlişkisi ..... 97
4.6.6 Enerji Tüketimi ..... 98
5 SONUÇ VE ÖNERİLER 101
KAYNAKÇA 107
EK-A CLT EPD RAPORU 116
EK-B ÇAĞDAŞ AHŞAP YAPIM SİSTEMİ SİMROOM ANALİZ RAPORU 124
EK-C CLT DUVAR UBAKUS RAPORU 129
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 138
ÖZGEÇMİŞ 139

# SİMGE LİSTESİ

| | |
|---|---|
| $kJ/m^2K$ | Bir malzemenin metrekare başına ısı kapasitesi |
| dk | Dakika |
| $T_{dış}$ | Dış sıcaklık |
| Re | Dış yüzey ısıl iletim direnci (dış yüzeydeki ısı taşınım katsayısı) |
| gr | Gram |
| R | Isıl geçirgenlik direnci |
| λ | Isıl iletkenlik hesap değeri |
| $T_{iç}$ | İç sıcaklık |
| $n_{50}$ | İç ve dış ortamlar arasında 50 Pa basınç farkı varken hava değişim oranı |
| Ri | İç yüzey ısıl iletim direnci (iç yüzeydeki ısı taşınım katsayısı) |
| J | Jul |
| $CO_2$ | Karbondioksit |
| kg | Kilogram |
| $kgCO_2eq$ | Kilogram başına kilogram karbondioksit eşdeğeri |
| MJ/kg | Kilogram başına megajul |
| kWh | Kilowatt saat |
| g⊥(gtot) | Laboratuvar şartlarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ışın için güneş enerjisi geçirme faktörü |
| L | Litre |
| MJ | Megajul |
| m | Metre |
| $m^2$ | Metrekare |
| $kWh/m^2a$ | Metrekare başına yıllık kilowatt saat |
| $m^3$ | Metreküp |
| $kg/m^3$ | Metreküp başına kilogram |
| $kWh/m^3$ | Metreküp başına kilowatt saat |
| $MJ/m^3$ | Metreküp başına megajul |

| | |
|---|---|
| mm | Milimetre |
| Pa | Paskal |
| s | Saat |
| sn | Saniye |
| $^{o}C$ | Santigrat derece |
| cm | Santimetre |
| g | Saydam elemanların güneş enerjisi geçirme faktörü |
| $\Delta U$ | Sistemin iç enerji değişimi |
| $\mu$ | Su buharı difüzyon direnç katsayısı |
| t | Ton |
| U | Yapı bileşeninin ısıl geçirgenlik katsayısı |
| d | Yapı bileşeninin kalınlığı |
| A | Yapı elemanlarının toplam alanı |
| 1/U | Yapı bileşeninin toplam ısıl geçirgenlik direnci |
| W/mK | Watt/metre-Kelvin |

# KISALTMA LİSTESİ

| | |
|---|---|
| APA | American Psychology Association |
| ASHRAE | American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers- Amerikan Isıtma, Sogutma ve Havalandırma Mühendisleri Topluluğu |
| BRI | Building Related Illness |
| CNC | Computer Numerical Control |
| CLT | Cross Laminated Timber |
| DIN | Deutsches Institut für Normung |
| DLT | Dowel Laminated Timber |
| EPD | Environmental Product Declarations |
| EPS | Expanded Polystyren Foam–Polistiren köpük |
| XPS | Extrude Polystyren Foam–Ekstrude polistren köpük |
| Glulam | Glued Laminated Timber |
| HBS | Hasta Bina Sendromu |
| IBN | Institut für Baubiologie + Nachhaltigkeit |
| ISO | International Organization for Standardization |
| LCA | Life Cycle Assessment |
| LSL | Laminated Strand Lumber |
| LVL | Laminated Veneer Lumber |
| MPP | Mass Ply Panel |
| NLT | Nail Laminated Timber |
| OSB | Oriented Strand Board |
| OSL | Oriented Strand Lumber |
| PSL | Parallel Strand Lumber |
| PPM | Parts Per Million–Bir milyon toplam hacimdeki kirletici hacmi |
| PVC | Poliviniklorür |
| SBS | Sick Building Syndrome |
| SCL | Structural Composite Lumber |

| | |
|---|---|
| TCC | Timber-Concrete Composite |
| TS | Türk Standardı |
| TSE | Türk Standartları Enstitüsü |
| TEDAŞ | Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi |
| UNEP | United Nations Environmental Program-Birleşmiş Milletler Çevre Programı |
| VOC | Volatile Organic Compounds |
| YBE | Yapı Biyolojsi Enstitüsü |

# ŞEKİL LİSTESİ

**Şekil 2. 1** Endüstriyel ahşap ürünlerin farklı üretim biçimlerine göre sınıflandırılması ....13
**Şekil 2. 2** CLT panellerin üretim süreçleri ....14
**Şekil 2. 3** Yatay ve düşey şeritlerin birlikte CLT panelleri oluşturması ....14
**Şekil 2. 4** CLT panel tabaka dizilim örnekleri ....15
**Şekil 2. 5** Kama dişli birleştirme (finger jointed) işlemi ....16
**Şekil 2. 6** Glulam üretim şeması ....17
**Şekil 2. 7** CLT (iki yönlü dizilim)- glulam (tek yönlü dizilim) ....17
**Şekil 2. 8** NLT kesiti ....18
**Şekil 2. 9** NLT malzemenin kullanım alanlarına örnekler ....18
**Şekil 2. 10** DLT kesiti ....19
**Şekil 2. 11** DLT panellerin üretim aşamaları ....20
**Şekil 2. 12** LVL'nin üretim aşamaları ....21
**Şekil 2. 13** LVL ürünler ....21
**Şekil 2. 14** PSL kesiti ....22
**Şekil 2. 15** PSL'nin kolon ve kiriş olarak kullanımı ....22
**Şekil 2. 16** OSB levha ve OSB panellerle inşa edilmiş bir yapı ....23
**Şekil 2. 17** LSL üretim aşamaları ....24
**Şekil 2. 18** LSL ve OSL ürünler ....24
**Şekil 2. 19** LSL malzemenin kullanım alanlarına örnekler ....25
**Şekil 2. 20** SCL kirişler ....25
**Şekil 2. 21** MPP kesiti ....26
**Şekil 2. 22** MPP panellerle yapılmış Mass Plywood Pavyonu ....27
**Şekil 2. 23** LCA One'da kullanılan TCC döşeme, yapının tamamlanmış hali ....27
**Şekil 2. 24** TCC kesiti ....28
**Şekil 2. 25** TCC bağlantı tipleri. ....29
**Şekil 2. 26** Ahşap beton hibrit döşeme (NLT ile) ....30
**Şekil 2. 27** Çağdaş ahşap yapım sistemlerinin kullanılan malzemelere göre sınıflandırılması ....31
**Şekil 2. 28** Balon çerçeve sistem, platform çerçeve sistem ....33
**Şekil 2. 29** Glulam kolon ve kirişler, LVL kirişler, PSL kirişler ....34
**Şekil 2. 30** Ahşap kolon-kirişlerin strüktürel kurgusu ....35

**Şekil 2. 31** Ahşap kolon-kirişlerin metal bağlantı elemanları ile bağlanması.....35
**Şekil 2. 32** Dikmelerin arasının metal çapraz gergi elemanı ile desteklenmesi...35
**Şekil 2. 33** Masif ahşap panel sistem.....36
**Şekil 2. 34** CLT panellerle inşa edilmiş 13 katlı Origine Binası .....37
**Şekil 2. 35** CLT panellerle ve glulam kolon kiriş ile yapılmış örnek yapı .....38
**Şekil 2. 36** Glulam kolon-kiriş sistem ve CLT döşeme .....38
**Şekil 2. 37** Ön yapımlı ahşap modüler sistem .....39
**Şekil 2. 38** Treet binası .....39
**Şekil 2. 39** CLT paneller ve betonarme çekirdek ile inşa edilen bir yapı.....41
**Şekil 2. 40** Ahşap ve betonun bir arada kullanılmasına dair varyasyonlar.....42
**Şekil 2. 41** Glulam kolon-kirişlerin çelik bağlantı elemanlarıyla birleşimi .....47
**Şekil 2. 42** Ahşap-çelik hibrit yapım sistemi.....48
**Şekil 2. 43** Glulam kolon-kiriş, betonarme kolonun çelik bağlantı elemanıyla birleşimi.....48
**Şekil 2. 44** Ahşap hibrit sistemle inşa edilmiş altı katlı E3 Binası ve inşaatı .....49
**Şekil 3. 1** Yapma çevre olan yapıların diğer ortam ve çevrelerle ilişkisi .....51
**Şekil 3. 2** Yapı biyolojisinin kavramsal modeli .....52
**Şekil 3. 3** Yapı ile insan arasındaki sağlık etkileşimi .....53
**Şekil 3. 4** Yapı ile sağlık sorunu arasındaki ilişki.....53
**Şekil 3. 5** Yapı tasarımında açıklıkların hava hareketine ve doğal havalandırmaya etkisi .....60
**Şekil 3. 6** İç mekân sıcaklığı, bağıl nem oranı, hava akış hızı ve ışınım ile ısıtılması arasındaki ilişki .....61
**Şekil 3. 7** CLT panel özellikleri .....70
**Şekil 3. 8** LVL panel özellikleri.....70
**Şekil 3. 9** Glulamın özellikleri.....71
**Şekil 3. 10** R ve U değerleri arasındaki ilişki. .....73
**Şekil 3. 11** DIN 4108-2 ve DIN EN ISO 6946 'ya göre yüzeysel ısıl iletim direnç değerleri .....75
**Şekil 3. 12** TS 825'e göre Türkiye'nin derece-gün bölgesi sınıflandırması .....76
**Şekil 4. 1** Analiz için tasarlanan konutun kat planı, kesiti ve görünüşleri .....80
**Şekil 4. 2** SimRoom yapı-mekân modeli .....82
**Şekil 4. 3** Simülasyon programında yer alan ipuçlarından elde edilen iç enerjideki değişim değeri.....89
**Şekil 4. 4** Soğutma sistemli ve soğutma sistemsiz girilmesi gereken değerler ....91
**Şekil 4. 5** İç mekan bağıl nemi-iç mekan sıcaklığı ilişkisi. .....94

**Şekil 4. 6** Yapı içi hava niteliğinin tanımlanmış farklı konfor kategorileri içerisinde bulunduğu sürenin miktarının karşılaştırması .....95
**Şekil 4. 7** İç mekân sıcaklığının dış sıcaklık ile ilişkisi .....96
**Şekil 4. 8** İç mekân $CO_2$ konsantrasyonunun dış sıcaklık ile ilişkisi .....97
**Şekil 4. 9** Yapım sistemlerinin metrekare başına yıllık enerji gereksinimleri dağılımı .....99

# TABLO LİSTESİ

**Tablo 2. 1** Ahşap beton hibrit malzemelerin yapıda kullanım alanları ve özellikleri .....45

**Tablo 3. 1** Bir yapının fiziksel iç ve dış çevre özellikleri .....56

**Tablo 3. 2** Sağlıklı bir yapının fiziksel iç çevre özelliklerine bağlı nitelikleri.....56

**Tablo 3. 3** Yapının sağlığının bozulmasına ya da sağlıksız yapı üretilmesine neden olabilecek etkenler .....66

**Tablo 3. 4** Yapı malzemelerinin üretiminde harcanan fosil enerji miktarları.....68

**Tablo 3. 5** Yapı malzemelerinin üretiminde salınan ve depolanan $CO_2$ miktarları .....68

**Tablo 3. 6** Hesaplanmış yüzeysel ısı iletim direnç değerleri .....74

**Tablo 3. 7** Dört farklı bölgeye göre, yapı elemanları için en fazla değer olarak kabul edilebilecek U değerleri.....76

**Tablo 3. 8** Bazı yapı malzemelerinin belirli kalınlıklardaki U değerleri .....77

**Tablo 4. 1** Tasarlanan konutun künyesi. .....81

**Tablo 4. 2** SimRoom veri girdileri ve elde edilen çıktılar. .....82

**Tablo 4. 3** İncelenecek olan üç farklı yapı modeli. .....85

**Tablo 4. 4** Duvarların yatay kesitlerinin ısı diyagramları.....87

**Tablo 4. 5** Yapı elemanlarının düşey ısı diyagramları ve çiy noktası eğrileri. .....88

**Tablo 4. 6** Yapı elemanlarının yüzey alanları. .....90

**Tablo 4. 7** Analizlerde kullanılan ortak veriler. .....90

**Tablo 4. 8** Yapı elemanlarının birincil enerji tüketim değeri, sera gazı üretim potansiyeli, ısıtma periyodu boyunca kaybedilen ısı kaybı miktarı. .....92

**Tablo 4. 9** Yapım sistemlerinin yapı içi $CO_2$ miktarları. .....98

**Tablo 4. 10** Yapım sistemlerinin metrekare başına yıllık enerji gereksinim değerleri. .....99

**Tablo 4. 11** Yapım sistemlerinin toplam enerji talebini karşılamak için gerekli olan birincil enerji miktarı ve toplam enerji tüketimi. .....100

# ÖZET

## Çağdaş Ahşap Hibrit Sistemlerin Yapı Biyolojisi Bağlamında İrdelenmesi

Büşra AKYILDIZ

Mimarlık Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Gökçe TUNA TAYGUN

Yapının ve çevresinin kullanıcıyla arasında olan karşılıklı ilişkileri kurarak kullanıcının yaşamını etkileyecek olumsuzlukları gidermeye çalışan, yapının yaşam sürecini insan sağlığı açısından belirleyen kararları üreten, yöneten ve denetleyen bilim dalı yapı biyolojisi olarak tanımlanmaktadır.

Sağlıklı bir yapı ve iç mekân oluşturmada yapıyı oluşturan yapı ürünlerinin yapı içi havasının niteliğini oluşturmada oldukça etkili olmaktadır. Yapı ürünlerinin doğru şekilde seçilmesi ve yapıyı çevreleyen yapı elemanlarında kullanılan yapı ürünlerine dikkat edilmesi, sağlıklı iç mekân iklimi ve sağlıklı yapı içi hava niteliğinin elde edilmesi açısından önemlidir.

Çağdaş ahşap endüstriyel ürünler ve bu ürünlerin getirdiği yapısal ve fiziksel olumlu özelliklerle birlikte üretilen yapıların yapı içi hava niteliğine, kullanıcılara ve doğal çevreye etkileri tezin araştırma sorusunu oluşturmuştur. Çalışmada; çağdaş ahşap ve çağdaş ahşap hibrit yapım sistemleriyle üretilen yapıların ve bu yapım sistemlerinde kullanılan yapı ürünlerinin yapı biyolojisi ve sağlıklı yapı

kavramı bağlamında iç mekân iklimlendirmesine ve yapı içi hava niteliğine etkilerini SimRoom simülasyon aracıyla karşılaştırmalı olarak incelemek; sağlıklı yapı ve iç mekân konforu tasarımına ve üretimine katkı sağlayabilmek amaçlanmıştır.

Tez kapsamında tasarlanan bir yapı üzerinde SimRoom simülasyon aracı ile farklı ahşap yapım sistemleri/yapı elemanları ve bu elemanları oluşturan yapı ürünleri belirlenerek yapı içi hava niteliğinin analizinde; sadece endüstriyel ahşap ürünlerle üretilen analizin, ahşap ürünlerin tekil kısıtlamalarının aşıldığı ve yapısal performansı oldukça yüksek olan betonarme strüktür ve betonarme yapı elemanı kullanılarak tasarlanan ahşap betonarme hibrit yapım sistemine sahip iki analize göre daha olumlu yapı içi hava niteliği sonuçları vermesi varsayılmış, ancak analizler sonucu elde edilen veriler ile üç analizin yapı içi hava niteliği birbirine çok yakın değerlerde çıkmış ve kullanıcı sağlığını ciddi derecede etkileyecek herhangi bir olumsuzluğa rastlanmamıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Endüstriyel ahşap ürünler, çağdaş ahşap yapım sistemleri, çağdaş ahşap hibrit sistemler, yapı biyolojisi, sağlıklı yapı, iç mekân iklimlendirmesi, yapı içi hava niteliği, U değeri.

# ABSTRACT

## Examination of Contemporary Timber Hybrid Building Systems in The Context of Building Biology

Büşra AKYILDIZ

Department of Architecture

Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Gökçe TUNA TAYGUN

Building biology is defined as the branch of science that seeks to eliminate the negative impact on the life of the user by establishing mutual relationships between the building, its environment and the user, managing and monitoring the decisions that determine the life process of the building in terms of human health.

It is very effective in creating a healthy structure and interior, and in creating the indoor air quality of the building products that make up the building. Proper selection of building products and attention to the building products used in the structural elements surrounding the building are important in maintaining a healthy indoor environment and indoor air quality.

Contemporary industrial timber products and the effects of the structures produced, as well as the structural and physical beneficial properties of these products on indoor air quality, users and the natural environment, form the research question of this thesis. The study aims to analyze the impact of the structures produced with contemporary timber and timber hybrid building systems and the building products used in these building systems on the control of indoor climate and indoor air quality in the context of building biology and the

concept of healthy building using the SimRoom simulation tool; the objective is to contribute to the design and production of healthy structures and indoor comfort.

In this dissertation study, when analyzing indoor air quality by determining different timber building systems/structural elements and the building products that make up those elements using the SimRoom simulation tool for a designed building, it's expected that the analysis using only industrial timber products, provide more positive indoor air results than the two analyzes using a wood-steel-concrete hybrid building system with a reinforced concrete structure and a reinforced concrete structural element that exceeds the singular limitations of timber products and has very high structural performance. The indoor air quality of the data and the three analyzes were very close, and no negative events were detected that would seriously affect the health of the users.

**Keywords:** Industrial timber products, contemporary timber building systems, contemporary timber hybrid building systems, building biology, healthy buildings, indoor air conditioning, indoor comfort, U value.

# 1 GİRİŞ

## 1.1 Literatür Özeti

Ahşap, geçmişten günümüze kadar en çok kullanılan yapı malzemelerinden biri olmuştur ve kullanımı beton ve çelikle karşılaştırıldığında daha eskilere dayanmaktadır (Batur 2004). Ahşabın doğayla tamamen uyumlu olması ve geri dönüşümünün kolay olması, diğer yapı elemanlarıyla karşılaştırıldığında mukavemetinin oldukça iyi olması, diğer yapı malzemeleriyle uyumlu ve doğru şekilde kullanıldığında çok uzun ömürlü olabilen sürdürülebilir bir malzeme olması bunda etkili olmuştur. Ahşap yapıların ayakta kalabilmesi için doğru malzeme kullanmak, malzemeyi olumsuz nem koşullarından korumak, yeterli kesit alanına sahip taşıyıcı malzeme kullanmak ile kurgulamak ve yapıyı malzemenin özelliklerine uygun olacak biçimde doğru bir şekilde tasarlamak önemlidir (Bozkurt 2011).

On dokuzuncu yüzyılın sonları, yirminci yüzyılın başlarında hızlı endüstrileşmenin bir sonucu olarak, şehirlerde nüfus artışıyla birlikte artan konut ihtiyacını karşılamak için düşey yapılaşma ihtiyacı duyulmuş ve geleneksel ahşap malzemeler bu konuda yetersiz kalmıştır. Özellikle de taş ve tuğla yığma sistemlerinin yaygınlaşması, çelik ve betonarme yapım sistemlerinin ortaya çıkıp uygulanmaya başlanması (Bilici 2006) ile birlikte çok katlı yapıların yapımında çelik ve betonarme kullanılmış ve yapı endüstrisi bu yapı ürünleri etrafında şekillenmiştir. Bunun sonucu olarak ahşabın yapılarda taşıyıcı malzeme olarak kullanılması azalmıştır (Erkoç 2004).

Yirmi birinci yüzyılda dünyada ahşap yapı endüstrisinin gelişimiyle birlikte birçok Avrupa ülkesinde ve Amerika'da endüstriyel ahşap ürünlerin ve bu ürünlerle üretilmiş yapım sistemlerinin ve yapıların kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu ülkelerde sadece endüstriyel ahşap yapım endüstrisinde kullanılmak üzere, belirli ağaçlar için orman ekim alanları planlanmış ve bu ormanların sürekliliği sağlanmıştır (Douglas ve Karacabeyli 2013). Endüstriyel ürünler ve çağdaş ahşap yapım sistemleri, hızla büyüyen kentlerin ihtiyaçlarını karşılamak, yapıların yapım

maliyetlerini ve yapım süresini düşürmek; aynı zamanda çevrecil yaklaşımlar sergilemek üzere tasarlanmıştır (Gül ve Mayuk 2019). Bu endüstriyel ürünlerin ve sistemlerin ön üretim ile fabrika ortamında bütün hesapları yapılarak ve açıklıkları önceden planlanarak kısa sürede üretilebilmeleri (Avlar ve Ustaoğlu 2017), uygulama aşamasındaki ahşap montajında çok karmaşık birleşimler ve çözümler içermemeleri ve örneğin az sayıda inşaat çalışanı ile sekiz katlı ahşap bir yapının ortalama yedi gün gibi kısa bir sürede tamamlanabilmesi, enerjiden ve yapım maliyetlerinden tasarruf sağlamaları, ahşap esaslı olmalarından dolayı ahşap ürünlerin iyi özelliklerini bünyelerinde barındırmaları gibi olumlu özellikleri bu yapı sektöründe büyük avantaj haline getirmiştir (Structural Timber Association 2014).

Yirmi birinci yüzyılda dünyada önemi artan ve ön plana çıkan diğer konular ise çevre, **insan, insan sağlığı, sağlıklı yapı** ve sürdürülebilirlik gibi konulardır. Yenilenebilir enerji kaynakları, sera gazları emisyonu, küresel ısınma gibi çevresel kavramların yapı üretimindeki etkisinin yüksek olması nedeniyle günlük hayatta kullanılan yapı ürünleri üzerine tekrar düşünülmeye başlanmıştır ettirir (Gül ve Mayuk 2019).

Yapılar, insanlar tarafından yaşamlarını sağlıklı bir şekilde sürdürebilmek için üretilen yapma çevrelerdir. Kullanıcı grubunun büyük bir kısmını oluşturan insanlar, yaşantılarının %80'ini bu yapma çevre içerisinde geçirerek ve yapı ile sürekli bir etkileşim halinde bulunarak yaşantısını devam ettirir. Bu etkileşimin sonucu olarak, yapıda meydana gelen herhangi bir olumsuzluk etkeni bir olumsuzluk meydana getirebilir. Bu olumsuzluk, kullanıcının sağlığını bozabilecek bir etkenin ve sağlık sorununun ortaya çıkmasına neden olabilir (Balanlı ve Öztürk 2006). Sağlıklı yapıyı üretebilmek ve sağlık sorunlarını oluşmadan önlemek bu nedenle son derece önemlidir. Bu sebeple tasarımcı yapıyı oluştururken her evrede konuyla ilgili bilgili ve bilinçli olmalıdır (Sarp 2007).

Yapıların fiziksel iç çevresindeki hava niteliği ve ilgili özelliklerin olumsuz olması, kullanıcılarda çeşitli sağlık sorunlarını ortaya çıkaran önemli etkenlerden biridir. İç hava sıcaklığı, havanın bağıl nem oranı, havada bulunan maddelerin karışım miktarları, ortam içindeki havanın akış hızı ve elektro iklimsel oluşumlar yapı içi

havasının niteliğini belirlemektedir ve bu özelliklerin hepsi birbiriyle ilişkilidir. Bu özelliklerden birinin bozulması durumu diğerlerini de olumsuz etkilemektedir. Tasarımcıların yapı içi hava niteliğinin kullanıcılar üzerindeki etkilerini bilmemeleri durumunda yapı ve kullanıcılar açısından çeşitli sorunlar oluşturan yapılar ortaya çıkmaktadır (Darçın 2008).

Belirtilen anlatımlardan yararlanılarak, çağdaş ahşap endüstriyel ürünler ve bu ürünlerin getirdiği yapısal ve fiziksel olumlu özelliklerle birlikte üretilen yapıların yapı içi hava niteliğine, kullanıcılara ve doğal çevreye etkileri bir araştırma sorusu oluşturmuştur. Sadece ahşap ürünler kullanılarak üretilen çağdaş ahşap sistemler ve ahşapla birlikte betonarme malzemenin kullanımıyla elde edilen çağdaş ahşap betonarme hibrit sistemlerin yapı içi hava niteliğine etkisi araştırılmış; yapı ürünü seçiminin ve yapı elemanı tasarımının önemi irdelenmiştir.

Yapılan literatür araştırmasında çeşitli kurumlar ya da araştırmacılar tarafından farklı değerlendirme yaklaşımları bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında incelenmiş bazı araştırmaların endüstriyel ahşap ürünler ve bu ürünlerle oluşturulan çağdaş ahşap ve çağdaş ahşap hibrit yapım sistemlerin yapısal ve fiziksel özellikleri hakkında bilgiler vermesine, yapı içi hava niteliğinin kullanıcı sağlığı açısından irdelenmesine, sağlıklı yapı oluşturmak için gerekli adımlara ve model önerilerine ilişkin olduğu görülmüştür.

- Porteus, J. ve Kermani (2007), endüstriyel ahşap ürünlerin ve endüstriyel ahşap ürünlerle üretilen çağdaş ahşap ve çağdaş ahşap hibrit yapı sistemlerinin Avrupa'daki üretimi ve kullanımı ile ilgili olarak bilgi vermiş, üretim ve yapım kurallarını açıklamıştır.
- Bilici (2006), ahşap yapı ürünlerinin genel özelliklerini açıklamış, ahşap ürünlerin yapısal özelliğinden kaynaklanan sorunların nasıl giderilmesi gerektiğini anlatmış ve ahşap konut üretiminin önemine değinmiştir. Avrupa'da ahşap ürünlerin yaygın olarak kullanılması ve Türkiye'de hala yaygınlaşmaması sebebiyle, Almanya'daki ahşap malzeme kullanımına ve üretim sistemlerine dikkat çekerek değinmiş ve Türkiye için öneriler sunmuştur.

- Şentürk (2009), çok katlı ahşap yapılarda kullanılan farklı yapım sistemlerini ve bu yapım sistemlerini oluşturan yapı elemanlarının üretim ve kullanımlarının benzer ve farklı özelliklerini incelemiştir. Bu incelemeyi gerçekleştirirken, yapıların toplam inşaat alanı, yapıda kullanılan ahşap miktarı ve yapı üretim sisteminin yapıların oluşturulma süresine etkisini araştırmıştır. Endüstriyel ahşap malzemelerle oluşturulan çok katlı ahşap yapıları, kullanılan malzeme türlerini, kullanılan taşıyıcı sistem türlerini ve oluşturulma süreçlerini karşılaştırmalı olarak incelemiştir.
- Öztank (2004), endüstriyel ahşap ürünler ve özellikleri, bu ürünlerin birlikte kullanımıyla üretilen farklı yapım sistemlerini irdelemiştir. Yapım sistemlerini yapı fiziği yönünden inceleyerek anket çalışmasıyla beraber bir model önerisi sunmuştur. Endüstriyel ahşap ürünlerin ve sistemlerin yapı fiziği özeliklerine değinilmesi açısından kaynak araştırmasında etkili bir şekilde yer almaktadır.
- Balanlı ve Öztürk (2006), yapıların kullanıcıların gereksinmelerini gidermek üzere tasarlanmış ve üretilmiş yapma çevreler olduğunu belirtmişlerdir. Yapı biyolojisinin, yapma çevrenin insan sağlığı üzerindeki etkilerini araştırdığını ve elde edilen bilgiler doğrultusunda daha sağlıklı yapıların üretilmesine imkân sağladığını belirtmişlerdir. İnsan ile yapı arasındaki sağlık ilişkisini ve riskleri ortaya koyup yapı biyolojisi sorunlarının sistem yaklaşımı ile çözümlenmesine ilişkin bir model önermişlerdir.
- Sarp (2007), sağlıklı yapı ve ölçütlerini belirtmiş, bir yapının sağlıklı olma performansına sahip olması ve bu durumun sürdürülebilirliği için bir süreç modeli önerisinde bulunmuştur.
- Darçın (2008), yapı iç mekân havasının dış atmosferin bir parçası olduğunu belirtmiştir. İç mekân hava sıcaklığının bağıl nem oranının, havada bulunan madde karışımlarının ne oranda bulunduklarının, ortam içindeki hava akış hızının ve elektro iklimsel oluşumların yapı içi hava iklimlendirmesini ve yapı içi havanın niteliğini belirlediğini açıklamıştır. Her bir özelliğin kullanıcının konforu ve sağlığı açısında oldukça önemli olduğuna değinmiş

ve yapı içi hava kirliliğinin giderilmesinde doğal havalandırma ilkeleri üzerine bir araştırma gerçekleştirmiştir.

- Balanlı ve Vural (2011), kullanıcıların yapıdan kaynaklı sağlık sorunları yaşayabileceğini belirtmiş, "Sick Building Syndrome (SBS)" yani "Hasta Bina Sendromu (HBS)" hakkında bilgiler vermiş ve her sağlık sorununun SBS'ye neden olmayacağını açıklamışlardır. Tasarımcıların belirli özellikleri takip ederek kullanıcıların fiziksel ve sosyal ihtiyaçlarını karşılayabilecek şekilde yapılar tasarlayıp üretebileceklerini belirtmişlerdir.
- Vural (2011), yapıların işlevinin kullanıcıların ihtiyaçlarına göre çeşitlenebileceğini ve bunu kullanıcılar ve aktivitelerinin, kullanılan yapı ürünlerinin, çevrenin, ekipmanların ve detay çözümlerinin belirlediğini açıklamıştır. Bu sebeple de yapı içindeki kirleticilerin de her yapıda farklı olacağını belirtmiştir.
- Nasrollahi ve Nooraei (2013), yapı içi hava niteliğinin sağlanmasında bir ölçüt olarak U değerinin (ısı geçirgenlik katsayısı) önemine dikkat çekmiş ve farklı U değerlerine sahip ofis yapılarının İran'da tasarlanan bir yapı için yaşam döngüsü maliyetlerini ve toplam enerji taleplerini incelemişlerdir. Sıcak ve kuru bir havaya sahip dış iklim koşullarında yapı için gerekli olan ideal U değerini belirlemeyi amaçlayarak bu konuda yol gösterici bir çalışma ortaya koymuşlardır.

İncelenen bilimsel çalışmalarda konular ile ilgili çok önemli bilgiler ve yaklaşımlar bulunmasına karşın;

- yapı ürünü seçiminin yapı içi hava niteliği üzerinde etkisi,
- fiziksel ve mekanik özellikleri artırılmış, doğal ve çevre dostu ürünlerden üretilen endüstriyel ahşap ürünlerin ve bu ürünlerden üretilen çağdaş ahşap ve çağdaş ahşap hibrit sistemlerin yapı içi hava niteliğine etkileri,
- çağdaş ahşap ve çağdaş ahşap hibrit sistem yapıların sağlıklı yapı olma durumları

üzerine analitik değerlendirmeler yaparak ele alınmış bir çalışmaya rastlanmamıştır.

## 1.2 Tezin Amacı

Yapıları oluşturan yapı elemanlarında kullanılan ürünlerin çok çeşitli olması, bu ürünlerin farklı ısı geçirgenlik değerlerine sahip olması, yapı içi hava niteliğine etkilerinin farklı olması, insan sağlığı ve doğal çevre üzerindeki etkilerinin farklı olması sebebiyle yapıda ürün seçimi ve bu ürünlerin birlikte doğru bir şekilde kullanımı son derece önemlidir.

Farklı yapı ürünlerinin tekil veya birlikte kullanımıyla birlikte çeşitli yapım sistemleri elde edilmektedir. Yapım sistemlerinin ve yapı ürünlerinin tasarımcı tarafından doğru şekilde belirlenmesi ve tasarlanması dikkat edilmesi gereken bir süreçtir. Bu doğrultuda; endüstriyel ahşap ürünlerin kullanıldığı ve bu ürünlerle üretilen çağdaş ahşap ve çağdaş ahşap betonarme hibrit yapım sistemlerinin yapı biyolojisi bağlamında yapı içi hava niteliğine ve insan sağlığına etkileri bir araştırma sorusu oluşturmuştur.

Belirlenen araştırma sorusu doğrultusunda tezin amacı;

- yapı içi hava niteliğini etkileyen yapı ürünü seçiminin üzerinde bir araştırma yapmak,
- yapı ürünü seçiminin, yapının tasarım aşamasında dikkat edilmesi gereken bir durum olduğuna ve tasarımcılar tarafından özümsenmesi gerektiğine dikkat çekmek,
- yapı ürünü seçiminin ısı geçirgenlik değeri ve buna bağlı olarak yapı içi hava niteliği üzerindeki önemine dikkat çekmek,
- sağlıklı yapı kavramı ve ilkelerini yapı biyolojisi bağlamında incelemek,
- yapının ve yapıyı oluşturan ürünlerin insan sağlığı üzerindeki etkisini vurgulayarak sağlıklı yapı üretme ye katkı sağlamak,
- Türkiye'de sık kullanılmayan endüstriyel ahşap ürünlerin birbiriyle veya betonarme, çelik gibi yapı ürünleriyle birlikte kullanımıyla üretilen yapı sistemleri hakkında bilgi vermek,
- tasarımcıların yapı biyolojisi bağlamında ürün seçiminde SimRoom simülasyon aracı ile yapı içi hava niteliğini belirleyen ölçütler üzerine bilgiler elde edebileceğini irdelemek; Türkiye'de kullanılmayan bu simülasyon aracının yaygınlığını sağlamak,

- çağdaş ahşap ve çağdaş ahşap hibrit yapım sistemleriyle üretilen yapıların ve bu yapım sistemlerinde kullanılan yapı ürünlerinin karşılaştırmalı olarak incelenerek yapı biyolojisi ve sağlıklı yapı kavramı bağlamında iç mekân iklimlendirmesine, yapı içi hava niteliğine etkilerini değerlendirmek; sağlıklı yapı tasarımına ve üretimine katkı sağlamaktır.

## 1.3 Hipotez

İnsanlar tarafından üretilen ve yapma bir çevre olan yapıların iç mekânında ve yapı kabuğunda kullanılan yapı ürünleri, yapıyı kullanan kullanıcıların sağlığını ciddi boyutlarda etkilemektedir. Dolayısıyla sağlıklı yapılar üretebilmek için yapı elemanlarını oluşturan yapı ürünlerin seçimi oldukça önemlidir.

Endüstriyel ahşap ürünlerin kullanıldığı çağdaş ahşap ve çağdaş ahşap betonarme hibrit yapım sistemlerinin yapı içi hava niteliğine etkilerinin SimRoom simülasyon aracıyla karşılaştırmalı irdelendiği bu tezde;

- endüstriyel ahşap malzemeler ve çağdaş ahşap sistemlerle birlikte; çağdaş ahşap hibrit sistemler hakkında bilgi verilerek Türkiye'de tanınırlığının artırılacağı,
- sağlıklı yapı içi hava niteliği elde edebilmek için yapı biyolojisi bağlamında ürün seçiminde dikkat edilmesi gereken noktalar kapsamında gelecek çalışmalarda faydalanılmak üzere önerilerde bulunabileceği,
- yapı ürünlerinin iç mekân hava niteliğine ve konforuna etkisinde önemli bir yere sahip olan ısı geçirgenlik katsayısı (U) değerinin önemine dikkat çekilebileceği ve yapının tasarım aşamasında tasarımcıların yapı fizikçilerle birlikte çalışarak bu konuda bilgi sahibi olması gerektiğine dikkat çekilebileceği,
- çağdaş ahşap yapım sistemleriyle üretilen yapıların olumlu yapı içi hava niteliğine sahip olabileceği,
- sadece endüstriyel ahşap ürünlerle üretilen ve çağdaş ahşap yapım sistemiyle kurgulanan ait analizin, ahşap ürünlerin tekil kısıtlamalarının aşıldığı ve yapısal performansı oldukça yüksek olan betonarme strüktür ve betonarme yapı elemanı kullanılarak tasarlanan ahşap betonarme hibrit

yapım sistemiyle kurgulanan iki analize göre daha olumlu yapı içi hava niteliği sonuçları vermesi

varsayılmıştır.

Çalışma kapsamında, SimRoom simülasyon aracı ile çağdaş ahşap ve çağdaş ahşap betonarme hibrit yapım sistemleri kullanılarak İstanbul'da tasarlanan örnek bir konut yapısının üç farklı yapım sistemi kurgusuyla yapı biyolojisi bağlamında yapı içi hava niteliğine etkileri irdelenmekte ve endüstriyel ahşap ürünlerle üretilen iki yapım sisteminin yapı içi hava niteliği analiz sonuçlarına ilişkin karşılaştırmalar yapılmaktadır.

Çağdaş ahşap hibrit yapım sistemlerinden çağdaş ahşap betonarme hibrit sistemin yapı biyolojisi bağlamında yapı içi hava niteliğine etkilerinin çağdaş ahşap sistemle karşılaştırmalı olarak incelendiği bu tez çalışması;

- kullanımın ve anlaşılmasının kolay olması,
- öğrenci lisansıyla tam sürüm kullanımının mümkün olması,
- Ubakus web tabanlı araç ile yapı elemanının tasarımının kolay, hızlı bir ekilde olması ve yapı elemanını modelleyerek U değerini hızlıca hesaplayabilmesi,
- SimRoom simülasyon aracının yapı içi hava niteliği analiz sonuçlarını üç saniye gibi kısa bir sürede verebilmesi,
- SimRoom simülasyon aracında ve Ubakus web tabanlı araçta girilmesi gereken parametreler le ilgili ipuçlarının ve yönlendirmelerin yer alması

nedeniyle bu iki değerlendirme aracı ile sınırlandırılmıştır.

Tez çalışmasının ilk bölümde; konu ile alakalı yapılmış olan literatür özeti, çalışmanın amacı, hipotez ve sınırlılıklar belirtilmiş, ikinci bölümde; endüstriyel çağdaş ahşap yapı malzemeleri ve çağdaş ahşap yapım sistemleri tanımlanmış, üçüncü bölümde; yapı biyolojisi, sağlıklı yapı kavramı, sağlıklı yapılarda iç mekân iklimi ve yapı içi hava niteliği ölçütleri açıklanmış ve yapının üretiminde kullanılan yapı malzemelerinin insan sağlığı, doğal çevre ve iç mekân konforu üzerindeki etkilerinden bahsedilmiş, dördüncü bölümde; tasarlanan konut yapısı için seçilen farklı ahşap ve ahşap hibrit yapım sistemlerinin yapı elemanları tasarlanarak

SimRoom simülasyon aracı ve Ubakus web ara yüzü ile birlikte doğal çevreye, yapı içi iklimlendirmesine ve yapı içi hava niteliğine etkisinin analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar birbiri ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Beşinci ve son bölümde çalışmanın tümü kapsamında elde edilen sonuç verileri ifade edilmiştir.

Tez kapsamında verilen eklerin örnek ve bilgi verici olması açısından EK A'da CLT'nin EPD raporu, EK B'de çağdaş ahşap yapım sistemi ile gerçekleştirilen analizin SimRoom raporu, EK-C'de ise CLT duvarın Ubakus raporu verilmiştir.

# 2

# ÇAĞDAŞ AHŞAP YAPI ÜRETİMİNDE KULLANILAN ENDÜSTRİYEL ÜRÜNLER VE ÇAĞDAŞ AHŞAP YAPIM SİSTEMLERİ

Ahşap, ilk çağlardan beri en çok kullanılan yapı malzemelerinden biri olmuştur. Doğal ve yenilenebilir bir malzeme olduğundan ve doğada kolaylıkla bulunabildiğinden, beton ve çeliğe göre yapı malzemesi olarak kullanımı daha eskiye dayanır. Ahşabın içerisinde yüksek miktarda selüloz, orta miktarda pektin, linyin, polisakkaritler ve az miktarda yabancı maddeler bulunmaktadır (Bostancıoğlu 2004).

Ahşabın, ağaçtan elde edildikten hemen sonra herhangi bir işlem görmeden ham haliyle kullanılmasına masif ahşap adı verilmiştir. Masif ahşap hafiftir ve bu nedenle nakliyesi ve montajı oldukça kolaydır. Binanın yapımı esnasında karmaşık aletler ve makineler gerekmediğinden, geçmiş yıllarda konut yapımında çokça kullanılmıştır (Bilici 2006).

On dokuzuncu yüzyılın sonları yirminci yüzyılın başlarında betonarme malzemenin yapı endüstrisine girmesiyle birlikte, çok katlı yapıların yapımında ahşap malzeme kullanımı eskiye oranla düşmüştür (Erkoç 2004).

Ahşabın kullanımının azaldığı dönemde ahşabın kullanımını canlandırmak için Frank Lloyd Wright, Chicago'da Japon mimarisinden esinlenerek Robie Evi'ni 1909 yılında ahşap olarak tasarlayıp yapmıştır (Brancaccio 2018).

Yirmi birinci yüzyılda ise sürdürülebilirliğin ön planda olduğu ve sürdürülebilirlik ilkesinin hem yapılar hem de kentler ölçeğinden bakıldığında arttığı gözlemlenmektedir. Nüfusun yıllar içinde artması ve büyük şehirlerde yoğunlaşmasıyla birlikte, yapılaşma ve enerji kaynaklarının kullanımı da artmıştır. Şehirlerde artan nüfusla birlikte yatay yapılaşmadaki alanların yetersiz kalması, düşey yapılaşma fikrini beraberinde getirmiştir. Bu durumun sonucu olarak kaynakların verimli kullanılabilmesi açısından sürdürülebilir yaklaşımların ön

plana çıkması bir ihtiyaç haline gelmiştir. Yirmi birinci yüzyılda yaşanan teknolojik gelişmelerin, düşey yapılaşmada kaynakların verimli kullanılmasına ve ahşap yapı malzemesinden kaynaklı kısıtlamaların ortadan kalkmasına veya bu kısıtlamaların minimuma indirilmesine, daha yenilikçi çözümlerin kullanılmasına olanak sağladığı görülmektedir (Yesügey vd., 2015).

Ahşap; beton ve çelik gibi malzemelerle karşılaştırıldığında, yenilenebilir, geri dönüştürülebilir ve sürdürülebilir olan tek yapı malzemesidir. Ağaçlar fotosentez yaparken havadaki karbondioksiti kendi bünyesine alır ve oksijeni dışarı verir. Dolayısıyla atmosferdeki karbondioksit miktarını azaltır. Ağaçlardan ahşap malzeme elde edildikten ve işlendikten sonra bile bu karbondioksiti bünyesinde tutmaya devam eder. Bu sebeple ahşap yapım sistemleri, doğada negatif ayak izine sahip olan tek yapım sistemleridir (Douglas ve Karacabeyli, 2013).

Ahşabın yenilikçi teknikler ve çözümler sayesinde yanmaya, çürümeye ve suya dayanımının arttırılması mümkündür. Ahşap yapım sistemlerinin yaygınlaşması için özel ormanlık alanlar oluşturulmaktadır ve bu ormanlık alanlardan teknolojik yapım yöntemleri ile endüstriyel ahşap malzemeler üretilmektedir (Hasol 2017).

Ayrıca taşıyıcı sistem tasarımının çağdaş ahşap sistemler ile yapılması yapıda ve detay çözümlerinde büyük bir esneklik ve çeşitlilik sağlar (Erkoç 2004).

Sürdürülebilirliğin yanında, ahşap malzemelerdeki teknolojik gelişmelerle birlikte ahşap yapıların yapım süresi kısalmıştır. Kısa zamanda daha nitelikli ve verimli ahşap yapı malzemelerinin ön yapımlı olarak üretilmesi ve üretilen bu yapı malzemelerinin sahada montajının kısa sürede gerçekleştirilmesi hem süre hem verimlilik açısından da artı değerler olmuştur.

## 2.1 Çağdaş Ahşap Yapı Üretiminde Kullanılan Endüstriyel Ürünler

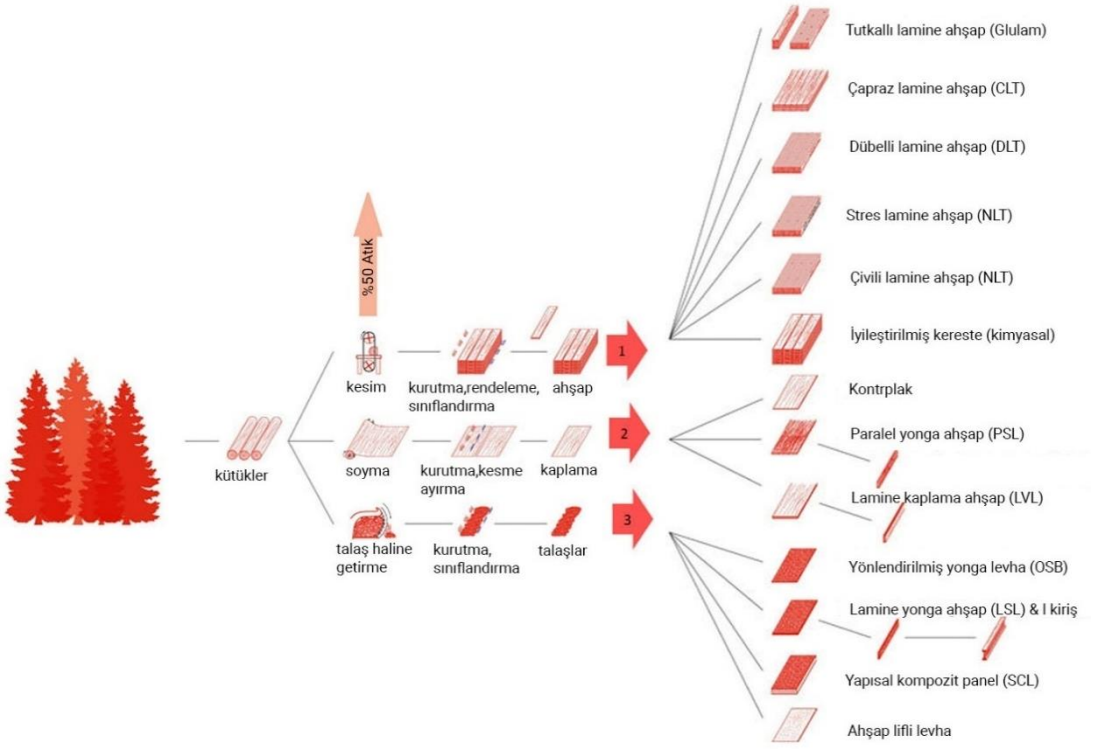
Yumuşak ahşap malzemeden elde edilen keresteler belirli boylarda üretilmektedir. En büyük kereste boyutları 75 mm kalınlığında, 225 mm derinliğinde ve 5 m uzunluğundadır. Daha büyük ölçülerdeki herhangi bir boyut hem kesme veya birleştirmede zorluk çıkarır hem de fırınlama sırasında biçim bozulmasına uğrar (Porteous ve Kermani, 2007).

Endüstriyel ahşap ürünler, kerestenin sınırlarını aşmak ve keresteyi daha dirençli ve yüksek özellikli hale getirmek için geliştirilmiştir (Porteous ve Kermani, 2007).

Endüstriyel ahşap ürünler; ahşap malzemenin belirli yöntemler ile kesilip, bağlayıcı malzemeler ile tabakalar halinde belirli bir basınç ile fabrika ortamında birleştirilmesi ile üretilir (Avlar ve Ustaoğlu, 2017).

Türüne göre değişen boyutlardaki ahşap parçaların birleştirilmesiyle oluşturulan endüstriyel ahşap ürünler, masif ahşaba göre birçok avantaja sahiptir. Fabrika ortamında üretilen teknoloji ürünü ahşap bileşenler, kereste boyutuna bağlı kalmadan istenilen boyut ve eğrilikte üretilebilir. Bu sayede geniş açıklıklı yapılarda kullanılabilecek düzeyde kiriş, kolon gibi yapı elemanlarının üretilmesi mümkündür. Daha küçük kesitli ahşap bileşenlerden bir yapı elemanı oluşturulduğunda ahşabın boyut değişkenliği azalır ve buna bağlı olarak mukavemeti artar. Bunun sonucu olarak ahşap malzeme ile çok katlı ahşap yapılar inşa etmek mümkündür. Ahşap panel sistemlerde pencere, kapı gibi boşlukların fabrikada üretim esnasında açılması ile şantiyede yapım süresi kısalır. Atık ahşap ürünler ise çeşitli işlemlerle ahşap liflerine ayrılabilmekte ve endüstriyel ahşap malzeme üretimine tekrar katılabilmektedir. Böylece ahşap atıkların geri dönüşümü sağlanmış olur ve sürdürülebilir bir inşa süreci yürütülür (Structural Timber Association 2014).

Endüstriyel ahşap ürünlerin farklı üretim biçimlerine göre sınıflandırılması Şekil 2.1'de gösterilmiştir.

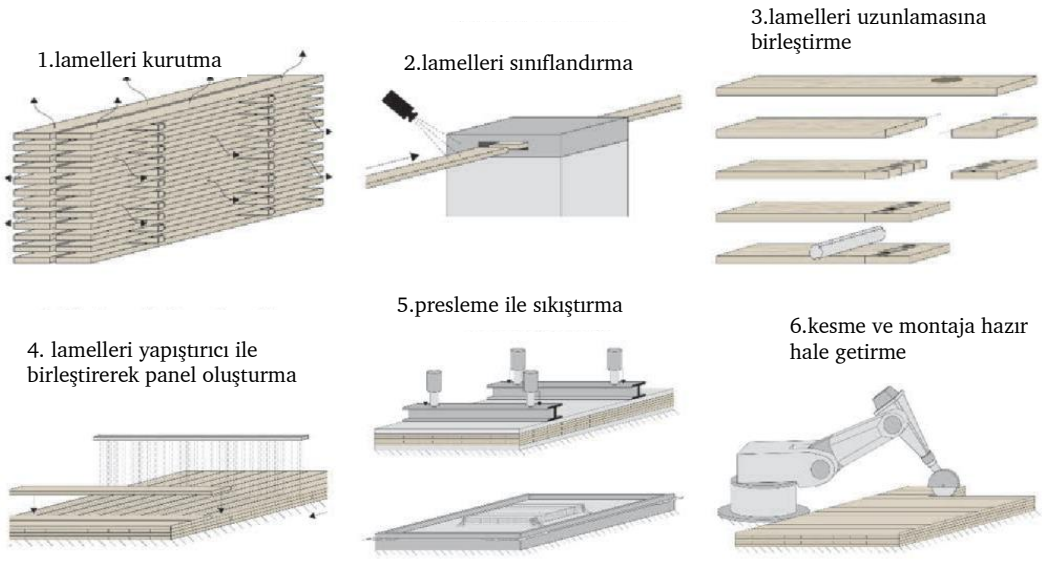



**Şekil 2. 1** Endüstriyel ahşap ürünlerin farklı üretim biçimlerine göre sınıflandırılması (Fleming 2017).

### 2.1.1 Çapraz Lamine Ahşap (Cross Laminated Timber-CLT)

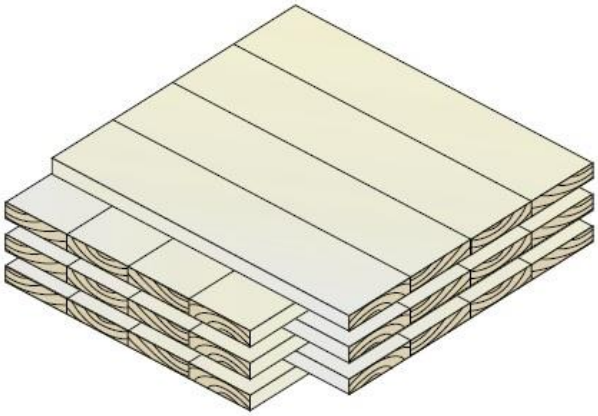
CLT yeni nesil ön üretimli bir malzemedir. Panel kalınlıkları 50 mm ile 600 mm arasında değişmekte, eni ise 0,6 m ile 4 m arasında değişmektedir. Panel boyu ise panelin nakliye imkanlarına bağlı olarak 24 m uzunluğa kadar üretilebilmektedir (Douglas ve Karacabeyli, 2013).

CLT, nem oranı %12'ye kadar düşürülmüş endüstriyel ahşap şeritlerin lif boyunca uzunlamasına kesilip, kesilen şeritlerin birbirine çapraz olarak 90 derecelik açıyla tutkalla yapıştırılmasıyla veya çivi-ahşap dübel benzeri elemanlarla birleştirilmesiyle oluşturulan panellerdir. CLT panellerin üretim süreçleri Şekil 2.2'de gösterilmiştir. CLT ürünleri genellikle tek sayıda katmanlarla üretilir. Üç ile yedi katman arası yaygındır fakat bazı durumlarda ihtiyaca göre katman sayısı daha da fazla olmaktadır. CLT yapımında yaygın olarak ladin, köknar, çam ve karaçam kullanılır (Douglas ve Karacabeyli, 2013; Mohammad vd., 2013).



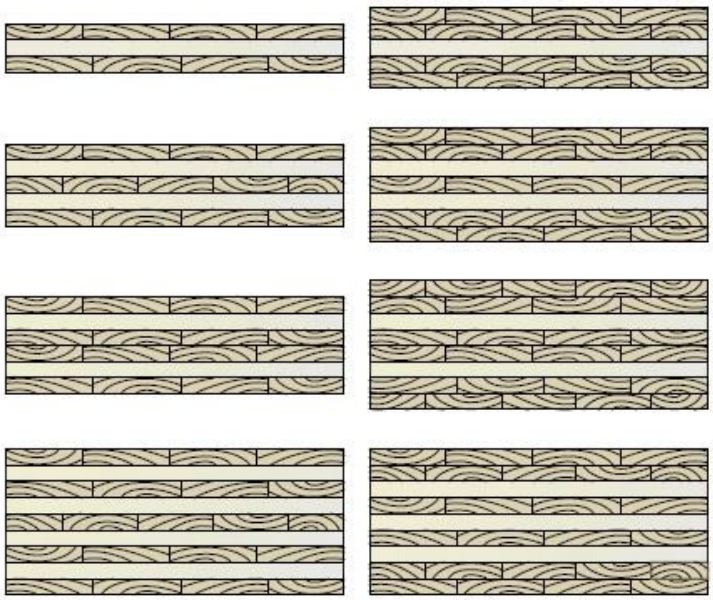

**Şekil 2. 2** CLT panellerin üretim süreçleri (Jeleč, vd. 2018).

Ahşap şeritlerin bir araya gelerek CLT paneli oluşturması sonucu oluşan kesit perspektif Şekil 2.3'te, CLT panel oluşurken tabakaların dizilim örneklerinin kesiti Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



**Şekil 2. 3** Yatay ve düşey şeritlerin birlikte CLT panelleri oluşturması (Douglas ve Karacabeyli 2013).

CLT paneller yapıda taşıyıcı veya taşıyıcı olmayan yapı elemanı olarak kullanılmaktadır. Yapının iç ve dış malzemesi olarak kullanılabilirler. Çoğunlukla dış ve iç duvarlarda, döşemede ve çatı yapımında kullanılırlar.



**Şekil 2. 4** CLT panel tabaka dizilim örnekleri (Douglas ve Karacabeyli 2013).

CLT panellerin yüzeyi kaplanabilir veya olduğu şekilde kaplamadan bırakılabilir. CLT paneller birçok yapı malzemesiyle birlikte kullanılabilir. Yalıtım malzemeleri, cephe kaplamaları, sıva ve boya uygulamaları CLT paneller üzerinde uygulanabilir. Bu sayede ses yalıtımı, ısı yalıtımı, hava döngüsü ve sızdırmazlığı, yangın korunumu gibi özellikleri istenilen düzeyde iyileştirilebilir (Gül ve Mayuk, 2019)

CLT sistemlerin fabrika ortamında üretilirken mekanik ve boyutsal özellikleri geliştirilmiştir. Bunun sonucu olarak daha geniş açıklık geçebilecek ve daha fazla yük taşıyabilecek şekilde üretildiğinden, taşıyıcı sistem yatay ve düşey kuvvetler etkisi altındayken dahi yıkılmadan bir müddet yük taşımaya devam eder. Bu pozitif sonuç, betonarme ve çelik malzemelere sahip yapım sistemleri ile karşılaştırıldığında eşdeğer yangın direnci ve strüktürel dayanım sağlar. Bunlara ek olarak sürdürülebilir olma, daha hafif bir strüktürle üretilebilme gibi nedenlerden dolayı betonarme ve çelik sistemlere üstünlük sağlar. Diğer ön yapımlı sistemlerle karşılaştırıldığında en önemli özelliği ağırlıkça hafif olmasıdır (Douglas ve Karacabeyli, 2013; Yesügey vd., 2015).

### 2.1.2 Tutkallı Lamine Ahşap (Glued Laminated Timber-GLULAM/GLT)

Glulam, ham ahşap malzemeden daha düzgün dağılıma ve daha iyi mekanik özelliklere sahip olan kompozit bir malzemedir (Kitek Kuzman vd., 2010). Glulam

için genelde ladin ve çam kullanılır fakat zaman zaman daha dayanıklı ağaç türlerinden olan karaçam, Douglas köknarı, meşe veya kestane ağacı da kullanılabilmektedir (Structural Timber Association 2014).

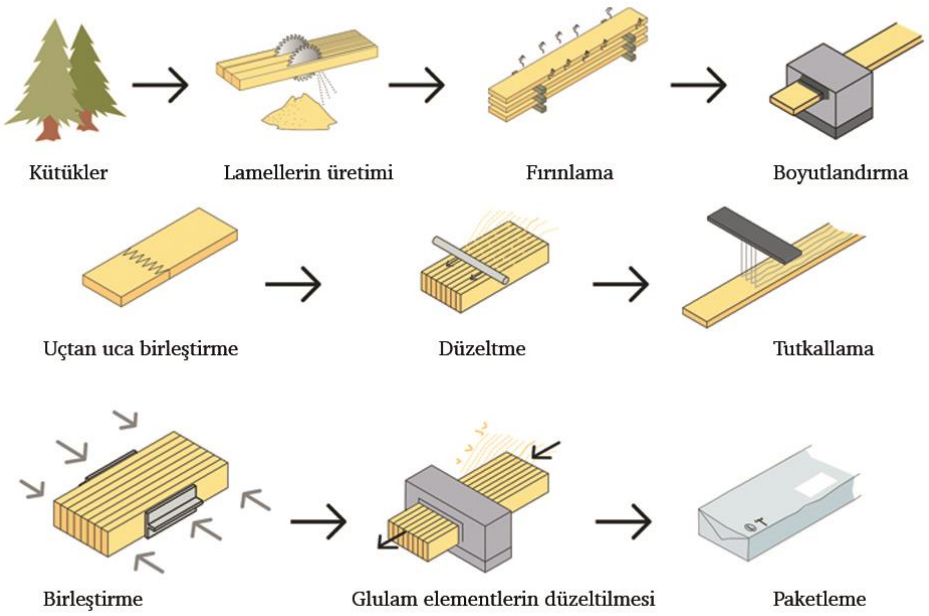
Glulam, lamel olarak adlandırılan uç bölümlerinin kama dişli birleştirme (finger jointed) işlemi ile neme (Porteous ve Kermani 2007), sıcaklığa ve biyolojik etkilere dayanıklı sert bir yapıştırıcı ile paralel bir şekilde birleştirilerek, diğer tabakalarla birbirine yapıştırılması ile üretilir. Genel olarak lameller 19-50 mm kalınlığında, 1,5-5 m uzunluğundadır. Şekil 2.5'te gösterildiği gibi kama dişli birleştirme (finger jointed) işlemiyle uçtan birleştirilir ve daha sonra glulam bileşeni boyunca rastgele yerleştirilir (Kitek Kuzman vd., 2010; Porteous ve Kermani, 2007).



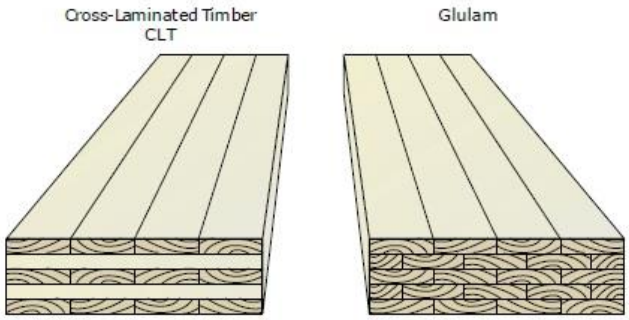
**Şekil 2. 5** Kama dişli birleştirme (finger jointed) işlemi (Ong 2015).

Glulam yapıda, CLT'de olduğu gibi iç ve dış yapı elemanı olarak kullanılabilir. Yapıdaki kolon ve kirişlerin yapımı esnasında glulam sıklıkla kullanılır. CLT ve glulamın dizilim doğrultuları farklı şekillerdedir. Glulam üretim şeması Şekil 2.6'da CLT ile glulamın dizilim doğrultusu farkı Şekil 2.7'de gösterilmiştir.

Keresteler uçtan uca birleştirildiği için, glulamın büyüklüğü üretim tesisinin ve nakliye sisteminin kapasitesiyle sınırlıdır. Glulam; diğer ahşap yapı malzemeleriyle de karşılaştırıldığında, boyut kabiliyeti, mimari etki, enine kesitlerde çeşitlilik sağlama ve çevre üzerindeki olumlu etkileri ile belirgin avantaja sahiptir (Stark vd., 2010)




**Şekil 2. 6** Glulam üretim şeması (Sweedish Wood 2016).

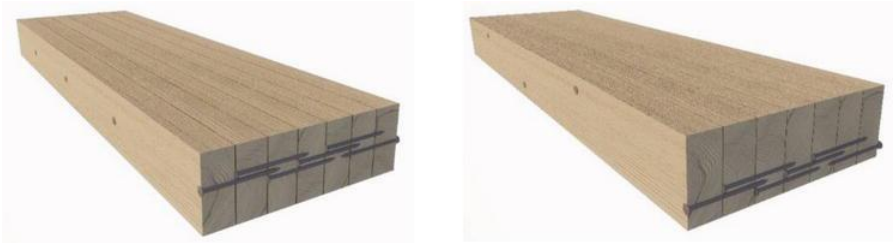



**Şekil 2. 7** CLT (iki yönlü dizilim)- glulam (tek yönlü dizilim) (Douglas ve Karacabeyli 2013).

### 2.1.3 Çivili Lamine Ahşap (Nail-Laminated Timber-NLT)

Kerestelerin geniş yüzeyleri birbiri üzerine gelecek şekilde boyuna tabakalanıp çivilenmesi ya da vidalanması ile oluşturulan yapı elemanına çivili lamine ahşap denir (Gong 2019).

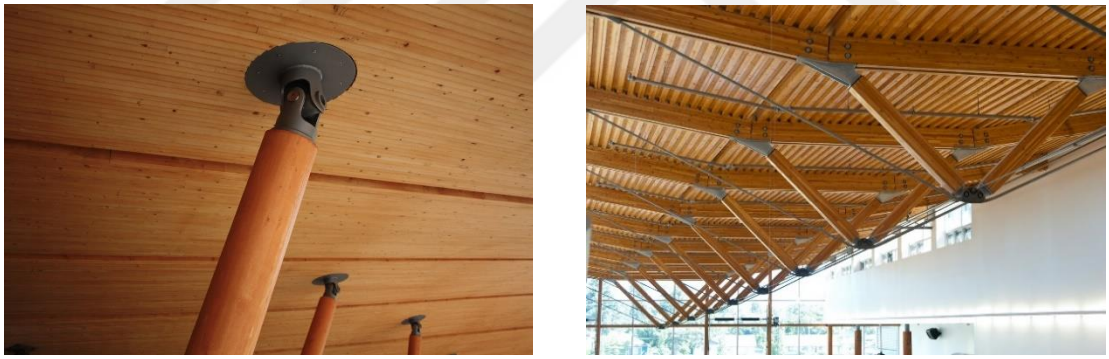
NLT paneller ön yapımlı olarak üretilmekte ve daha sonra şantiye alanına taşınmaktadır. Panel boyu genellikle 3-8 m uzunluğundadır fakat bu boyut nakliye imkanına göre değişiklik göstermektedir (Şekil 2.8) (Gong 2019).



**Şekil 2. 8** NLT kesiti (Gong 2019).

NLT, çoğunlukla döşemelerde (genellikle zemin kat) ve çatılarda kullanılır. Bunu yanında duvar yapımında, asansör ve merdiven boşluğunun yapımında da kullanılabilmektedir (StructureCraft 2022a). NLT'nin kullanımına örnekler Şekil 2.9'da gösterilmiştir.

NLT panellerin yangın dayanımı oldukça yüksektir. Yerinde üretime uygundur ve içinde bulunan çiviler, sürekli veya geçici dinamik kuvvetlerden kaynaklanan enerjiyi sönümleme yeteneğine sahiptir. Bu sürekli veya geçici dinamik kuvvetlere karşı dirençli olması sebebiyle, genellikle endüstriyel yapıların zemin katlarında yaygın olarak kullanılır (Gong 2019).



**Şekil 2. 9** NLT malzemenin kullanım alanlarına örnekler (StructureCraft 2022a).

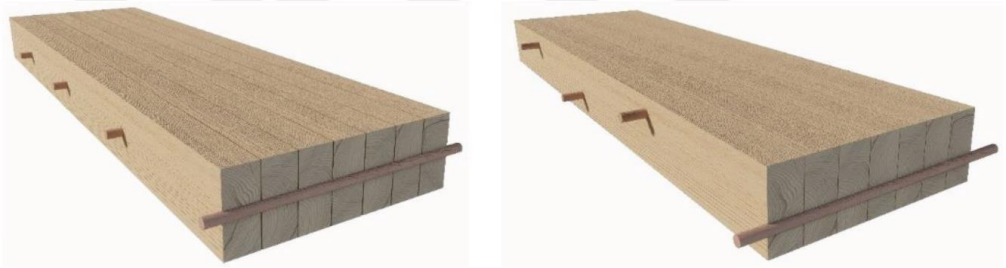
Çivili olmasından dolayı ise üretim süreci diğer ahşap malzemelere göre daha zordur. Tutkal yerine çivilerle perçinlediği için tekrar işlenmesi ve geri dönüştürülmesi oldukça zordur. Bu sebeple, sürdürülebilirlik açısından diğer ahşap malzemelere göre elverişsizdir (Gong 2019).

### 2.1.4 Dübelli Lamine Ahşap (Dowel-Laminated Timber-DLT)

DLT, duvar, döşeme ve çatılarda kullanılabilen bir masif ahşap üründür. Avrupa'da "Dübelholz" ya da "Brettstapel" olarak adlandırılmaktadır (StructureCraft 2019).

DLT masif ahşap paneller; daha önceden frezelenmiş levhaların, köşelerinden dübeller ile birleştirilip bir araya getirilmesiyle oluşturulur (Şekil 2.10). Bu oluşturulan panel yatay açıklıklara karşı daha etkilidir ve daha esnek mimari tasarım imkanları sunmaktadır (StructureCraft 2019).

DLT, laminasyon yöntemi olarak NLT'ye benzemektedir fakat bağlantı elemanları farklıdır. NLT'de çivi ve vidalar birleştirme elemanı olarak kullanılırken, DLT'de birleştirme işlemi dübellerle sağlanmaktadır. DLT, 38 mm kalınlığında ve 89, 140 veya 184mm derinliğinde yumuşak keresteden üretilir. Diğer yapısal ahşap malzemelere oranla çok az miktarda yapıştırıcı içerir ve neredeyse %100 ahşaptan üretilir. Bu sebeple DLT Kuzey Amerika ve Avrupa'da oldukça ilgi görmektedir (Gong 2019).

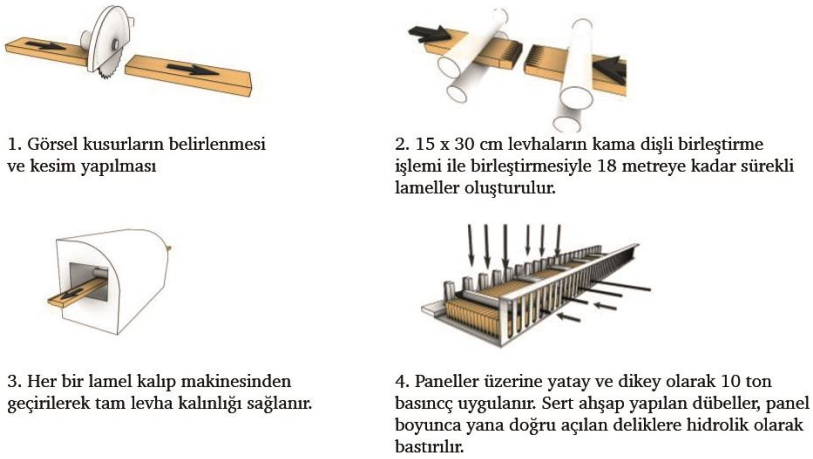


**Şekil 2. 10** DLT kesiti (Gong 2019).

CNC makineler kullanılarak üretilme kolaylığı sayesinde kolaylıkla ön yapımlı olarak olarak üretilebilmektedir. 18m uzunluğa, 4,3m genişliğe ve 76-349mm arasında değişen kalınlığa sahiptir. Üretilme uzunluğu nakliye imkanlarına bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir (Gong 2019).

DLT, döşeme ve çatı uygulamaları için çok uygun bir malzemedir. Duvar paneli, asansör ve merdiven boşluğu yapımında da kullanılabilmektedir. (Şekil 2.13) Mimari tasarımda esneklik sağlar (Gong 2019).

Panellerin üretim aşamaları Şekil 2.11'de gösterilmiştir.




**Şekil 2. 11** DLT panellerin üretim aşamaları (StructureCraft 2019).

### 2.1.5 Lamine Kaplama Ahşap (Laminated Veneer Lumber-LVL)

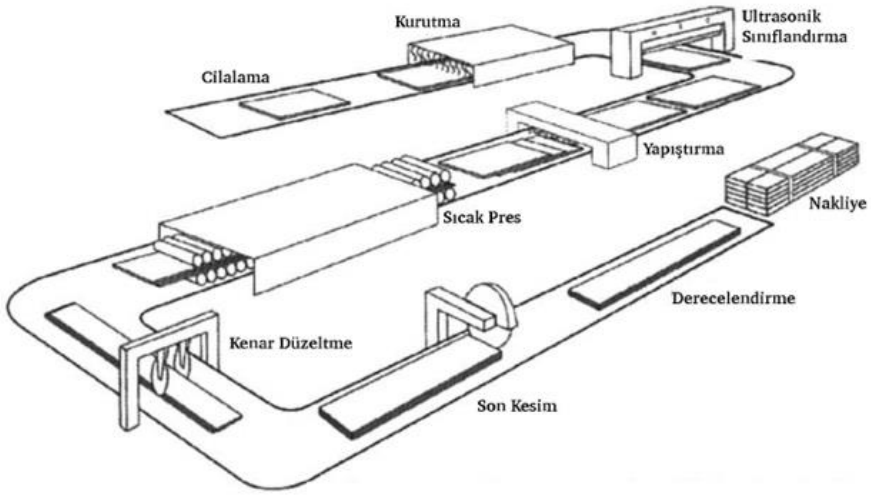
LVL, ince, uzun ve yumuşak ahşap şeritlerin, ısı ve basınç altında, liflerine paralel kesitleri boyunca lamine edilerek birleştirilmesiyle üretilen endüstriyel bir ahşap yapı elemanıdır. Bazı durumlarda, boyutsal rijitliği artırmak için çapraz yönlü lifler de kaplamalara dahil edilir (Structural Timber Association 2014)

LVL panelleri oluşturan kaplamaların kalınlıkları genellikle 2,5mm–6,4mm arasındadır fakat çoğunlukla 3mm–3,2mm arasında kaplama kalınlığı kullanılmaktadır. LVL kalınlıkları genellikle 19mm–45mm arasında üretilmektedir. Genişliği 1,8m'ye kadar olabilirken, uzunluğu ise 24m'ye kadar üretilebilmektedir (Sizüçen 2008).
LVL ürünlerin üretim aşaması Şekil 2.12'de, LVL ürünler Şekil 2.13'te gösterilmiştir.

İç mekânda hem duvar paneli ve döşeme paneli olarak hem de kiriş ve kolon olarak kullanılabilir. Aynı zamanda çerçeve sistem, merdiven kirişi ve basamağı, çatı merteği, çatı kaplama altı tahtası ve modül olarak kullanılabilmektedir (Hakkarainen vd. 2019; Structural Timber Association 2014).

LVL güçlü, yüksek güç taşıma kapasitesine sahip sağlam bir malzemedir, minimum sapma ile uzun açıklıklar geçilebilir. Geniş açıklıklar geçmek için kullanılabilmesinden dolayı çok çeşitli bina türleri yapımında kullanılabilir. Güçlü bir malzeme olmasıyla birlikte hafiftir. Eğilme ve eksenel yüklere veya her ikisinin

kombinasyonuna direnci oldukça yüksektir (Hakkarainen vd. 2019; Structural Timber Association 2014).




**Şekil 2. 12** LVL'nin üretim aşamaları (Wood Skyscrapers 2022).



**Şekil 2. 13** LVL ürünler (Robelbois Depuis 2022).

### 2.1.6 Paralel Yonga Ahşap (Parallel Strand Lumber-PSL)

PSL, ahşap kaplamalardan, genellikle 3,2 mm kalınlığında, 20mm genişliğinde ve 3m uzunluğa kadar uzun ince şeritlerin kesilmesiyle üretilen ahşap bir yapı elemanıdır. Standart boyutu 68, 89, 133 ve 178mm kalınlığında ve 241, 302, 356, 457 ve 476mm derinliğindedir. Üretilebilecek maksimum ölçüleri ise 285mmx 488mmx20 m'dir (Ozelton ve Baird 2002; Structural Timber Association 2014)

PSL, Douglas köknarı, çam, sarı kavak gibi ağaç türlerinden elde edilmektedir. PSL, LVL'ye benzer uygulamalarda kullanılır. Özellikle konut, ticaret ve endüstriyel yapılarda sıklıkla kullanılır. İnşaatta yaygın olarak kullanılan PSL uygulamaları arasında, hafif çerçeve sistem yapımında kullanılan başlıklar,

lentolar ve kolon-kiriş çerçeve sistem ana elemanları olan kolon ve kirişler bulunur (Structural Timber Association 2014).

PSL ahşap yapı malzemesi Şekil 2.14'da PSL kullanılarak üretilen kolon-kiriş yapı elemanları Şekil 2.15'te gösterilmiştir.



**Şekil 2. 14** PSL kesiti (Fast+Epp 2022).




**Şekil 2. 15** PSL'nin kolon ve kiriş olarak kullanımı (Weyerhaeuser 2022).

### 2.1.7 Yönlendirilmiş Yonga Levha (Oriented Strand Board-OSB)

OSB, Türkiye'de de yaygın olarak kullanılan yapısal ahşap paneldir. OSB yapımında hızlı büyüyen ağaç türleri hammadde olarak kullanılır bu sebeple orman kaynaklarını verimli bir şekilde kullanmaya imkân veren bir üründür. Üretim sürecinde, ticari değeri olmayan yamuk, budaklı ve deforme olmuş ağaçlar kullanılabilir ve böylece orman kaynaklarından üst düzeyde faydalanılabilir. Genellikle kavak ağacından üretilir (Canadian Wood Council 2020).

OSB, küçük çaplı dilimlenmiş kereste parçacıklarının, ince ahşap yongaların ve ince küçük parça levhaların ısı ve basınç altında özel bir yapıştırıcı (%95 ahşap, %5 reçine ve mum içeren) ile yapıştırılması ile elde edilir. OSB imalatında kullanılan levhalar veya şeritler genellikle damar yönünde 150 mm uzunluğa, 25

mm genişliğe ve 1 mm'den az kalınlığa sahiptir (CWC, 2022; Porteous ve Kermani, 2007), OSB levha örneği ve bir yapıda kullanılması Şekil 2.16 'da gösterilmiştir.



**Şekil 2. 16** OSB levha ve OSB panellerle inşa edilmiş bir yapı (Canadian Wood Council 2020).

OSB paneller öncelikli olarak çatı, duvar ve zemin kaplaması olarak kullanılır ve betonarme duvarlarda yanal yüklere direnmek için temel bir yapısal bileşen olarak görev alır. Yalıtımlı paneller için cephede, dış cephe kaplama malzemesi olarak da kullanılabilir. Çivi ve vida tutma özelliği oldukça gelişmiştir (Canadian Wood Council 2020)

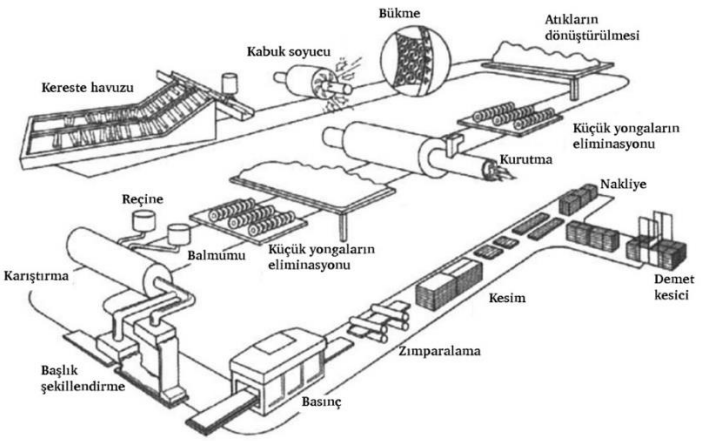
Yapısal performansının yüksek olması ile birlikte maliyeti düşüktür. Parçalanmaya ve bükülmeye karşı dayanım gücü yüksektir ve yapısal olarak kararlı bir malzemedir. Rüzgâr ve deprem gibi yatay ve düşey yüklere maruz kaması durumunda, kararlı bir şekilde şekil bozukluğuna uğramadan bu yüklere karşı direnç gösterebilir. Hafiftir, nakliyesi ve montajı kolaydır (Canadian Wood Council 2020).

### 2.1.8 Lamine Yonga Ahşap (Laminated Strand Lumber-LSL) ve Yönlendirilmiş Yonga Ahşap (Oriented Strand Lumber-OSL)

OSL ve LSL üretim biçimi olarak OSB'ye benzer. LSL'nin üretimindeki şerit yongaların uzunlukları 3 m'ye kadar ulaşırken, kalınlıkları 0,7mm–1,2mm kadardır. Uzun şerit yongalar bitmiş ürünün uzunluk yönüne göre paralel şekilde dizilir ve bu sebeple LSL ile üretilen malzemenin uzunluk yönündeki direnci yüksek olmaktadır. Genelde hızlı gelişen kavak ve söğüt gibi ağaç tomrukları kullanılır. LSL'nin birleştirme malzemeleri ile oluşturduğu m,ekanik birleşme

direnci mükemmeldir. Masif haldeki keresteden daha yüksek dirence sahiptir (Stark vd. 2010).

LSL malzemenin üretim aşamaları Şekil 2.17'de gösterilmiştir.




**Şekil 2. 17** LSL üretim aşamaları (American Wood Council 2022).

LSL ve OSL malzeme ürünler Şekil 2.18 'de gösterilmiştir.



(a) (b)

**Şekil 2. 18** LSL ve OSL ürünler (a): (Canadian Wood Council 2022), (b): (Canadian Wood Council 2019).

OSL, konut, ticari ve endüstriyel inşaat için yapısal ahşap ürün olarak kullanılır. OSL'nin inşaattaki yaygın uygulamaları arasında kiriş başlıkları, kirişler, duvar dikmeleri ve ahşap doğramalar bulunur. OSL ayrıca iyi bir bağlantı elemanı olarak da kullanılmaktadır. LVL ve diğer yapısal kompozit kereste ürünlerine benzer şekilde, LSL kirişler ve başlıklar için ideal bir yapısal çözüm oluşturmaktadır. LSL ayrıca merdiven üretiminde de kullanılmaktadır (Canadian Wood Council 2019) LSL malzemenin kullanım alanlarına örnekler Şekil 2.19'da gösterilmiştir.




**Şekil 2. 19** LSL malzemenin kullanım alanlarına örnekler (Forest Products Supply Co. 2022).

### 2.1.9 Yapısal Kompozit Ahşap (Structural Composite Lumber-SCL)

SCL, içerisinde LVL, PSL, LSL ve OSL malzemelerini bir arada barındıran mühendislik ürünü kompozit bir yapısal malzemedir. SCL ahşap malzemesinde her bir kaplama tabakası aynı yönde ilerler. SCL bir dizi standart boyutta üretilmektedir. Genellikle 45mm kalınlıkta üretilir. SCL elemanlarının tipik derinlikleri 241-606 mm arasında değişir. Tekli SCL elemanları, daha uzun kirişler oluşturmak için birbirine çivilenebilir veya cıvatalanabilir. Genel olarak, SCL 20 m'ye kadar uzunluklarda üretilmektedir (APA 2019)

Kirişlerde, kiriş başlıklarında, dikme yapımında ve kolon yapımında sıklıkla kullanılır (Şekil 2.20) (APA 2019).

Birçok ahşap malzemenin bir araya gelmesiyle üretilen kompozit bir ahşap ürün olan SCL, yüzeyden ve köşelerden gelen yüklere karşı normal keresteye oranla daha iyi performans gösterir. Bükülme ve yarılma oranı oldukça düşüktür ve son derece sağlam bir ahşap yapı ürünüdür (APA 2019).



**Şekil 2. 20** SCL kirişler (APA 2019).

### 2.1.10 Masif Kontrplak Panel (Mass Ply Panel-MPP)

MPP; CLT'ye alternatif olarak tasarlanan, büyük ölçekli ve kompozit bir ahşap yapı malzemesidir. MPP panelleri oluşturmak için kullanılan her 25,4 mmlik lamel, her bir katı yaklaşık 3 mmlik ince katmanların dokuz kat birleştirilmesiyle elde edilmiştir (Şekil 2.21). Bu ince katmanlar, ahşabın dayanım gücünü ve boyutsal kararlılığını artırmak için tasarlanmış ve yönlendirilmiştir. Bu sayede MPP, benzer boyutlardaki CLT panellerden daha iyi performans gösterebilmektedir (Freres Lumber 2022).

Üç yıl süren araştırmalar ve yapılan testler sonucunda Kanada ve Amerika'da patenti 2019 yılında alınmıştır ve 18 kata kadar olan çok katlı binalarda kullanımı onaylanmıştır. MPP kontrplağa oldukça benzer fakat büyük ölçekte istenilen şekil ve boyutta hazırlanabilmesi ile kontrplaktan ayrılır (Şekil 2.22) (Freres Lumber 2022).



**Şekil 2. 21** MPP kesiti (Freres Lumber 2022).

Yapılarda ana malzeme olarak kullanılabilmekle birlikte, çelik ve betonarme iskelet yapılarda çatı, duvar ve döşeme elemanı olarak da kullanılabilen bir üründür. Zemin bütünlüğü bozulmadan, iki saat yangın dayanım performans derecesi testini geçerek yangın direnimi konusundaki gereksinimleri karşılamış ve oldukça sağlam bir malzeme olduğu kanıtlanmıştır (Freres Lumber 2022).

MPP; CLT malzemeye benzer özellikler gösterdiğinden dolayı, APA standart kılavuzunda CLT'nin özelliklerinin bulunduğu standart ile tanımlanmaktadır. (ANSI/APA PRG 320) (Freres Lumber 2022).



**Şekil 2. 22** MPP panellerle yapılmış Mass Plywood Pavyonu (Lever Architecture 2022)

### 2.1.11 Ahşap-Beton Kompozit (Timber-Concrete Composite-TCC)

TCC, mevcut olan yapıların ya da yeni yapılan yapıların rijitliğinin daha iyi hale getirilmesi için yaygın olarak kullanılan yapısal ahşap bir üründür. Mevcutta bulunan ahşap kirişin veya yeni yapılmakta olan bir ahşap kirişin, ahşap döşeme üzerine dökülen beton bir levha ile bir bağlantı sistemi kullanılarak birleştirilmesiyle oluşturulur (Ceccotti 2002)

TCC yapı elemanlarının tarihsel gelişimine bakıldığında, bu elamanların geliştirilmesi yaklaşık 100 yıl önce Almanya'da başladı. Mevcut ahşap yapıların yenilenmesi ve güçlendirmesi amaçlanmıştır. Geçmişte daha çok döşeme ve köprü yapmak için kullanılırken, yirmi birinci yüzyılda ise restorasyon ve renovasyon projelerinde çokça rastlanmaktadır. Geniş açıklıklı köprü ve yapı tasarımında oldukça yararlı bir malzemedir (Dias ve Jorge, 2011; Rodrigues vd., 2013)

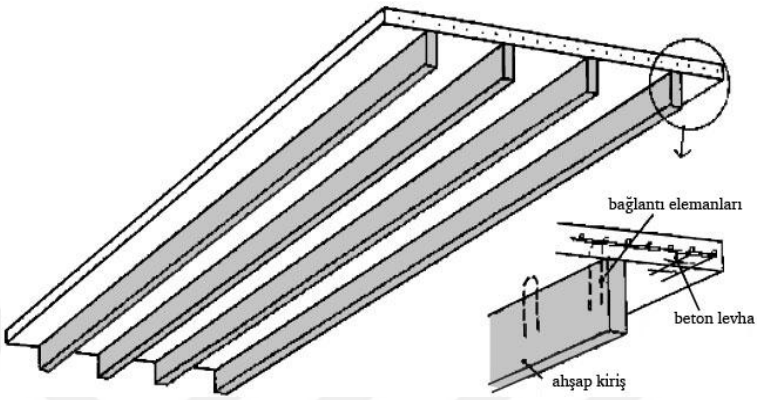
TCC'nin kullanımına bir örnek Şekil 2.23'te gösterilmiştir.



**Şekil 2. 23** LCA One'da kullanılan TCC döşeme, yapının tamamlanmış hali (Rhomberg Ventures 2022).

TCC malzemenin üretiminde ve kullanımındaki amaç, iki malzeme arasında kompozit bir bağ ve bir etki yaratarak daha yüksek verimlilik elde etmektir. Beton

malzeme basınca, ahşap ise çekme ve eğilmeye karşı dayanıklıdır (Şekil 2.24). TCC'de bu iki malzemenin üstün özelliklerinden faydalanılır ve her iki malzemenin mukavemet ve rijitliğinin en üstün olduğu durum bu sistemde kullanılarak ahşap zeminlere göre daha yüksek performanslı bir ürün elde edilir (Ceccotti, 2002; Tannert vd., 2020).




**Şekil 2. 24** TCC kesiti (Ceccotti 2002).

TCC'nin ahşap kısmı masif ahşaptan, LVL'den, CLT'den veya glulamdan yapılabilir. Ayrıca döşeme tipine göre bu ahşap malzemeler, kiriş veya levha olmalarına bağlı olarak yatay (birbirinin üzerine yerleştirilmiş) ya da dikey (yan yana yerleştirilmiş) olarak yönlendirilirler (Ogrin ve Hozjan, 2021). TCC'de kullanılan beton, genellikle normal ağırlıkta betondur. Betonun büzülmesinden dolayı çatlamasının önüne geçmek için az miktarda çelik donatılar ile güçlendirilir (Steinberg vd., 2003)

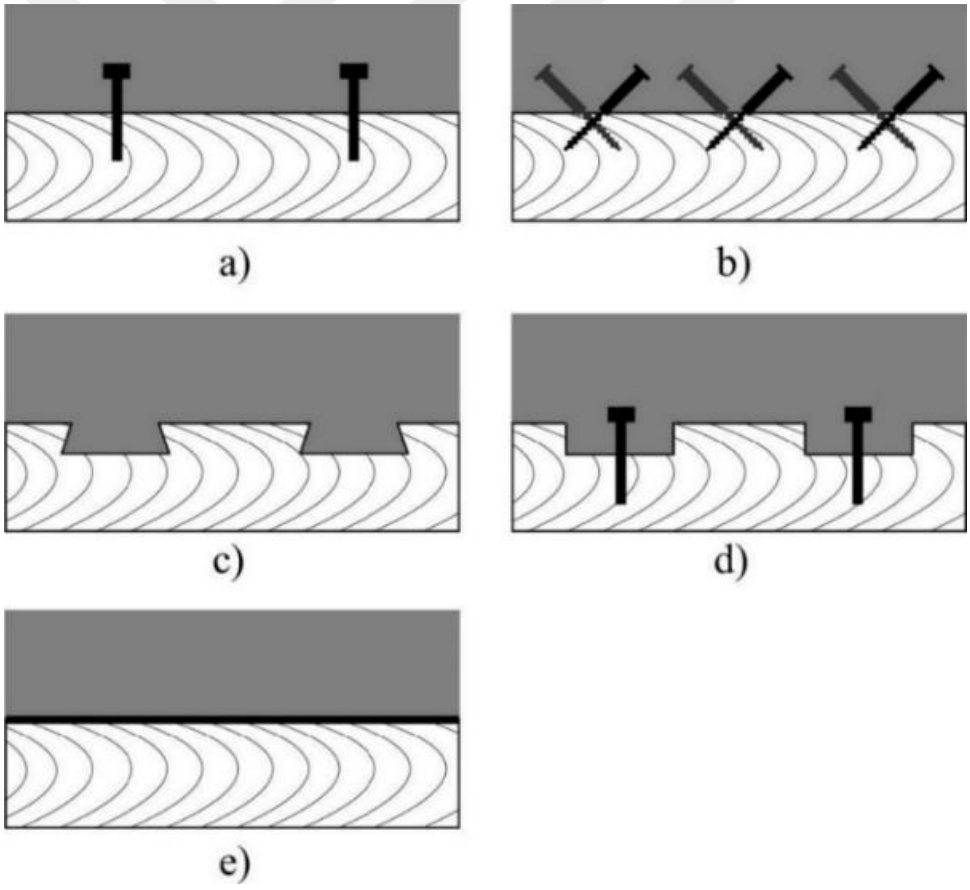
Ahşap ve beton birbirine genellikle mekanik bağlantı elemanları ile bağlanır. Alternatif olarak ise betonu ahşaba yapıştırmak için özel yapıştırıcılar kullanılır ve neredeyse mükemmel rijit bir bağlantı oluşturulabilir. Bu birleştirme tekniklerine hibrit kombinasyon adı verilir. Mekanik bağlantı elemanları; çiviler, vidalar ve civatalardır (Dietsch ve Brandner, 2015; Tannert vd., 2020).

Her biri başka bir avantaja sahip olarak geliştirilen çeşitli bağlantı şekilleri aşağıda örneklenmiştir:

- Dübel tipi bağlantı elemanları arasında dübeller, vidalar, eğimli vidalar, çiviler ve diğer metalik konektörler bulunur. Eğimli vidalar hariç, dübel tipi bağlantı elemanları, en düşük sertlik ve en büyük sünekliğe sahip bir

bağlantı sistemini temsil eder (Şekil 2.25-a), (Şekil 2.25-b) (Dias ve Jorge, 2011).

- Yapıştırılmış bağlantıların mukavemeti aşıldığında, gevrek kırılma yaşarlar. Avantajları, çok sert olmaları ve neredeyse tam birleşmeye olanak tanımalarıdır. Ayrıca, kesme kuvvetlerinin eşit dağılımını sağlarlar ve ahşabın prefabrike beton levha ile bağlantısı için kullanılabilirler (Şekil 2.25-e) (Dietsch ve Brandner, 2015).
- Çentiklerin çeşitli şekillerde (dikdörtgen, dairesel, dikey kenarlı veya eğimli kenarlı…) olabildiği çentikli bağlantılar en kırılgan bağlantılardandır. Çentikli bağlantının sünekliği, girintiye bir çelik bağlantı elemanının (dübel veya vida) eklenmesiyle büyük ölçüde iyileştirilir (Şekil 2.25-c), (Şekil 2.25-d) (Dias ve Jorge, 2011).




**Şekil 2. 25** TCC bağlantı tipleri: (a) Dübel ile bağlantı, (b) İki sıra halinde 45° çakılmış vidalarla bağlantı, (c) Eğimli kenarlarla çentikli bağlantı, (d) Dikey kenarlar ve dübellerle çentikli bağlantı (Ogrin ve Hozjan, 2021).

Şekil 2.26'da TCC'nin, beton ve NLT ile birleşiminden bir kesit gösterilmiştir.



**Şekil 2. 26** Ahşap beton hibrit döşeme (NLT ile) (StructureCraft 2022b).

Mimari tasarım açısından ele alındığında, betona göre daha doğal görünümlü bir malzeme olduğu için Avrupa'da sıklıkla tercih edilmektedir. Karakteristik görünümünden dolayı genellikle olduğu gibi görünür şekilde bırakılır (Ogrin ve Hozjan, 2021).

TCC yapı elemanlarına sahip binaların tasarımı ve yapımı, ekolojiye ve sürdürülebilirliğe katkıda bulunabilir. TCC döşeme sistemi yeni yapılarda kullanılabildiği gibi mevcut olan yapıların iyileştirilmesinde ve güçlendirilmesinde de kullanılır. Bunun sonucu olarak yenilenen ve güçlendirilen yapıların ömrü uzar ve sürdürülebilirliği artar (Ogrin ve Hozjan, 2021).

Betonarme ile inşa edilen yapılarla karşılaştırıldığında, daha fazla oranda ahşap ve daha az oranda beton içerdiğinden daha doğal ve ekolojiktir. Yenilenebilirdir ve çoğunlukla tekrar tekrar kullanılabilir.

Karbon ayak izi; bir kurum, bir olay, bir ürün veya bir kişinin neden olduğu sera gazı emisyonlarının karbondioksit eşdeğeri ifade edilen toplamı olarak tanımlanır. Çeşitli araştırmalar, ahşap esaslı yapıların, karşılaştırılabilir ısıtma ve soğutma gereksinimlerine sahip beton yapılarla karşılaştırıldığında, yaşam döngüleri boyunca genellikle daha düşük karbon ayak izine ve daha düşük enerji tüketimine (yani daha düşük yerleşik enerji) sahip olduğunu göstermiştir (Nässén vd., 2012).

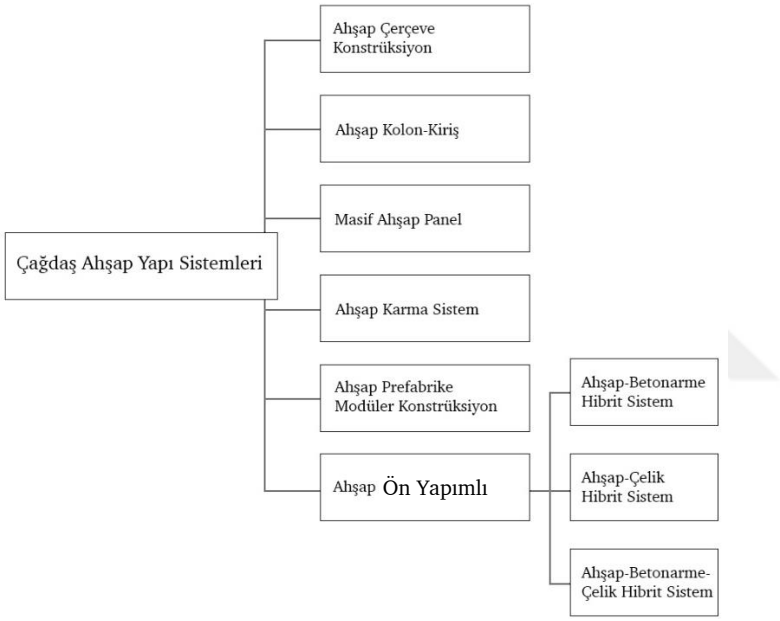
Beşikten mezara çevresel performans üzerine yapılan araştırmalar da ön yapımlı TCC duvar elemanları için çok düşük karbon ayak izi ve yerleşik enerji değerlerini doğrulamıştır (Fortuna vd., 2017).

## 2.2 Çağdaş Ahşap Yapım Sistemleri

Çağdaş ahşap yapılar, daha önceki kısımda açıklanan çağdaş endüstriyel ahşap malzemelerin birlikte veya ayrı kullanılmasıyla inşa edilir. Kullanılan farklı çağdaş endüstriyel ürünler, farklı yapı sistemlerini oluşturur.

Ön üretim, yapıyı oluşturan elemanlarının üretiminin ve ön montajının fabrika ortamında şantiyeden uzak yapılması ve montaj edilmek üzere şantiyeye taşınmasıdır.

Çağdaş ahşap yapı sistemlerinin kullanılan malzemelerin çeşidine göre sınıflandırılması aşağıdaki gibidir (Şekil 2.27).




**Şekil 2. 27** Çağdaş ahşap yapım sistemlerinin kullanılan malzemelere göre sınıflandırılması.

Çağdaş ahşap yapım sistemlerinin olumlu yönleri (ARUP 2019):

- Kerestenin fabrika ortamında CNC makineler tarafından kolay işlenebilmesi, birleştirme-laminasyon işlemlerinin kolay olması bu sistemler için büyük bir avantaj olmuştur ve çeşitli ön üretimli ahşap malzemelerin üretilebilmesinin önünü açmıştır.
- Ahşap malzemelerin hafif olması ve montajının kolay olması modüler olarak üretilmelerine olanak sağlar bu da ön üretim için oldukça uygundur.

- İnşaat ve montaj sürecinin hızlı olması yapım maliyetlerini düşürmektedir. Masif ahşaptan üretilen bir yapı, aynı yapının betonarme ile yapılmasına oranla yaklaşık olarak %25 daha hızlı yapılabilmektedir (ARUP 2019; ThinkWood 2020).
- Ahşap kolaylıkla geri dönüştürülebilir ve yeniden kullanılabilir bir malzemedir (ARUP 2019; ThinkWood 2020).
- Ön üretim sayesinde öngörülebilir üretim performansı sağlanır.
- Isı yalıtımı, ses yalıtımı ve yangın dayanımı açısından oldukça üstün bir malzemedir.
- İnsan sağlığı ve ekolojik çevre açısından olumlu yönde etkilidir (ARUP, 2019; Pierobon vd., 2019).

şeklinde sıralanabilir.

### 2.2.1 Ahşap Çerçeve Konstrüksiyon Yapım Sistemi

Ahşap çerçeve konstrüksiyon sistemi balon çerçeve sistem (en fazla iki kat) ve platform çerçeve sistem (ikiden fazla kat) tekniği olmak üzere iki farklı şekilde kurulmaktadır. Balon çerçeve sistemde genellikle hafif keresteler kullanılır ve yapılacak binanın kat yüksekliğinde duvar çerçeveleri oluşturulur. Keresteler birbiriyle çiviler yardımıyla birleştirilir (Allen E. vd., 2017).

Balon çerçeve sistemler ile en fazla iki kat inşa edilebildiği için daha çok müstakil konut yapımında tercih edilmektedir. Ahşap kerestelerin, kat yüksekliğinde üretilmesi gerektiği için nakliye imkanları kısıtlandığından prefabrike üretime uygun değildir (Öztank N. 2004).

Dikey elemanlar yapı yüksekliği boyunca kullanıldığı için, yangın durumunda yangın tüm yapıyı kolayca sarmaktadır. Bu sebepten dolayı balon çerçeve sistemin yüksek katlı yapılarda kullanılamayacağı ön görülmüştür.

Platform çerçeve sistemde ise dikmeler tüm yapı boyunca değil kat boyunca devam eder ve bir sonraki kata gelindiğinde araya platformdan bir çerçeve oluşturulur ve döşeme bu platform çerçevelere yaslandırılır. Sonraki katta dikme yeniden devam

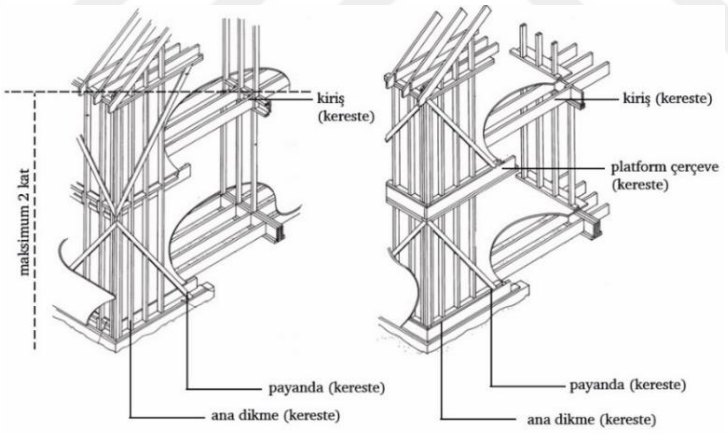
Genellikle konut yapılarında ve ofis yapılarında kullanılır. İki kattan fazla yapılar yapmak için uygundur. Yirmi birinci yüzyılda yedi kata kadar olan yapılar bu

sistemle inşa edilebilmiştir. Ön yapımlı olarak üretilebilir (American Wood Council 2001).

Platform çerçeve sistem, balon çerçeve sistemin yangın yayılma potansiyelini ortadan kaldırmıştır. Yatay ve düşey dikmeler arasına gömülü sprinklerler, alçı duvar panelleri, katlar arasında platform çerçeveyle birlikte döşemenin bulunması ve dikmelerin zeminden en tepeye kadar devam etmemesi, alevlerin yayılmasını etkili bir şekilde durdurmakta ve bir yangın durumunda üst kattaki kullanıcılara yangından kaçmak için yeterli zaman vermektedir (Sun Jianlin J. 2016).

Balon çerçeve ve platform çerçeve sistemlerin kesit perspektifleri Şekil 2.28'de gösterilmiştir. Balon çerçevede ana dikmelerin yapı boyunca devam ettiği görülürken, platform çerçeve sistemde dikmeler kat ayrımında bölünmüş ve araya çerçeve bir sistem yapılmıştır.

Glulam ve LVL gibi geniş açıklıklar geçilmesine imkân veren, güç dayanımı daha yüksek malzemelerin piyasaya sürülmesiyle platform çerçeve sistemler önemini eskiye oranla yitirmiştir (Borgström E. 2016a).




(a) (b)

**Şekil 2. 28** Balon çerçeve sistem (a), platform çerçeve sistem (b) (American Wood Council 2001).

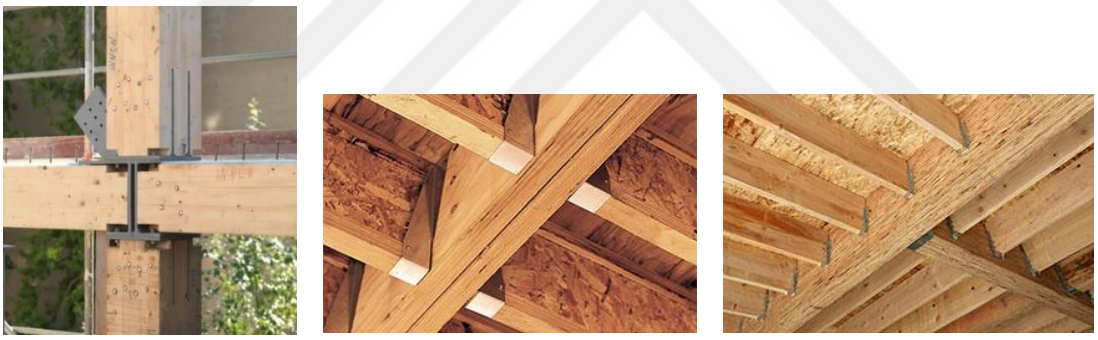
### 2.2.2 Ahşap Kolon-Kiriş Yapım Sistemi

Kolon-kiriş sistemler ahşap yapıların yapımında yaygın olarak kullanılan bir sistemdir. Yapısal elemanlar genellikle glulam, LVL ve PSL gibi yapısal kompozit ahşaptan oluşturulmaktadır (Şekil 2.29). Çünkü bu yapısal elemanlar masif ahşap

malzemelerle karşılaştırıldığında daha fazla yapısal dayanıklılık sağlamaktadır (Gerard ve Barber, 2013).

Büyük kesitlere sahip mühendislik ürünü bu elemanların kullanılması, hafif ahşap çerçeve sistemlere ve ağır masif ahşap sistemlere göre daha geniş açıklık geçilmesine ve daha fazla yükseklikte yapıların yapılmasına imkân sunmaktadır. Geniş açıklıklıklar geçmek için glulam kirişler ekonomik ve avantajlı çözümler sunar. Glulam kirişler ile 80-100 m'ye kadar açıklık rahatlıkla geçilebilir. Ancak bu tarz geniş açıklıklı kirişler konut yapımında kullanılmamaktadır. Bu sebeple ahşap kolon-kiriş sistemler genellikle büyük ticari yapılarda, ofis yapılarında ya da büyük spor salonlarının yapımında sıkça kullanılmaktadır (Gerard ve Barber, 2013; Sweedish Wood, 2016)

150mmx150mm'den büyük kesitli boyutlara sahip kolon ve kirişlerle oluşturulduğu için bu sistem, bazı kaynaklarda ağır çerçeve sistem olarak da adlandırılmaktadır (Gerard ve Barber, 2013).



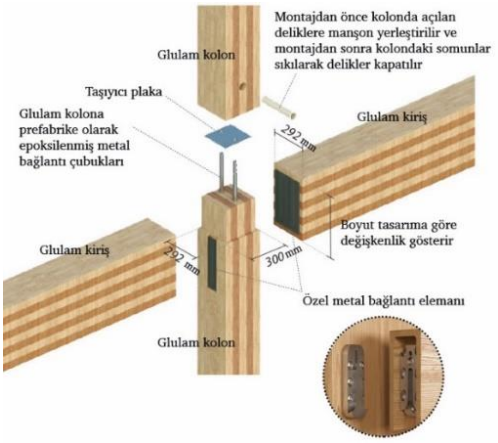
(a) (b) (c)

**Şekil 2. 29** Glulam kolon ve kirişler (a) (Gollwiter ve Linse 2022), LVL kirişler (b), PSL kirişler (c) (APA 2022).

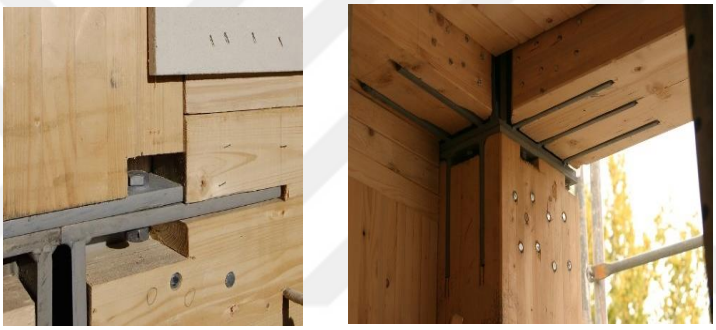
Glulam malzemelerde yangın güvenliği için genellikle ekstra koruma gerekmemektedir. Ayrıca glulam, diğer ahşap ürünlere göre yüksek bir yük taşıma kapasitesine sahip olduğundan dolayı, ağır ahşap kirişleri taşımada kolon elemanı olarak kullanılmaktadır (Şekil 2.30) (Andersson ve Hammarberg, 2015).

Kolon ve kirişler arasında bağlantı elemanı olarak metal veya çelik bağlantı elemanları kullanılır (Şekil 2.30), (Şekil 2.31). Dikme aralarına ise rüzgâr ve depremin neden olduğu yatay kuvvetlere karşı direnç oluşturmak için diyagonal

elemanlar bağlanır (Şekil 2.32). Diyagonal bağlanan bu elemanlar, ahşap veya çelik malzemeler olabilir (Öztank N. 2004).




**Şekil 2. 30** Ahşap kolon-kirişlerin strüktürel kurgusu (Lee 2022)



(a) (b)

**Şekil 2. 31** Ahşap kolon-kirişlerin metal bağlantı elemanları ile bağlanması. (a) (Gollwiter ve Linse 2022),(b) (DIVISARE 2022).



(a) (b)

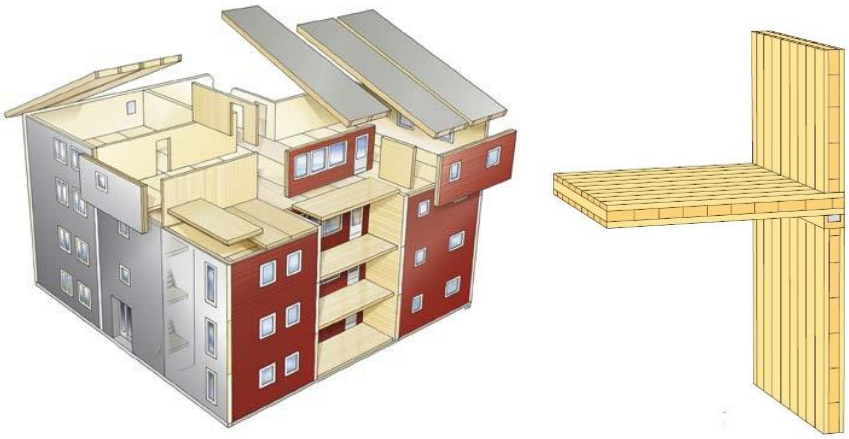
**Şekil 2. 32** Dikmelerin arasının metal çapraz gergi elemanı ile desteklenmesi. (a) (Gollwiter ve Linse 2022), (b) (DIVISARE 2022).

### 2.2.3 Masif Ahşap Panel Yapım Sistemi

Panel sistemler, yatay ve dikey yüklerin, düzenli aralıklarla iki yönde yerleştirilmiş masif duvar paneller tarafından taşındığı sistemlerdir. Bu paneller genellikle CLT, LVL, NLT ve DLT panellerden yapılır (Sweedish Wood 2016; ThinkWood 2020). Taşıyıcı duvarlar hem yatay hem de dikey yüklere karşı dayanıklıdır. Ahşap döşeme, diyafram hareketi ile cepheden gelen yüklerin etkisini dengeleyerek duvarlara eşit şekilde dağıtır (Andersson ve Hammarberg, 2015).

Masif ahşap panel yapılar, beton ve çelik ile inşa edilen sistemlerle benzer yük kapasitesine sahip olmak ve aynı zamanda hafif, dayanıklı ve düşük karbonlu bir yapısal sistem oluşturmak için, bağlantı elemanlarında düşük miktarda çelik ve beton içerebilir (Perkins+Will 2018).

Genellikle duvar, döşeme ve çatı konstrüksiyonlarının yapımında masif ahşap panellerin kullanılmasıyla oluşturulur (Şekil 2.33). Masif panel sistemlerin inşa yönteminde istenen ölçekteki ve yükseklikteki yapılar, kullanılan malzemelerin yapısal özelliklerine bağlı olarak tasarlanır. Duvar ve döşemelerin kalınlık, yükseklik ve uzunluk boyutları belirlenir ve pencere kapı gibi boşluklar da belirlenerek fabrika ortamında ön yapımlı olarak üretilir (Burchell ve Sunter, 1987; Perkins+Will, 2018; ThinkWood, 2020)



**Şekil 2. 33** Masif ahşap panel sistem (Sweedish Wood 2016).

Masif ahşap panel sistemler, yüksek yük taşıma kapasitesi ve iyi ses yalıtımı gerektiren çok katlı konut yapıları için çok uygun bir sistemdir (Andersson ve Hammarberg, 2015).

Ön yapımlı olarak üretildiği için önceden tahmin edilebilir yangın dayanım performansına sahiptir. Yüksek ısı yalıtım derecesine sahip olmasından dolay ısı kaybı düşüktür. Sessiz, güvenli ve inşaat sürecinin verimli olduğu bir şantiye ortamı yaratılmasına imkân sağlar ve düşük karbon ayak izi sunar (Perkins+Will 2014; ThinkWood 2020)

Ahşabın doğal ve sıcak görünümlü bir malzeme olması hem dış hem de iç mekânda mimari olarak estetik bir görünüm ve kullanıcılar için konforlu his oluşturur (Perkins+Will 2018).

CLT panel ile inşa edilmiş bir yapıya örnek Şekil 2.34'te gösterilmiştir.

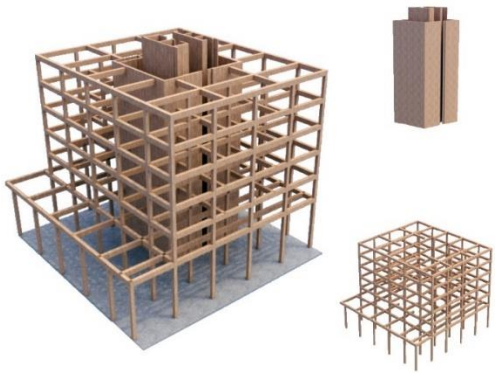


**Şekil 2. 34** CLT panellerle inşa edilmiş 13 katlı Origine Binası, Kanada (Nordic Structures 2022).

### 2.2.4 Ahşap Karma Yapım Sistemi

Farklı ahşap sistemlerin bir yapıda birlikte kullanıldığı sistemlerdir. Ahşap çerçeve sistem, kolon-kiriş sistem, modüler sistem ve panel sistemlerden en az ikisinin birlikte kullanıldığı ahşap tabanlı karma sistemlerdir. Çok katlı bina tasarımı için geliştirilmiş bir sistemdir. Genellikle servis çekirdeği ve döşemeler CLT panellerle, kolonlar ve kirişler glulam ve LVL malzemelerle oluşturulur (Şekil 2.35)

Şekil 2.35 ve Şekil 2.36'da görüldüğü üzere yapının çekirdeği ve döşemesi CLT panellerle, kolon ve kirişleri ise glulam dikmelerle birlikte ön yapımlı olarak üretilmiş ve ahşap karma sistemle oluşturulmuş yapının yerinde montajı



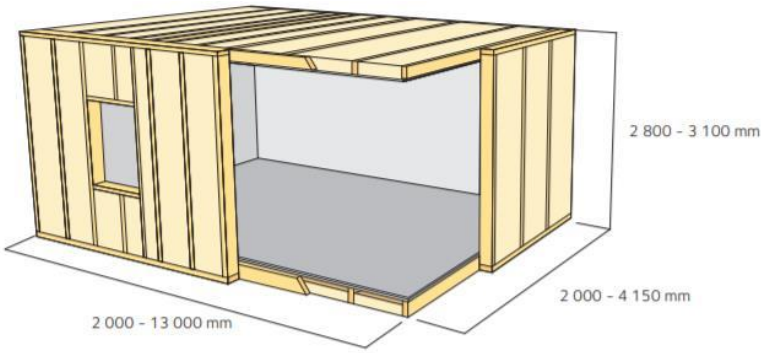
**Şekil 2. 35** CLT panellerle ve glulam kolon kiriş ile yapılmış örnek yapı (Lee 2022).



**Şekil 2. 36** Glulam kolon-kiriş sistem ve CLT döşeme (Lee 2022).

### 2.2.5 Ahşap Ön Yapımlı Modüler Konstrüksiyon Yapım Sistemi

Ön yapımlı ahşap modüler sistemler, şantiye alanında birbiri üzerine monte edilen ve ön yapımlı olarak üretilen modüllerden oluşmaktadır. Hızlıca bir yapı inşa etmek için oldukça ideal bir sistemdir. Bir modül genellikle 8-13 m uzunluğunda, 4.1-4,2 m genişliğinde ve 3,1 m yüksekliğindedir (Şekil 2.37). Nakliye için kullanılacak araçların kapasitesine göre modüllerin boyutları sınırlandırılmaktadır. Modüllerin bir diğer sınırlama, duvarlardaki açıklıkların boyutudur. Dört katlı bir bina için bir açıklığın uzunluğu 3-3,5 m ile sınırlıdır. Bu sınırlama, köşelerde meydana gelen şiddetli kuvvetlere direnme problemlerinden kaynaklanmaktadır (Andersson ve Hammarberg, 2015; Sweedish Wood, 2016)




**Şekil 2. 37** Ön yapımlı ahşap modüler sistem (Sweedish Wood 2016).

Yapısal elemanların yanı sıra, iç mekân elemanları ve çoğu zaman mekanik-elektrik tesisatları ve hareketsiz mobilyalar (mutfak ve banyo dolapları…) fabrikada monte edilir ve nakliye aracına yüklenerek sahaya doğru yola çıkar (Sweedish Wood 2016).

Modüller bağlantı elemanları ile birbirine bağlanırken, modüller arasında akustik amaçlı poliüretan bant veya Xylodyne kullanılmaktadır. Bu sayede akustik yalıtım modüller arasında sağlanmaktadır (Sweedish Wood 2016).

Bu tür bir sistemin kullanılması, yapı tamamlanıncaya kadar mimarı tasarımdan teknik tasarıma kadar tüm süreci kontrol etmek için olanak sağlar. Bu sistem genellikle geniş açıklı gerektirmeyen öğrenci konutları, oteller ve konut birimleri için uygundur. (Sweedish Wood 2016) Norveç'in Bergen şehrinde inşa edilmiş 14 katlı Treet Binası bu sisteme örnek verilebilir (Şekil 2.38).



**Şekil 2. 38** Treet binası (WoodWorks 2022).

### 2.2.6 Ahşap Hibrit Yapım Sistemi

Yirmi birinci yüzyılda giderek daha sık görmeye başladığımız modern ve çok katlı yapıların, özellikle çok katlı konut veya ticaret yapılarının, farklı kullanım işlevlerine olanak sağlayacak şekilde daha esnek olmaları gerekmektedir. Ayrıca bunu sağlarken aynı zamanda yaşam ömürleri boyunca tükettikleri enerjiyi ve buna bağlı olarak atmosfere saldıkları karbondioksit miktarını da azaltmaları gerekmektedir (Loss vd., 2016).

Ön üretime imkân sağlayan ahşap yapı elemanlarının yapıda kullanılması hızlı bir şekilde montajı mümkün kılar, inşaat süresini en aza indirir ve binanın montaj maliyetlerini düşürür. Bu da sürdürülebilirlik açısından olumlu bir özelliktir. Ahşap, betonarme ve çelikle birlikte bir yapının üretiminde kullanılabilir. En az ikisinin veya üçünün birlikte kullanıldığı yapım sistemlerine hibrit yapım sistemleri adı verilmektedir. Bu sistemlerde malzemelerin neden olduğu tekil kısıtlamalar aşılırken, her bir malzemenin yapısal avantajları bir diğer malzeme ile geliştirilerek birlikte kullanılır. Bu sayede deprem dayanımı, yangın performansı, ısı ve ses yalıtımı daha iyi olabilen ve aynı zamanda daha az maliyetli, daha kısa sürede inşa edilebilen, insan sağlığı ve psikolojisi açısından daha verimli ve düşük karbon ayak izli yapılar inşa edilebilir. Ahşap esaslı hibrit yapım sistemlerine ahşap hibrit sistemler adı verilmektedir ve bu yapım sistemi ile çok katlı yapılar inşa edilebilmektedir.

Ahşap esaslı hibrit yapım sistemleri, ahşabın betonarme veya çelik ile birlikte kullanılma durumlarına göre üç farklı alt başlığa ayrılmaktadır.

#### 2.2.6.1 Ahşap-Betonarme Hibrit Sistem

Ahşap ve betonarme yapı elemanlarının bir yapıda birlikte kullanılmasıyla oluşturulan sistemlere ahşap-betonarme hibrit sistemler denir. İki farklı malzemenin kompozit şekilde birlikte çalışma prensibi ele alınarak ahşap-betonarme hibrit sistemli yapılarda, kolon, kiriş, duvar, döşeme ve çatı elemanlarında bu iki malzeme birlikte kullanılabilmektedir.

Ahşap-betonarme hibrit sistemlerde betonarme ile birlikte genellikle CLT, LVL, glulam gibi endüstriyel ahşap malzemeler kullanılır (Şekil 2.39). NLT, DLT, LSL gibi malzemelerin kullanıldığı örnekler de görülmektedir. Dolayısıyla ahşap-

betonarme hibrit sistemlerde geçilebilecek maksimum açıklık, kullanılan malzemenin cinsine ve yapıda kullanıldığı yere göre değişkenlik göstermektedir. Ahşap-betonarme hibrit yapım sistemlerinde kat sınırlaması bulunmamaktadır.

Ahşap-betonarme hibrit sistemlerde kullanılan ahşap yapı sistemleri genellikle; masif ahşap panel sistem, ahşap kolon-kiriş sistem, ön yapımlı modüler konstrüksiyon sistem ve ahşap karma sistemdir.

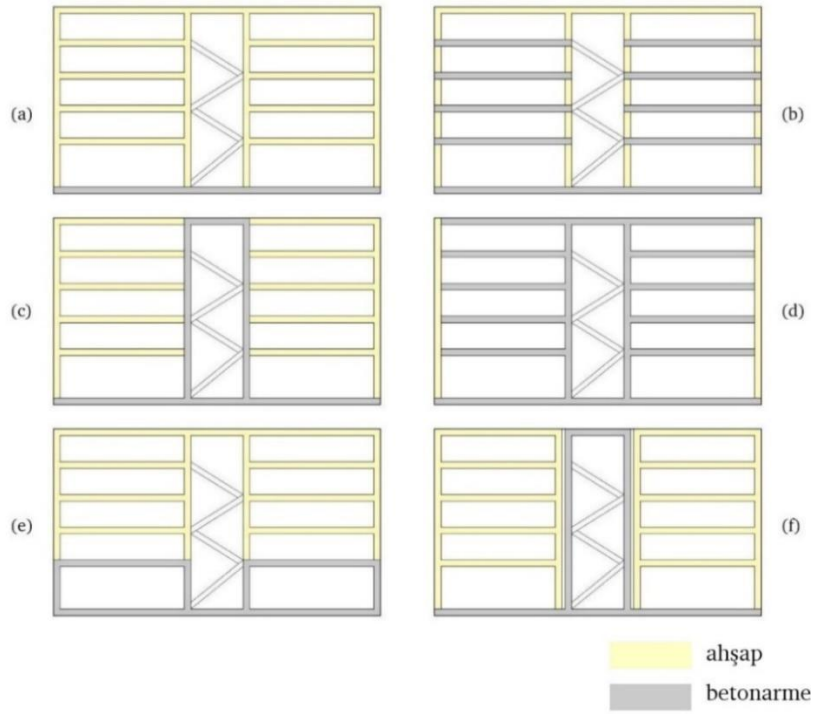


**Şekil 2. 39** CLT paneller ve betonarme çekirdek ile inşa edilen bir yapı (Binderholz 2022).

Ahşap ve betonarme sistemlerin bir arada bulunma şekillerine örnek Şekil 2.40 'ta gösterilmiştir.

Şekil 2.40-a'da yapının zemin döşemesi betonarme sistemle; duvar, döşeme ve çekirdeği masif ahşap sistemle yapılmıştır. Şekil 2.40-b'de yapının tüm kat döşemeleri betonarme sistemle yapılırken, çekirdeği ve duvarları masif ahşap panel ile yapılmıştır. Şekil 2.40-c örneğinde, yapının zemin döşemesinin ve çekirdeğinin betonarme sistem ile yapılıp ahşap duvarların ahşap döşemelere ve bu ahşap döşemelerin de betonarme çekirdeğe bağlandığı bir sistem görülmektedir. Şekil 2.40-d'de yapının tüm döşemelerinin ve çekirdeğinin betonarme sistemle oluşturulduğu ve duvarların masif ahşap panellerle oluşturulduğu bir varyasyon görülmektedir. Şekil 2.40-e' de yapının zemin katı betonarme sistemle oluşturularak, zemin kat olası yanal veya düşey yük kuvvetlerine karşı güçlendirilmiş ve geri kalan yapı masif ahşap panellerle oluşturulmuştur. Şekil 2.40-f'de ise zemin döşemesi ve çekirdek betonarme sistemle inşa edilmiştir. Ahşap duvar ve döşemeler direk olarak betonarme çekirdeğe bağlanmak yerine, masif ahşap panellerle modüler bir sistem

oluşturulmuş ve bu modüler sistemler betonarme çekirdeğe bağlanmıştır.




**Şekil 2. 40** Ahşap ve betonarme sistemlerin bir arada kullanılmasına dair varyasyonlar (Mayo 2012).

Mühendislik ürünü ahşap malzemelerdeki ilerleme ve yeni yapı elemanlarının keşfedilmesi, ahşap için mevcut bina yükseklik sınırlamalarını değiştirmiştir. Sürekli büyüyen kentleşme talebini karşılarken, yenilenebilir ve sürdürülebilir bir çözüm olması sebebiyle ahşap, inşaat sektöründe birincil yapı malzemesi konumuna gelmeye başlamıştır. Bu sebeple, ahşap esaslı bir yapım sistemi kullanılarak sağlam ve sürdürülebilir yapılar elde etmek için birçok yararlı ilerleme sağlanmıştır. Yirmi birinci yüzyıl teknolojisi ile birlikte ahşap-betonarme hibrit ürünlerin tasarımı, üretimi gerçekleştirilmekte ve ahşap hibrit sistemlerde kullanılmaktadır. Ahşap-beton hibrit yapı malzemesine örnek olarak Holz-Beton Verbund Sistem (HBV) verilebilir.

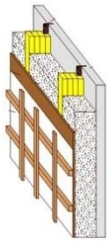
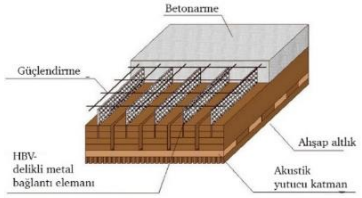
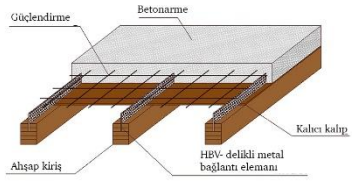
Ahşap-beton hibrit ürünler, farklı tipte bağlantı elemanları kullanılarak ahşap kiriş ya da ahşap platformun bir üst beton döşemeye bağlantısı yapılarak oluşturulan bir sistemdir (Yürekli 2015). Hibrit ahşap elemanlar, zorunlu olmamakla birlikte genellikle birden fazla malzemeden yapılır. Yaygın olarak kullanılan ahşap bazlı malzemeler; yapısal kereste, yapıştırılmış lamine ahşap, LVL, kontrplak, lif levha,

sunta, OSB vb.'dir (Borgström E. 2016b). Ahşap-beton hibrit malzemeler hem kolon-kiriş sistemlerle hem de masif ahşap panel sistemlerle kullanılmaktadır. Bu hibrit malzemeler ve çözümler, döşeme plağı için yapısal, akustik ve yangın performansı ihtiyacını karşılamaktadır (Gerard ve Barber 2013).

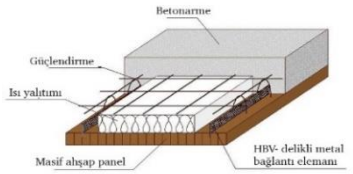
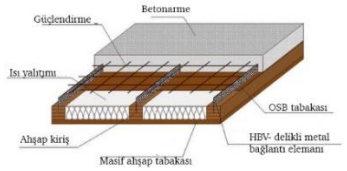
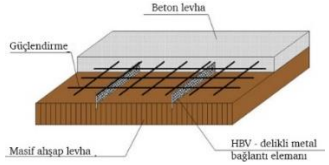
HBV hibrit elemanının olumlu yönleri; ısı ve ses yalıtımı, yangın koruma, nem koruma gibi özellikleri bünyesinde barındırmasıdır. Ön yapım ile fabrika ortamında hızlıca üretilir ve montaj sahasına taşınır. İnşaatın hızlı bir şekilde tamamlanmasını sağlar. Yapının yapım maliyetlerini düşürür ve çevreye verilen zararın azaltılmasında olumlu etkiye sahiptir. Bünyesinde ahşap ve betonu birlikte barındırdığı için, deprem ve rüzgâr gibi yatay yüklere karşı dayanımı oldukça yüksektir (Yeoh 2010; Yürekli 2015).

Hibrit malzemeler, yapıda kullanım alanları ve özellikleri Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

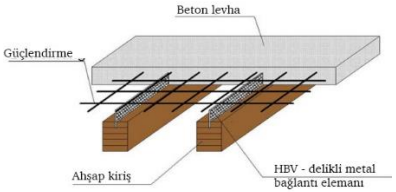
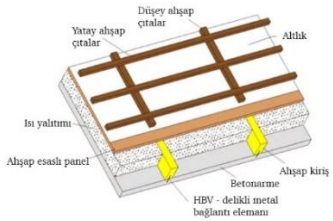
**Tablo 2. 1** Ahşap beton hibrit malzemelerin yapıda kullanım alanları ve özellikleri (TICOMTEC 2015).

| Malzeme | Kesit | Kullanım Alanı | Geçilebilir Maksimum Açıklık | Ses Yalıtımı | Isı Yalıtımı | Ön Üretim |
|---|---|---|---|---|---|---|
| HBV Duvar |  | Duvar Elemanı | | – | + | + |
| HBV Akustik Döşeme |  | Döşeme Elemanı | 15 m'ye kadar | + | + | + |
| HBV Kiriş Döşeme |  | Döşeme Elemanı | 15 m'ye kadar | + | + | + |

**Tablo 2. 1** Ahşap beton hibrit malzemelerin yapıda kullanım alanları ve özellikleri (devamı) (TICOMTEC 2015).

| Malzeme | Kesit | Kullanım Alanı | Geçilebilir Maksimum Açıklık | Ses Yalıtımı | Isı Yalıtımı | Ön Üretim |
|---|---|---|---|---|---|---|
| HBV Kutu Kiriş Döşeme |  | Döşeme Elemanı | 15 m'den daha fazla | + | + | + |
| HBV Kaset Döşeme |  | Döşeme Elemanı | 15 m'ye kadar | İhtiyaç duyulması halinde eklenebilir | + | + |
| HBV Levha Döşeme |  | Döşeme Elemanı | 12 m'ye kadar | İhtiyaç duyulması halinde eklenebilir | + | + |

**Tablo 2. 1** Ahşap beton hibrit malzemelerin yapıda kullanım alanları ve özellikleri (devamı) (TICOMTEC 2015).

| Malzeme | Kesit | Kullanım Alanı | Geçilebilir Maksimum Açıklık | Ses Yalıtımı | Isı Yalıtımı | Ön Üretim |
|---|---|---|---|---|---|---|
| HBV Nervürlü Döşeme |  | Döşeme Elemanı | 15 m'ye kadar | İhtiyaç duyulması halinde eklenebilir | + | + |
| HBV Çatı |  | Çatı Elemanı | | + | + | + |

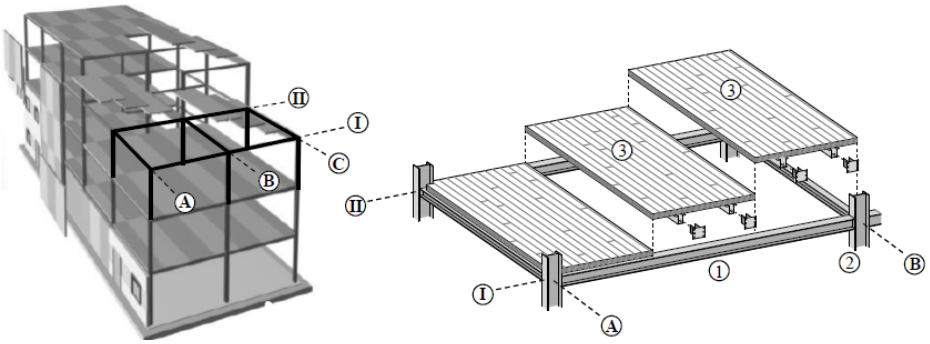
### 2.2.6.2 Ahşap-Çelik Hibrit Sistem

Çelik malzeme olası bir deprem durumunda yüksek miktarda enerji yayar ve sünek davranır. Deprem sonucu oluşan kuvvetler binanın ağırlığıyla doğru orantılıdır. Bir yapının depreme dayanıklı olması için sünek davranış göstermesi, yanal rijitliğinin sınırlı olması ve yeterli süre dayanım göstermesi gerekmektedir. Çelik ve ahşap gibi ön yapımla inşa edilebilen yapılarda, deprem açısından en zayıf bölgeler bağlantı noktalarıdır ve bu noktalara dikkat etmek ve tasarımı iyi yapmak gerekmektedir. Ahşap malzemelerle birlikte çelik bağlantı elemanları kullanıldığında, çelik malzemenin sünekliği sayesinde sismik enerji dağıtılır ve yapının deprem performansı iyileştirilir (Şekil 2.41). Betonarme ise monolitik bir malzeme olduğundan bağlantı sorunu çelik ve ahşaptaki gibi görülmemektedir (Moore, 2000; Poirier vd., 2016; Zhang vd., 2017).



**Şekil 2. 41** Glulam kolon-kirişlerin çelik bağlantı elemanlarıyla birleşimi (DETAIL 2022).

Ahşap-betonarme çelik hibrit sistem çok katlı yapıların yapımında kullanıma oldukça uygundur. Döşeme, duvar ve çekirdek CLT panellerle; kolon ve kirişler çelikle inşa edilebilmektedir (Şekil 2.42). Bu yapım sistemi, yapının inşa süresini oldukça kısaltmaktadır. Bütün yapı elemanları fabrikada üretilerek şantiyeye getirilir ve montajı yapılır. Ahşap ve çeliğin birlikte kullanımı yapıya yüksek bir mukavemet sağlar ve performansını yüksek olmasını sağlar. İnşaat süresi kısaldığı için yapım maliyetleri azalır ve zamanda tasarruf edilir (Loss vd., 2016).




1.Çelik kiriş 2.Çelik kolon 3.CLT-çelik hibrit döşeme

**Şekil 2. 42** Ahşap-çelik hibrit yapım sistemi (Loss vd., 2016).

### 2.2.6.3 Ahşap-Betonarme-Çelik Hibrit Sistem

Çelik malzemenin deprem durumunda yüksek miktarda enerji yayarak sünek davranması, betonarme ile yapılan yapıların yüksek basınç ve eğilme dayanımına sahip olması, ahşabın ise beton ve çelikle karşılaştırıldığında yüksek bir mukavemet/ağırlık oranına sahip olması ve bu nedenle deprem esnasında çekme kuvvetlerinin etkisi altında olması bu üç malzemenin olumlu özellikleridir. Bu üç yapı malzemenin bir arada kullanılması malzemelerin tekil olumsuzlarını giderirken, olumlu yönlerin kuvvetlenmesini sağlar. (Poirier vd., 2016; Zhang vd., 2017).

Bu üç farklı yapı malzemesinin bir arada bulunma şekillerine örnek Şekil 2.43'te, ahşap-betonarme-çelik hibrit sistem ile inşa edilmiş E3 yapısı Şekil 2.44'te gösterilmiştir.



**Şekil 2. 43** Glulam kolon- kiriş, betonarme kolonun çelik bağlantı elemanıyla birleşimi (DETAIL 2022).



(a) (b)

**Şekil 2. 44** Ahşap hibrit sistemle inşa edilmiş altı katlı E3 Binası (a) (WoodWorks 2022) ve inşaatı (b) (DETAIL 2022).

Ahşap hibrit sistem teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde, yüksek ofis binaları ve konut kulelerinden endüstriyel depolara ve spor stadyumlarına kadar çok çeşitli, daha büyük ölçekli ve daha yüksek ahşap yapıların ortaya çıkmasına olanak sağlamaktadır (Brandt vd., 2019)

Daha hızlı ve kolay inşaat ve montaj olanakları sayesinde hibrit sistemler, birçok maliyetten tasarruf sağlar ve üç farklı malzemenin avantajlarını bir arada kullandığı için deprem sırasında sismik performansı oldukça iyidir. İçerisinde ahşap barındırdığı için daha düşük karbon salınımına neden olur ve betonarme ve çelik sistemlerle karşılaştırıldığında bu nedenle daha iyidir (Brandt vd., 2019)

Farklı malzeme kombinasyonlarının kullanılabilmesi sebebiyle daha esnek bir sisteme sahip olması, ön yapımlı endüstriyel ahşap barındırması sebebiyle inşaat maliyetlerinin ve yapı üretiminin daha ekonomik olması, yapının yapımı esnasında daha az enerji tüketilmesi, daha düşük karbon salınımı ve yüksek performansı sayesinde ahşap esaslı hibrit sistemler eskiye oranla çokça tercih edilmektedir ve kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Sürdürülebilir yaklaşımların yirmi birinci yüzyılda önem kazanmasıyla birlikte, üretilen yapının içerisinde yaşayan insanların ihtiyaçlarını ve konforunu ne derece karşılayabildiği ve yapının yaşam süresi boyunca ve sonrasında doğal çevreye ne gibi etkiler bıraktığı araştırmaları da önem kazanmıştır.

# 3
# YAPI BİYOLOJİSİ VE SAĞLIKLI YAPI KAVRAMI

Yapılar, insanlarının günlük hayatlarının büyük çoğunluğuna ev sahipliyi yapan yapma çevrelerdir. Bu yapma çevrelerin sağlıklı olması ve sağlıklı bir şekilde üretilmesi, yapıyı kullanan kullanıcıların sağlığı açısından oldukça önemlidir. İnsan ve yapının kesişimiyle ortaya çıkan etkileşimler yapı biyolojisi kavramını ortaya çıkarmıştır. Kullanıcısına zarar vermeyen bir yapı üretebilmek için yapı biyolojisi ve sağlıklı yapı kavramlarına hâkim olmak gerekmektedir.

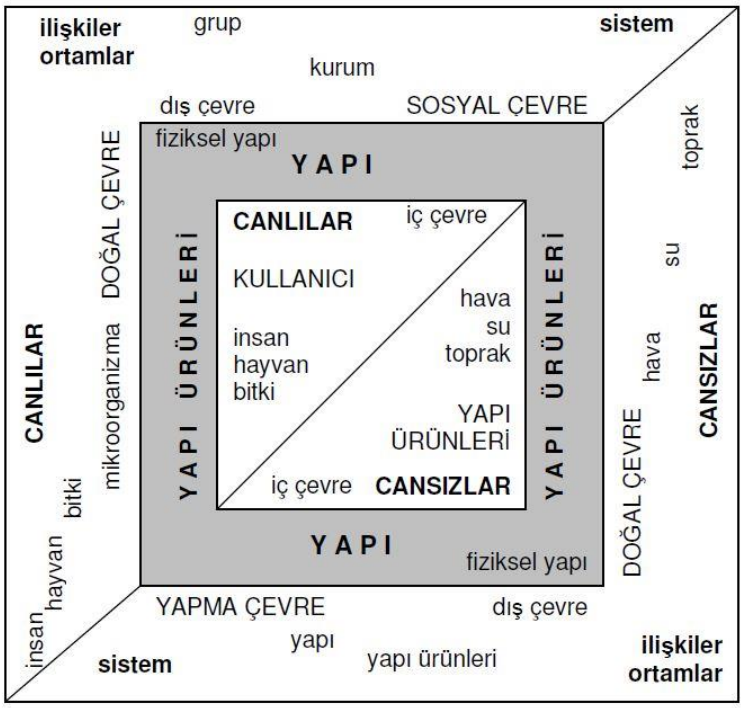
Bu bölümde yapı biyolojisi ve sağlıklı yapı kavramı detaylı olarak irdelenmiştir.

## 3.1 Yapı Biyolojisinin Tanımı

Çevre; bir varlığı saran, onunla karşılıklı ilişki ve etkileşimde bulunan, bazı durumlarda değişken, karmaşık ve çok yönlü olabilen ortam olarak tanımlanabilir. Yaşayan tüm organizmaların hayatları boyunca bütün ilişkilerini kapsayan ortam canlı çevre (insan, bitki, hayvan, mikroorganizmalar), cansız varlıkların oluşturduğu ve içinde canlı organizmaların yaşamlarını sürdürdükleri ortamlar ise cansız çevre olarak tanımlanmaktadır. Cansız çevre, doğal (hava, su, toprak) ve yapma çevreden (yapı, yapı ürünleri vb.) oluşmaktadır (Balanlı ve Öztürk, 2006).

Yaşantılarının büyük bir kısmının içerisinde geçtiği yapılar, kullanıcıların temel ihtiyaçlarını karşılamak üzere tasarlanmış ve üretilmiş yapma çevrelerdir (Balanlı ve Öztürk, 2006). Kullanıcılar içinde bulundukları yapılarda yaşamlarını sağlıkla sürdürebilmelidir. Bu sebeple yapıların birincil amacı kullanıcıları dış çevredeki olumsuz koşullara karşı koruyarak, güvenli ve sağlıklı bir ortam sunmaktır (Balanlı ve Öztürk, 2006). “Yapının ve onu oluşturan ögelerin işlevi, kullanıcıların gereksinmelerine yanıt getirmektir” (Balanlı 1997).

Yapma çevre olan yapıların diğer ortam ve çevrelerle ilişkisi Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

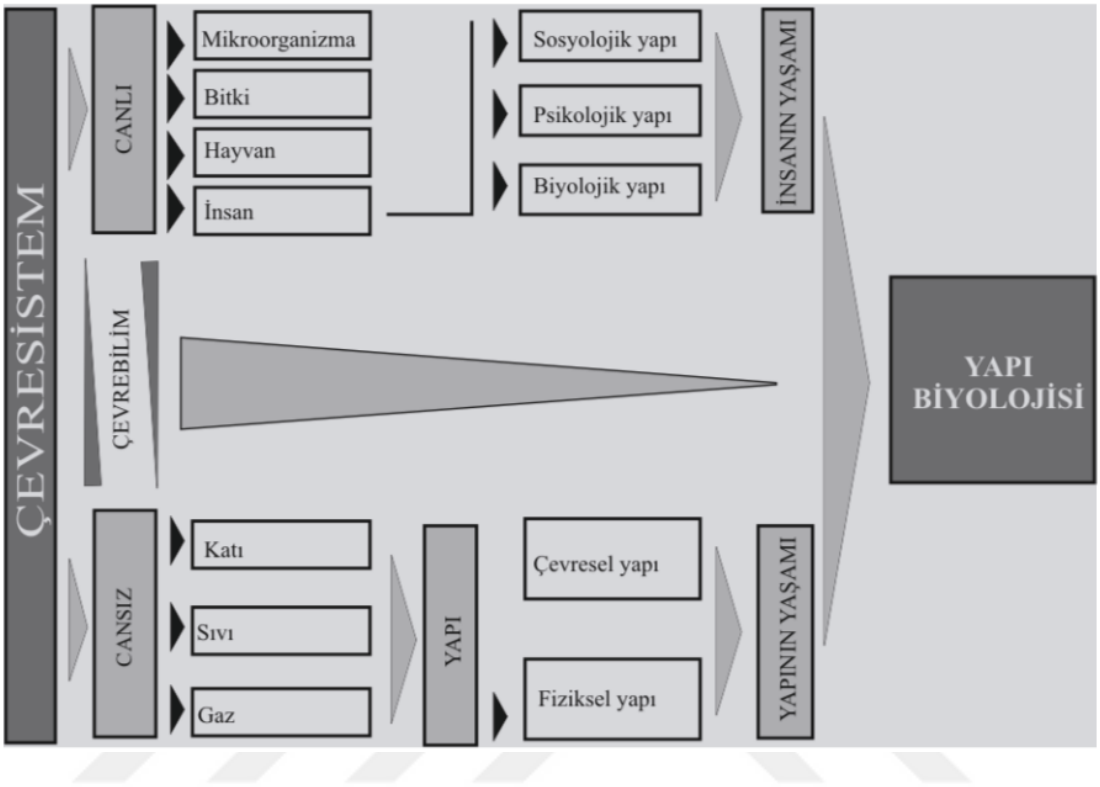



**Şekil 3. 1** Yapma çevre olan yapıların diğer ortam ve çevrelerle ilişkisi (Balanlı ve Öztürk, 2006).

Çevre sistem içindeki canlı ve cansız varlıkların birbirleri ile ilişkileri, birbirlerinin gelişme ve var olan durumlarını nasıl etkiledikleri çevrebilimin çalışma alanına girer. Çevrebilimin çalışma alanı gerçekte çok yönlü ve değişik konulara kayan bir kapsamdadır. Bu nedenle, birçok bilim dalı ile az ya da çok ilişkisi vardır. Çevrebilimin birlikte çalıştığı bazı bilim dallarına örnek olarak biyoloji, fizyoloji, genetik, sosyoloji, antropoloji, taksonomi, fizik, kimya, matematik, elektronik, jeoloji, pedoloji, meteoroloji gösterilebilir.

Çevre sistemin birer canlı ve cansız varlıkları olan insan ile yapı arasında yaşam açısından bir benzerlik kurulabilir. Yapı, cansız olmasına karşın canlılar gibi ömrü olan bir varlıktır. Yapının ömrünü insanın gereksinmeleri sınırlar. İnsanın gereksinme duyduğu an doğan yapı, gereksinmeler karşılandığı sürece yaşar ve işlevini bitirince ölür. Bu yaklaşımla, insanın ve yapının yaşamının çakıştığı yerde 'yapı biyolojisi' kavramsal olarak doğar. Yapı biyolojisi, insan ile yapı arasındaki biyolojik etkileşimleri ikisinin yaşamını bütünleştirerek inceler, değerlendirir ve denetler. Şekil 3.2'de çevre sistemden başlayarak yapı biyolojisine ulaşan etkileşim zinciri kavramsal olarak verilmektedir. Yapı biyolojisi, "insan ile yapı ve çevresi arasındaki ilişkileri kurarak insan yaşamını etkileyecek olumsuzlukları gidermeye

çalışan, yapının üretim ve kullanım süreçlerini insan sağlığı açısından yönlendiren kararları üreten ve denetleyen bir bilim dalı" (Balanlı ve Öztürk, 2006) olarak tanımlanmaktadır.




**Şekil 3. 2** Yapı biyolojisinin kavramsal modeli (Balanlı ve Öztürk, 2006).

Yapı biyolojisi terimi ilk olarak Almanya'da "Baubiologie" adıyla ortaya çıkmıştır ve Almancadaki yapı-biyolojisi kelimelerinin birleşimiyle adlandırılmıştır (Baker vd., 2008). Almanya'da bulunan Yapı Biyolojisi ve Sürdürülebilirlik Enstitüsü (Institut für Baubiologie+Nachhaltigkeit-IBN) bu alanda kurulan ve çalışmalarına hala devam eden ilk kuruluşlardan biridir.

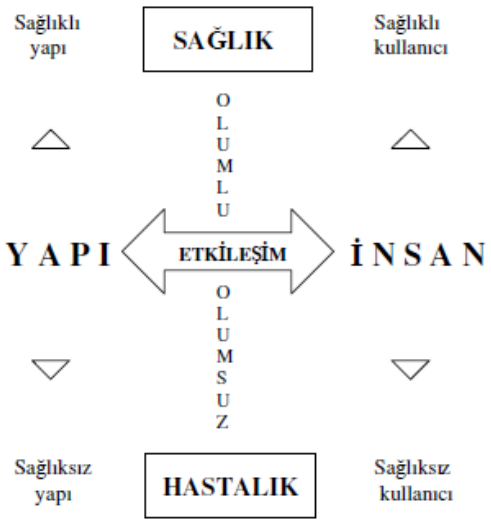
## 3.2 Sağlıklı Yapının Tanımı

Dünya Sağlık Örgütü'nün tanımına göre sağlıklı insan; fiziksel, ruhsal ve sosyal yönden tam bir iyilik halidir (WHO, 2020).

Yapının bulunduğu doğal çevredeki bozulmalar, tasarım, ürün seçimi, ürünün veya yapının üretimi sırasında meydana gelen hatalar ve yapının kullanımı sırasında oluşan çeşitli durumlar ile insanın yapıyı olumsuz etkilemesi sonucunda, yapının iç ve dış çevresinde çeşitli olumsuzluklar oluşabilmektedir. Yapının iç ve dış çevresinde meydana gelen bu olumsuzluklar, kullanıcısının gereksinimlerini

karşılayamamasına ve sağlığını olumsuz yönde etkileyerek kişide yapıdan kaynaklı sağlık sorunu oluşmasına yol açar. Sağlıklı yapı; kullanıcısının sağlığında olumsuzluk yaratmayan iç ve dış çevre niteliklerine sahip olmalı, kullanıcısının fizyolojik, sosyolojik ve psikolojik yapısından kaynaklanan gereksinimlere yanıt verebilmelidir. (Sarp 2007). Kullanıcıların ihtiyaç duyduğu bu gereksinimlerin karşılanması ve yapının kullanıcısının sağlığını bozmaması durumunda kullanıcı yaşamını sağlıkla sürdürür ve yapı temel görevini yerine getirmiş olur.

Yapı biyolojisinde odak noktası, sağlıklı insan ve sağlıklı yapıdır. Yapı biyolojisinin temel amacı, kullanıcıda yapıdan kaynaklanan sağlık sorunlarının ortaya çıkmasını önleyerek sağlıklı yapılar tasarlamak ve üretmektir. Sağlıklı yapı, sağlıklı kullanıcıları beraberinde getirmektedir. Yapı ile insan arasındaki sağlık etkileşimi Şekil 3.3'te gösterilmiştir.




**Şekil 3. 3** Yapı ile insan arasındaki sağlık etkileşimi (Sarp 2007).

Yapıdan kaynaklanan sağlık sorunlarının belirlenmesinde Balanlı ve Öztürk bir model önerisinde bulunmuşlardır. Bu ilişki modeli Şekil 3.4'te gösterilmiştir.




**Şekil 3. 4** Yapı ile sağlık sorunu arasındaki ilişki (Balanlı ve Öztürk, 2006).

Bu model önerisiyle (Balanlı ve Öztürk, 2006);

- var olan yapıların yapı biyolojisi açısından değerlendirilebilir,
- var olan yapılar iyileştirilebilir ve kullanıcı olumsuzluk etkeni karşısında önlemini alabilir,
- yeni yapılacak yapıların tasarımında yol gösterici bir kaynak olabilir.

Yapı ile insan arasındaki karşılıklı etkileşimin sonucunda olumsuzluk etkeni ve etkenin kaynağı belirlenebilmektedir. Yapıdaki olumsuz iç ve dış çevre etkeni belirlenir, bu olumsuzluk sonucu sağlığı bozan etken ve oluşan sağlık sorunu belirlenebilir. Tersi şekilde, sağlık sorununun kullanıcıda ortaya çıkmasıyla adımlarda geri gidilerek yapıdan kaynaklı olumsuz iç ve dış çevre etkenine ulaşılabilir (Balanlı ve Öztürk, 2006).

Yapının sağlıklı olmamasına bağlı olarak kullanıcısında sağlık sorunları ortaya çıkmakta ve bu sağlık sorunları yapıdan kaynaklanan hastalıklar (Building Related Illness-BRI) olarak adlandırılmaktadır. Kullanıcı dışarıdan bakıldığında gayet normal görünen bir yapıya girdikten kısa süre sonra başlayan ve yapı dışına çıktıktan kısa süre sonra son bulan hastalıklar ve belirtiler ise sağlıksız bina sendromu (Sick Building Syndrome-SBS) olarak adlandırılmaktadır (EPA 1994; Esin 2004). SBS'nin nedenleri kesin olarak belirlenememekle birlikte (EPA 1994), ortaya çıkan rahatsızlıkların çoğunun mekân içerisindeki havalandırma, ısıtma, soğutma ve iklimlendirmenin doğru şekilde yapılamamasından; belirli hava kirleticilerinin iç havada belirli düzeylerde birikmesinden kaynaklandığı varsayılmaktadır. SBS'de; baş dönmesi, boğaz kuruması, öksürük, yorgunluk, gözlerde yanma, görmede zayıflama, ciltte kızarıklık, kuruluk, kaşınma, mide bulantısı, ateş basması gibi rahatsızlıklar görülebilmektedir. Kullanıcı yapıyı terk ettiğinde bu rahatsızlıklar da ortadan kaybolmaktadır (Çobanoğlu ve Kiper, 2006).

Yaşantının çoğunun içerisinde geçirildiği yapıların, kullanılan yapı malzeme ve ürünlerinin sağlıklı olması hem yapının kullanım süresinin uzamasına, dolayısıyla doğal çevreyi korumaya hem de kullanıcılar için konforlu ve sağlıklı ortamlar yaratılmasına imkân sağlar. Sağlıklı yapı üretebilmek için birçok etken bulunmaktadır. Yapının konumu, yeşil alanlara yakınlığı, alt yapısının iyi olması,

inşaat alanı ve inşaat alanın inşaat yapım tekniği için uygunluğu, yapıyı oluşturan yapı elemanlarının üretimi ve üretilen elemanların inşaat alanına mesafesi, üretim aşamasından yıkım aşamasına kadar geçen sürede doğaya az zarar vermesi ve düşük enerji tüketmiş olması, yapıyı oluşturan yapı elemanlarının büyük çoğunluğunun geri dönüştürülebilir ve daha sonrasında tekrar kullanılabilir malzemelerden oluşması, gün ışığından verimli yararlanması, doğal yapı malzemelerinin kullanılması, yapı içi hava niteliğini iyi olması, yapının hem insan hem de doğal çevre için sağlıklı olabilmesi konusunda gerekli durumlardır (Güler 2005).

Yapının fiziksel dış çevre özelliklerini, yapma ve doğal çevreler belirlemektedir. Yapının fiziksel iç çevre özellikleri ise (Sarp 2007);

- boyutsal ve biçimsel özellikler,
- görsel özellikler,
- işitsel özellikler,
- dokunsal özellikler,
- atmosferik özellikler

olarak sıralanabilir.

Bir yapının oluşturduğu olumsuz fiziksel ve sosyal iç mekân özellikleri SBS'nin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır.

Tablo 3.1'de bir yapının fiziksel iç ve dış çevre özellikleri, Tablo 3.2'de bir yapının sağlıklı olabilmesi için gerekli olan fiziksel iç çevre özelliklerine bağlı nitelikleri gösterilmiştir.

Yapının sahip olduğu olumlu durumları belirleyen nitelikler; doğal ve yapma çevreye, kullanıcılara, üretim kaynaklarına ve üretim şekillerine, yasa, yönetmelik ve kurumlara bağlı olarak belirlenebilmektedir (Balanlı 1997). Sağlıklı bir yapının nitelikleri kullanıcı sağlığını olumsuz etkilememek üzerine oluşturulmalıdır (Sarp 2007).

**Tablo 3. 1** Bir yapının fiziksel iç ve dış çevre özellikleri (Balanlı ve Öztürk, 2006; Sarp, 2007).

| Yapının Çevresel Özellikleri | Fiziksel Çevre Özellikleri |
|---|---|
| Dış Çevre Özellikleri | • Doğal çevre (hava, toprak, su, canlılar)<br>• Yapma çevre (Yapılar, yollar, meydanlar, parklar, vb.) |
| İç Çevre Özellikleri | • Boyutsal ve biçimsel özellikler (boyut, biçim)<br>• Görsel özellikler (ışık, esteti, renk, boyut)<br>• İşitsel özellikler (akustik, gürültü)<br>• Dokunsal özellikler (temizlik, güvenlik)<br>• Atmosferik özellikler (havanın niteliği, iklim, elektro iklim) |

**Tablo 3. 2** Sağlıklı bir yapının fiziksel iç çevre özelliklerine bağlı nitelikleri (Sarp, 2007'den uyarlanmıştır).

| ÖZELLİKLER | | | YAPI NİTELİKLERİ |
|---|---|---|---|
| FİZİKSEL İÇ ÇEVRE | Boyutsal-biçimsel | Boyut | İhtiyaçlara yanıt verecek boy, genişlik, yükseklik, alan, hacim, oran |
| | | Biçim | İhtiyaçlara uygun biçim tasarımı |
| | Görsel | Işık | Gerekli aydınlık düzeyine ve niteliğine sahip olma<br>İhtiyaçlara uygun hacim iç yüzey ışık yansıtma biçimleri |
| | | Renk | İhtiyaçları sağlayan renk düzenlemesi (yüzey renkleri)<br>Yüzeylerin elde edilmek istenen renk etkisini bozmayacak dokusal özelliklere sahip olması |
| | | Estetik | Elde edilmek istenen etkiye uygun oran, ritim, uyum, desen ve dokuda ürünlere sahip olma ve tasarlama |
| | İşitsel | Akustik | İhtiyaçlara uygun ses yansıtıcılık ve ses yutuculuk |
| | | Gürültü | Gürültü oluşturmama ve kabul edilebilir gürültü düzeyini aşmama |
| | Dokunsal | Güvenlik | Kullanıcıda olumsuzluk yaratmayacak yüzey sertliği ve pürüzlüğü<br>Keskin olmama<br>İstenen uygunlukta yüzey sıcaklığı<br>Zehirleyici özelliklere sahip olmama |
| | | Temizlik | Toz, kir, pas, leke tutmama<br>Mikroorganizma barındırmama |

**Tablo 3. 2** Sağlıklı bir yapının fiziksel iç çevre özelliklerine bağlı nitelikleri (devamı) (Sarp, 2007'den uyarlanmıştır).

| ÖZELLİKLER | | | YAPI NİTELİKLERİ |
|---|---|---|---|
| FİZİKSEL İÇ ÇEVRE | Atmosferik | Havanın kalitesi | İhtiyaçlara uygun hava bileşimi ($O_2$ vb.)<br>Hava kirleticileri içermeme (karbondioksit, ozon, formaldehit, asbest, kurşun, bakteri, toz vb.)<br>Radyasyon içermeme<br>Kötü koku içermeme |
| | | İklim | Konfor sıcaklığını sağlama (gerekli ısı geçirgenlik, ısı yayıcılık, ısı biriktiricilik, iklimlendirme, güneş korunumuna sahip olma)<br>İhtiyaçlara cevap verecek bağıl nem oranına sahip olma (gerekli su geçirgenlik, su emicilik, nem dengeleyicilik)<br>Gerekli hava basıncına sahip olma<br>Kullanıcıyı olumsuz etkilemeyecek hava akımına sahip olma |
| | | Elektro-iklim | Kabul edilebilir doğal elektrik ve manyetik alan şiddetine sahip olma<br>İyon yoğunlukları dengesi<br>Yapay alternatif elektrik, manyetik ve elektromanyetik alandan korunma |

Yapı içerisindeki kullanıcıların sağlıklı olması ve bunu sürdürebilmeleri, iç mekân ikliminin ve yapı içi hava niteliğinin iyi olması ile mümkündür. Sağlıklı iç mekân iklimi; iç mekân sıcaklığı ve nemi gibi etkenlere bağlıdır.

Yapıdan kaynaklı sağlık sorunlarının geneli sağlıksız iç mekân ikliminden kaynaklanmaktadır. Tez kapsamında dördüncü bölümdeki analiz çalışmasında, sağlıklı bir yapının fiziksel iç çevre niteliklerine bağlı atmosferik özelliklerden yapı içi hava niteliği ve iç mekân iklimi üzerine bir çalışma ve irdeleme gerçekleştirilmiştir.

İç mekândaki havayı oluşturan maddelerin karışım yüzdeleri, iç mekânı sıcaklığı, bağıl nem oranı, havalandırma miktarı, havanın akış hızı yapı içi hava niteliğini belirleyen başlıca ölçütlerdir. İç mekândaki havanın niteliğini belirleyen bu ölçütlerden en az birinin optimum değerinden sapması durumunda, iç mekânda doğal ya da yapay kirleticiler birikir ve hava kirliliği oluşturur. Yapı içi havasının istenen kalitede olmaması durumu kullanıcılarda çeşitli sağlık sorunlarına yol açmaktadır (Darçın 2008).

ASHRAE Standardına göre kabul edilebilir iyi yapı içi hava niteliği, hava içerisindeki kirleticilerin belirlenen sınır değerlerin altında olduğu ve kullanıcıların %80'inden çoğunun iç mekân içerisinde herhangi bir rahatsızlık veya memnuniyetsizlik hissetmemesi olarak tanımlanmaktadır (ASHRAE 62.1 2019).

Var olan yapıların yapı içi hava niteliğini iyileştirilebilmekte, yeni üretilecek olan yapılarda ise iç mekân hava niteliği tasarım aşamasında göz önünde bulundurularak, sonradan düzeltme veya iyileştirme yapma ihtiyacı ortadan kaldırılarak zamandan, emekten ve maliyetten tasarruf sağlanmaktadır (Vural 2011).

Yapı içi hava niteliğinin kullanıcı üzerindeki etkilerini göz ardı ederek tasarım yapan tasarımcılar, kullanıcılar ve doğal çevre açısından birçok sorun teşkil eden yapılar üretmektedirler. İç mekân hava niteliğinde önemli bir yere sahip olan ve iç mekân hava niteliğini artıran havalandırma, doğal yöntemlerle doğru bir tasarım prensibiyle ele alındığında verimli yapılar üretilebilmektedir. Aksi taktirde havalandırma yapay mekanik sistemlerle desteklenmek zorundadır ve bunu sonucu olarak da enerji tüketimi oldukça yüksek, yüksek maliyetli ve doğaya daha fazla zarar veren yapılar ortaya çıkmaktadır (Darçın 2008).

### 3.2.1 Ortamın İçindeki Havayı Oluşturan Maddeler ve İnsanın Hava Gereksinimi

Hava içerisinde çeşitli gazları (azot, oksijen, karbondioksit, argon vb.) belirli oranlarda barındıran bir karışımdır.

Amerika Alerji Uzmanları Birliği tarafından yapılan açıklamaya göre, hastalıkların oluşma ve yayılma nedeni %50 oranında iç mekân hava niteliğinin kötü olmasından kaynaklanmaktadır. Kötü yapı içi hava niteliğine sahip çalışma yapılarında iş gücü verimindeki kayıp %4'lere ulaşmaktadır (Gürdallar 2004) .

Yapıyı üretirken kullanılan yapı malzemeleri, yapı içi havanın niteliğini çeşitli sebeplerle kirletebilmektedir. Bu sebepler malzemenin yapısından, içerisinde bulunan kirletici maddelerden, yapı malzemesinin uygulanma veya kullanım şeklinden kaynaklanabilmektedir. Özellikle yapay yapı malzemelerinin zararlı gaz salınımları hem iç mekânın havasını kirletmekte hem de üretim ve kullanım

aşamasında doğal çevreye zarar vermektedir. Bu sebeple doğal yapı malzemelerinin seçilmesi, bir yapıyı üretirken dikkat edilmesi gereken önemli noktalardan biridir. İnsanın yapı içerinde kendini konforlu hissedebilmesi için gerekli taze hava ihtiyacının 30-60 $m^3$/saat olduğu düşünülmektedir. Yapıda doğal yapı malzemelerinin kullanılmasıyla 30 $m^3$/saat ihtiyaç yeterli iken, plastik esaslı yapay yapı malzemelerinin kullanıldığı durumlarda bu ihtiyaç 60 $m^3$/saat civarlarına çıkmaktadır (Ersoy 1994).

İnsanların ihtiyaç duyduğu oksijen miktarı cinsiyeti, yaşı, kilosu, beslenmesi ve enerji ihtiyacı ile ilgilidir. Solunum sonucu dışarı verilen havanın sıcaklığı 35°C ve bağıl nem oranı %95'tir (Özgenalp 2006).

Kullanıcıların ihtiyaç duyduğu temiz hava miktarı mekânın işlevine ve mekândaki kullanıcı sayısına göre değişkenlik göstermektedir.

Yapı içi hava niteliğinin kötü olması, yorgunluğa, solunum güçlüklerine, dikkat dağınıklığına, enfeksiyonlara karşı zayıf düşmeye, akut ve kronik hastalıklara ve psikolojik sorunlara yol açabilmektedir.

Yapı içerisinde ortaya çıkan kirleticilerden en önemlisi karbondioksit gazıdır. ASHRAE Standardına göre dış havadaki $CO_2$ miktarı 300-500 PPM aralığındadır. Dış havadaki yüksek $CO_2$ konsantrasyonları yanma veya kirleticilerin belirtisidir. Kullanıcı yoğunluğu ve kullanıcıların meşguliyet durumlarına göre değişen ortamdaki $CO_2$ miktarı, dış havadaki $CO_2$ miktarından en fazla 600 – 700 PPM yüksek olmalıdır. Yani 900-1200 PPM aralığı iç mekân için maksimum aralıktır. 1000 PPM'in üzerine çıkıldığında ise iç mekândaki havalandırma miktarının artırılması gerekmektedir aksi taktirde iç mekânda konforsuzluk belirtileri artmaya başlamaktadır (ASHRAE 62.1 2019). Yaşadığımız ve çalıştığımız mekânlardaki karbondioksit miktarını belirlenen aralıklarda tutmak sağlığımız açısından oldukça önemlidir.

### 3.2.2 Ortam İçindeki Hava Hareketi ve Hava Akış Hızı

Farklı iki mekân arasındaki havanın yer değiştirmesine hava hareketi denir. Bu yer değiştiren havanın hızına ise hava akış hızı denilmektedir. İç mekân konforu için hava akış hızı oldukça önemlidir. Hava akış hızı anemometre ile ölçülür ve genellikle m/sn ile belirtilir (Şerefhanoğlu 1981).

İç mekândaki hava hareketleri ve havanın akış hızı; mekân içerisindeki kullanıcının yaşına, cinsiyetine, mekân içerisindeki etkinlik düzeyine, mekânın şekline, mekânın işlevine, rüzgâr yönüne ve pencere açıklıklarının oranı ve boyutu gibi etkenlere bağlı olarak değişmektedir. Özellikle doğal havalandırmada iç mekânın daha verimli havalandırılabilmesi ve iç mekân konforunun sağlanabilmesi için, mekânın formu ve pencere açıklıklarının boyutları ve konumları oldukça önemlidir. Şekil 3.5'te yapı tasarımında açıklıkların, doğal havalandırmada hava hareketindeki önemi gösterilmiştir.



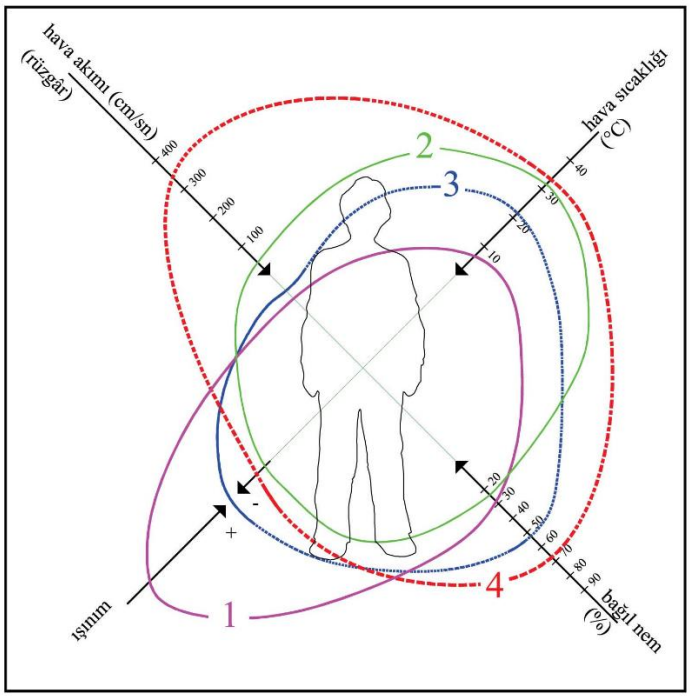
**Şekil 3. 5** Yapı tasarımında açıklıkların hava hareketine ve doğal havalandırmaya etkisi (Watson ve Labs, 1983).

İlk iki şekilde hava mekân içerisinde yeterli miktarda dolanamadığı için havalandırma yeterli düzeyde sağlanamaz. Diğer dört şekilde ise açıklıkların eksenleri ve yönleri değiştirilerek, havanın mekân içerisinde daha çok dolanarak dışarıya çıkması sağlanır.

Havanın akış hızına duyarlılık kişiden kişiye değişmekle birlikte 0,1m/sn'den daha az olan havanın hızını kişinin algılaması oldukça zordur. 0,1m/sn'den az hava hızı iç mekânda havasızlık hissi oluşturmakta ve konforsuzluğa sebep olmaktadır. 0,25-0,50m/sn arasındaki hava hızı, kişinin kendini rahat ve konforlu hissetmesini sağlar. 1,5m/sn 'den daha fazla hava hızı kişilerde rahatsızlık hissi oluşturmaktadır. Yapı kabuğunda veya iç mekândaki yapı elemanlarında kirletici yoğunluğu fazla olan malzemeler kullanıldığında, iç mekândaki konforu sağlayabilmek için havanın akış hızı sınırları geçmeyecek şekilde artırılmalıdır. Kullanıcı eylemlerinden dolayı havası kirlenen veya aşırı ısı artışı yaşanan mekânlar da aynı şekilde dengeye ulaştırılmalı ve hava akış hızı doğal veya yapay havalandırma ile konfor sınırları içerisine taşınmalıdır (Zorer 1992).

İç mekândaki kullanıcının konfor koşullarının sağlanabilmesi için, iç mekân hava sıcaklığı, iç mekândaki havanın bağıl nem oranı, havanın hareketi ve hava akış

hızı konfor koşulları içerisinde değerlerde olmalıdır. Şekil 3.6'da iç mekân hava sıcaklığı, iç mekândaki havanın bağıl nem oranı, havanın hareketi ve hava akış hızı arasındaki ilişki gösterilmiştir.




**Şekil 3. 6** İç mekân sıcaklığı, bağıl nem oranı, hava akış hızı ve ışınım ile ısıtılması arasındaki ilişki (Darçın 2008).

İç mekân sıcaklığının 21°C ve bağıl nem oranının %50 civarı olduğu durumda, iç mekânda hava hareketi veya ışınım ile ısıtmaya gerek duyulmadan konfor koşulunun sağlanabildiği görülmektedir (2 numaralı grafik). İç mekân sıcaklığının 33°C'ye ve iç mekân bağıl neminin %70-%80'lere ulaşması durumunda iç mekân konforunun sağlanabilmesi için ortamın iyi bir şekilde havalandırması ve hava akış hızının yüksek olması gerekmektedir (3 numaralı grafik). Hava sıcaklığının 10°C'nin altında olduğu durumlarda hava akış hızına ve bağıl neme gerek olmadan iç mekânın ısınım yolu ile ısıtılmasıyla iç mekânda konfor sağlanabilmektedir (1 numaralı grafik). İç mekân sıcaklığının 30°C ve iç mekân bağıl neminin %22 olduğu durumda ise, 3 numaralı grafik aksine ortamda hava akış hızına ve ışınım ile ısıtmaya ihtiyaç duymadan konfor koşulu sağlanabilmektedir (4 numaralı grafik). Benzer iç mekân sıcaklıklarında yapı içi konforun sağlanabilmesi için nem oranının yüzdesi önemlidir (Darçın 2008).

### 3.2.3 İç Ortam Hava Sıcaklığı

Sıcaklık, bir sistemin ne kadar sıcak ya da soğuk olduğunu gösteren bir ölçüdür. Maddenin içerisinde bulunan moleküllerin hareketidir. Termometre ile ölçülür, birimi derecedir. Isı ise iki farklı sıcaklığa sahip maddeler arasındaki enerji alışverişidir. Kalorimetre ile ölçülür, birimi kalori veya jouledür.

İç ortam hava sıcaklığı yapı içi hava niteliğini etkileyen temel etkenlerden biridir. Tüm canlılar yaşamlarını sağlıklı ve konforlu şekilde devam ettirebilmek için, bulundukları ortamdaki iklimsel konfor koşullarını korumaya çalışarak çok sıcak veya çok soğuk havalardan korunmaya çalışmıştır.

ASHRAE Standardı, iç ortamlar için en uygun sıcaklığın 20-23°C olması gerektiğini belirtmiştir. İç mekân sıcaklığının 22-23°C 'nin üstüne çıktığı durumlarda kişilerde rahatsızlıklar gözlenmeye başlamaktadır. Bunun nedeninin, sıcaklık yükselmesine bağlı olarak iç ortamda bulunan uçucu organik bileşik konsantrasyonundaki artış olarak saptanmıştır (Zeydan vd., 2009).

İç ortam havası ve insan vücudu arasında sürekli bir ısı alışverişi olduğundan dolayı, vücut sıcaklığı kişinin bulunduğu iç ortam koşullarından etkilenmektedir. İnsanların ürettiği ısı, bazal metabolizma ile etkinlik seviyesine göre açığa çıkan ısının toplamıdır. Isı transferi; taşınım (konveksiyon), ışınım (radyasyon), iletim (kondüksiyon) şeklinde üç yolla gerçekleşmektedir.

Isısal konforun oluşabilmesi ısı alışverişinin dengeye ulaşması ile mümkündür (Güler 2005). İç mekândaki ısısal konfor, kullanıcının fiziksel özellikleri ve iç mekândaki çevre koşulları arasında kurulan dengeye bağlıdır. Yapay çevre olan iç mekânların ısıl konforu; iç mekân hava sıcaklığı, iç mekândaki havanın nemi, iç mekân hava hareketleri, iç mekânın ortalama ışınımsal sıcaklığı gibi parametrelerle birlikte, iç mekânda bulunan kişinin giysilerinin yalıtım değerine, kişinin fiziksel özelliklerine, yaşına, cinsiyetine ve o mekândaki etkinlik düzeyine bağlıdır (Parsons 2006; Şerefhanoğlu 1981).

Yapma çevreler olan yapılar, dış çevre ve iç çevreyi birbirinden ayıran yapı kabuğuna sahiptir. Yapı kabuğu, dış çevreden kaynaklı olumsuz iklimsel koşullara ve kirleticilere karşı yapıyı ve yapı içi hava niteliğini korumakla görevlidir. Yapının konumu, güneşten faydalanma oranı ve yapının kabuğunu oluşturan yapı

elemanlarında (duvarlar, pencereler gibi) kullanılan yapı malzemeleri son derece önemlidir (Aydın 2017). Bir iç mekândaki yüzeylerin (duvarlar, döşeme, tavan gibi) yüzey sıcaklığı, iç hava sıcaklığına yakın değerlerde olmalıdır. Bu sebeple sağlıklı iç mekân iklimi elde edebilmek için, yapı içerisinde ve yapı kabuğunda kullanılan malzemelerin yüzey sıcaklıkları ve ısı iletim değerleri göz önünde bulundurularak tasarım yapılmalıdır (Akman 2005).

Yapı kabuğunda uygun olmayan malzeme kullanımı ile iç mekân gereğinden fazla ısınabilmektedir. Başka bir durumda ise hatalı malzeme tercihi ile birlikte, yalıtım ve yanlış ısıtma sisteminin kullanımı sonucunda iç duvarlar soğuk kalabilmektedir. Bu soğuğu giderebilmek ve ısısal konforunu sağlayabilmek adına iç mekân gereğinden fazla ısıtılmaktadır. Her iki durumun sonucunda, iç hava sıcaklığının aşırı yükselmesi havanın kurumasına neden olur. Bu durumda ise kullanıcıların vücut ısısının dengesi bozulmaktadır. Bunun sonucunda kullanıcılarda; baş ağrısı, baş dönmesi, ısı çarpması, terleme, aşırı su kaybı, tansiyon düşmesi, konsantrasyon düşmesi, performans düşmesi, halsizlik, eklem ağrıları gibi belirtiler ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle serin ortamlar sıcak ortamlara göre kişiyi daha rahat ve iyi hissettirmektedir. Serin havada nemin daha yüksek seviyede olmasıyla birlikte hava dolaşımları daha azdır. Bunun sonucu olarak nefes alıp vermek serin ortamlarda sıcak ortamlara göre daha kolaydır. Aşırı soğuk ortamlar da kullanıcı konforu açısından olumsuz etkiye sahiptir. Kişilerde titreme, ürperme, beslenme ve enerji ihtiyacının artması ve dolaşımın yavaşlamasına sebep olur. Dolaşımın yavaşlamasına bağlı olarak ise kişilerde donmalar meydana gelmektedir (Akman 2005; Su 2001).

Havadaki nem oranı, ısısı ve konsantrasyonu açısından ideal iç mekân iklimini oluşturmak için ahşap gibi insan doğasıyla örtüşen doğal malzemeler kullanılmalıdır.

### 3.2.4 İç Ortam Bağıl Nem Oranı

Her sıcaklıkta havanın içerisinde bir miktar su buharı bulunmaktadır. Hava içerisinde bulunan su buharı miktarı nem olarak adlandırılmaktadır. Hava içerisindeki su buharının fazla miktarda olması nemli havayı, hiç bulunmaması ise kuru havayı oluşturmaktadır. Mutlak nem, 1 $m^3$ havada bulunan su buharının

gram cinsinden değeridir. Birimi g/$m^3$ ya da g/kg'dır. Havada bulunan maksimum su buharına ise bağıl nem adı verilmektedir. Bağıl nem yüzde (%) olarak tanımlanır ve sıcaklıkla doğru orantılı olarak değişmektedir (Şerefhanoğlu 1981).

İç mekândaki nem oranını etkileyen etmenler:

- Mekânın sıcaklığı,
- Mekânın boyutları,
- İç duvar yüzeylerinin ısısı,
- Yapı kabuğunda ve yapı içerisinde kullanılan malzemelerin özellikleri,
- Mekânı kullanan kişi sayısı ve bu kişilerin iç mekândaki eylemleri,
- Isıtma türü ve bölgenin iklimsel özellikleri,
- İç mekânda kullanılan donatı ve araçların özellikleri,

şeklindedir.

Yapının içerisinde kullanıcıların kendini konforlu hissedebilmesi için yapı içerisindeki mekânın, belirli miktarda bir neme sahip olması gerekmektedir. Mekânın içerisindeki nem (su buharı) miktarı sıcaklık ile doğru orantılı olduğundan dolayı, iç mekândaki sıcaklığa dikkat edilmelidir. Yüksek sıcaklıklarda iç mekândaki havayı su buharına doyurmak için gereken nem miktarı, düşük sıcaklıklarda iç mekândaki havayı su buharına doyurmak için gerekli olan nem miktarından daha fazladır. Örneğin iç mekân sıcaklığı 20°C iken ihtiyaç duyulan nem miktarı 14 kg iken, sıcaklık 25°C'ye çıkartıldığında gerekli olan nem miktarı 20 kg'dır (Güler 2005).

ASHRAE Standardı, kapalı hacimler için en uygun bağıl nem oranının %30 ile %60 arasında olduğunu belirtmektedir (ASHRAE 62 1999).

Yapı içerisindeki nem oranının %70'den çok olması küf mantarının ve bakterilerin oluşumuna ve yayılmasına neden olmaktadır (Çobanoğlu ve Kiper, 2006). Bu mikroorganizmaların yapı içerisinde yayılması kullanıcıların sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir.

Yapıda kullanılan malzemeler, yapı içi hava niteliğini doğrudan etkilemektedir. Yapı malzemesi seçiminde malzemenin su buharı geçirgenlik özelliğine dikkat edilerek bir seçim yapılmalıdır. Yapı kabuğunun nefes alabilmesi, belirli ölçülerde

su buharını iki yönlü olarak geçirmesi, nem ve ısı konforunun sağlanması açısından oldukça önemlidir. Yapay ve kimyasal katkılı malzemeler, doğal malzemelerle karşılaştırıldığında daha çok terlemeye sebep olmaktadır. PVC gibi yapay malzemelerinin su buharı geçirgenlik özelliği düşüktür. Bu sebeple yapıda ve yapı kabuğunda PVC kullanılan bir mekânda, havanın niteliği oldukça düşüktür. Doğal yapı malzemeleri belirli oranlarda su buharı geçirgenlik özelliğine sahip olduğundan dolayı, yeterli ısı yalıtımını sağlayabilecek kalınlıklarda tasarlanıp kullanıldığında iç konfor koşulları açısından uygun bir iç mekân ortamı yaratmaktadır. Nefes alabilme özelliği iyi olan ahşap, kiremit, kerpiç, alçı gibi malzemelerin kullanımı iç ve dış hava arasında sürekli bir alışveriş durumunu oluşturur. Beton, çimento, plastik, yağlı boya gibi malzemelerde ise tersi durum oluşmaktadır (Akman 1991, 2005; Güleryüz 2014).

Yapı belirli durumlarda kullanıcıları olumsuz etkileyebildiği gibi, kullanıcılar da yapıyı olumsuz etkileyebilmektedir. Kullanıcıların yapıyı olumsuz yönde etkilemesinin sonucu olarak yapıda bozulmalar ve olumsuzluklar meydana gelir ve bu olumsuzluklar sonuç olarak yine yapıyı kullanan kullanıcıları etkiler.

Bir yapının sağlıklı yapı olabilmesi ve gerekli niteliklerin yapıya kazandırılması esnasında farklı alanlardan uzmanlar bir arada çalışmalıdır. Yapının sağlıklı ya da sağlıksız olmasında tasarımcılar, yapı fizikçiler, mühendisler, üreticiler, kullanıcılar ve denetleyiciler büyük rol oynamaktadır (Balanlı ve Öztürk, 2006; Sarp, 2007). Bu grupların etkinliklerine bağlı olarak yapının sağlığının bozulmasına ya da sağlıksız yapı üretilmesine neden olabilecek etkenler Tablo 3.3'te verilmiştir.

Yapıyı ve yapı içi hava niteliğini kullanıcılar için sağlıklı ve konforlu bir şekilde üretirken doğal çevreyi korumak da son derece önemlidir. Kaynakların verimli kullanılması, enerjinin verimli tüketilmesi, zararlı gazların ve maddelerin doğaya salınımının aza indirgenmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve geri dönüştürülebilir malzemelerin kullanımı doğal çevreyi korumak için dikkat edilmesi gereken başlıca konulardır.

**Tablo 3. 3** Yapının sağlığının bozulmasına ya da sağlıksız yapı üretilmesine neden olabilecek etkenler (Balanlı ve Öztürk, 2006'dan uyarlanmıştır).

| ETKİLİ GRUPLAR | SAĞLIKSIZ YAPI ÜRETİLMESİNE NEDEN OLABİLECEK ETKENLER |
|---|---|
| Tasarımcılar, mimarlar, yapı fizikçiler, mühendisler, ürün tasarımcıları, vb. | • Çevresel etmenler ile kullanım ve üretim ihtiyaçlarının doğru ve tam olarak belirlememesi<br>• Çevresel etmenleri ve ihtiyaçları tasarıma yansıtamaması<br>• Alınan yanlış tasarım kararlarının uygulanması |
| Yapı ürünü ve yapı üreticileri | • Üretim kaynaklarının yeterli düzeyde değerlendirilmemesi<br>• Tasarımın doğru bir şekilde üretime yansıtılamaması<br>• Yanlış üretim kararı alınması |
| Kullanıcılar | • Yapının işlevine uygun kullanılmaması ya da tasarlanan işlevinde değişiklik yapılması<br>• Değişen çevresel etmenlere ve ihtiyaçlara bağlı olarak yapının fiziksel ve sosyal özelliklerini değiştirmesi<br>• Yeterli ve düzenli bakım onarımın yapılmaması |
| Denetleyiciler, yasa, tüzük, yönetmelik, şartname, standart, yönerge, özel belge | • Hiç olmaması veya yetersiz kalınması<br>• Uygulanmaması<br>• Uygulanmasını zorunlu kılan yaptırımların olmaması veya yetersiz kalması |

## 3.3 Yapıda Kullanılan Yapı Malzemelerinin İnsan Sağlığı, İç Mekân ve Doğal Çevre Konforu Üzerindeki Etkisi

Yapıyı oluşturan yapı malzemelerinin özelliklerinin iç mekân konforu, yapı içi hava niteliğini, insan sağlığı ve doğal çevre üzerindeki etkisi oldukça fazladır. Sürdürülebilir yaklaşımların önem kazanması ve insan sağlığının öneminin daha fazla anlaşılmasıyla tasarımcılar, daha doğal ve sürdürülebilir yapı ürünlerini tercih etmeye başlamış, çevreye olan zararlı etkileri daha aza indirerek doğal çevreyi korumayı ve aynı zamanda sağlıklı yapay çevreler oluşturmayı amaçlamışlardır. Malzemelerin seçiminde temel amaç kullanıcı ihtiyacına yönelik, tasarıma uygun ve yaşam döngüsü bakımından en uzun süreli malzemeyi seçmektir.

Tasarımcıların bu yaklaşımına göre yapı, bulunduğu topoğrafyanın ekolojik yapısı içerisinde bir yer alabilmeli, oraya uyum sağlayan ve ait olan bir yaklaşımla ele

alınmalıdır. Yerel malzeme ne ise onunla üretilip, ömrünü tamamladığında aynı yerde toprağa dönebilmeli veya geri dönüştürülebilmelidir. Aynı zamanda da içinde barındırdığı insanların sağlığına olumsuz etki etmemelidir (Kafesçioğlu ve Akman, 2011). En önemlisi ise yapı biyolojisi açısından yeterli niteliklere sahip sağlıklı bir yapı olarak tasarlanıp üretilmeli, kullanıcısının sağlığında olumsuz etki yaratmamalıdır.

Bu bağlamda ahşap esaslı malzemeler ve bu malzemelerden üretilen yapıların hem doğal çevre hem de insan sağlığı açısından oldukça önemli bir yere sahip olduğu düşünülmektedir.

Yapıda ahşap malzemenin kullanılması ve iç mekânda ahşabın görünür olarak bırakılması kullanıcıları hem görsel hem de duyusal olarak olumlu etkilemektedir. Ahşabın iç mekânda doğal halinde bırakılmasının iç mekânda sıcak bir etki oluşturduğu, kullanıcıları rahatlattığı ve olumlu karşılandığı yapılan araştırmalarda gözlemlenmiştir. Bununla beraber iyi bir iç mekân akustiği sağlamakta ve ses, diğer malzemelerle karşılaştırıldığında ahşap malzeme kullanılan mekânlarda daha yumuşak algılanmaktadır. Ayrıca ahşap, doğal bir malzeme olduğundan ve $CO_2$'yi bünyesinde depolayabildiğinden, yapı içi hava niteliğini yükseltmektedir (Hughes vd., 2017).

Yapı içerisinde kullanılacak ahşabın insan sağlığı ve doğal çevre üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için;

- üretilen ahşabın yerinde kullanılması ve nakliye sırasındaki giderlerin ve fosil yakıt kullanımının azaltılması,
- üretim aşamalarında formaldehit içermeyen yapıştırıcıların kullanılması,
- iç mekân iklimini dengede tutabilmesi (ısı, nem, $CO_2$ miktarı gibi…)
- akustik açıdan iyi olması,
- görsel açıdan iyi olması,
- temizlik açısından iyi olması,
- depreme karşı performans özelliklerinin yüksek olması,
- yangına karşı direncinin yüksek olması

gerekmektedir.

Atmosferde her yıl 10,65 milyar ton $CO_2$ gazı artışı yaşanmaktadır. Bu sebeple hammaddenin elde edilmesi ve malzemenin üretilmesi aşamalarında fazla enerji gerektirmeyen yöntemlerin uygulanması ve düşük enerji gerektiren malzemelerin tercih edilmesi gerekmektedir. Fosil enerji kaynaklarının kullanımı azaltılmalı ve enerjinin etkin kullanılması sağlanmalıdır (Bilge 2007; Güner 2019).

Ahşap diğer malzemelerle karşılaştırıldığında, bulunduğu ortamı temizleyen ve kendisini yenileyebilen tek yapı malzemesidir. Ahşap esaslı malzemeler doğal malzemeler olduğundan dolayı negatif karbon ayak izine sahiptir. Üretim ve üretim süreçlerinde saldıkları $CO_2$ miktarından daha çok $CO_2$ 'yi bünyelerinde depolarlar. Bu da doğaya verilen zararın azaltılmasında etkili olmaktadır (Cambiaso ve Pietrasanta, 2014).

Tablo 3.4'te yapı malzemelerinin üretiminde harcanan fosil enerji miktarları, Tablo 3.5'te yapı malzemelerinin üretiminde salınan ve depolanan karbon miktarları gösterilmektedir.

**Tablo 3. 4** Yapı malzemelerinin üretiminde harcanan fosil enerji miktarları (Tokyay 2017).

| Malzeme Tipi | Fosil Yakıt Enerji (MJ/kg) | Fosil Yakıt Enerji (MJ/m³) |
|---|---|---|
| Zımparalanmamış Kereste | 15 | 750 |
| Çelik | 35 | 266.000 |
| Beton | 2 | 4.800 |
| Alüminyum | 435 | 1.100.000 |

**Tablo 3. 5** Yapı malzemelerinin üretiminde salınan ve depolanan $CO_2$ miktarları (Tokyay 2017).

| Malzeme Tipi | Salınan Karbon (kg/t) | Salınan Karbon (kg/m³) | Depolanan Karbon (kg/m³) |
|---|---|---|---|
| Zımparalanmamış Kereste | 30 | 15 | 250 |
| Çelik | 700 | 5.320 | 0 |
| Beton | 50 | 120 | 0 |
| Alüminyum | 8.700 | 22.000 | 0 |

Yirmi birinci yüzyılda Avrupa ve Amerika'da ahşap yapı üretiminde en çok kullanılan üç endüstriyel ahşap ürün yapı biyolojisi açısından incelenmiştir.

### CLT 'nin Yapı Biyolojisi Açısından İncelenmesi

Kapalı ofis yapılarında çalışan veya yaşayan insanlar tarafından bildirilen rahatsızlıklara sebep olan temel faktör uçucu organik bileşiklerdir (Volatile Organic Compounds-VOC). Endüstriyel ahşap ürünlerde kullanılan yapıştırıcıların, uçucu organik bileşiklerden formaldehit içerip içermemesi büyük önem taşımaktadır. Bunu araştırmak için FPInnovations laboratuvarlarında farklı kalınlıklara ve farklı sayıda tutkal hattına sahip beş farklı CLT malzeme üretilmiş, formaldehit, asetaldehit ve VOC emisyonları test edilerek incelenmiştir. CLT paneller üretilirken lameller birbirine poliüretan yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır. Deney sonucunda beş CLT panel arasındaki analiz verileri birbirine oldukça yakın sonuçlanmış ve VOC seviyeleri oldukça düşük değerlerde gözlemlenmiştir. Belirlenen az sayıdaki VOC'lar ise, ahşap malzemenin reçinesinde doğal olarak bulunan terpen bileşiklerinden kaynaklı oluşmaktadır. Deney sonucunda CLT'nin yapı içi hava niteliği üzerinde olumsuz etkisinin ihmal edilebilir düzeyde sıfıra yakın olduğu sonucu elde edilmiştir (Douglas ve Karacabeyli, 2013).

EPD raporlarından elde edilen bilgiler doğrultusunda CLT ürünlerin yapı içi hava niteliğinde olumsuz bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür (EK-A).

İnsan sağlığı ve yapı içi hava niteliği açısından olumsuz özelliğe sahip olmayan CLT paneller geri dönüştürülebilir ahşap malzemelerdir ve kullanım ömürlerini doldurduklarında tekrar dönüştürülerek kullanılabilirler.

CLT panel özellikleri, Şekil 3.7'de gösterilmiştir.

| CLT Panel Kesiti | Ağaç Türü | Kullanım Alanı | Nem İçeriği | Tutkal Türü |
|---|---|---|---|---|
|  | Ladin, Ara tabakalarda çam ya da karaçam içerebilir. | 3 tabakalı; duvar elemanı, merdiven<br>5 tabakalı; döşeme elemanı | %12 ± %2 | Formaldehit içermeyen tutkal, poliüretan tutkal |

| İç Mekan Konforuna Etkisi | Akustik Konfor | Yangın Dayanımı | Ön Üretim, Hızlı Montaj | Negatif Karbon Ayak İzi | Betonarme, Çelik ile Kullanım | U değeri |
|---|---|---|---|---|---|---|
| + | + | + | + | + | + | 0,12 W/m²K |

+ Olumlu – Olumsuz o Nötr

**Şekil 3. 7** CLT panel özellikleri.

### LVL 'nin Yapı Biyolojisi Açısından İncelenmesi

LVL tamamen yenilenebilir ve geri dönüştürülebilir kaynaklardan üretilebilmektedir. Bu özelliği sayesinde doğal çevreyi korumuş ve kaynakların gereksiz kullanımını azaltmış olur. 1 $m^3$ LVL, 789 kg $CO_2$ 'ye eşdeğer depolanmış karbonu bünyesinde içerir. Bu da LVL'yi çevre dostu bir ürün haline getirmektedir.

LVL'nin üretim aşamasındaki kullanılan maddeler ve çevresel ürün beyanı (Environmental Product Declaration-EPD) verileri incelendiğinde, insan sağlığına zararlı herhangi bir bileşen açığa çıkarmadığı görülmektedir. LVL ürünlerin iç mekân hava niteliğinde olumsuz bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür.

LVL panel özellikleri, Şekil 3.8'de gösterilmiştir.

| LVL Panel Kesiti | Ağaç Türü | Kullanım Alanı | Nem İçeriği | Tutkal Türü |
|---|---|---|---|---|
|  | Ladin, çam, kayın ve huş ağacı | Duvar, döşeme, kiriş, çatı paneli | %8 - %10 | –Fenol resin %5,3<br>–Melamin formaldehit resin < 0,1<br>(İncelenen iki farklı EPD raporuna göre bu maddeler herhangi bir zararlı etki taşıma-maktadır.) |

| İç Mekan Konforuna Etkisi | Akustik Konfor | Yangın Dayanımı | Ön Üretim, Hızlı Montaj | Negatif Karbon Ayak İzi | Betonarme, Çelik ile Kullanım | U değeri |
|---|---|---|---|---|---|---|
| + | + | + | + | + | + | 0,13 W/m²K |

+ Olumlu – Olumsuz o Nötr

**Şekil 3. 8** LVL panel özellikleri.

### Glulamın Yapı Biyolojisi Açısından İncelenmesi

Glulam, sağlık açısından risk oluşturabilecek içerikler içermeden üretilmektedir. Glulam üretilirken, formaldehit içermeyen yapıştırıcılarla birleştirildiği için doğal çevreye ve insanlara zarar vermez. İç mekân konforunu olumsuz etkilemez ve iç

mekâna zararlı bileşenler salmaz. İç mekân sıcaklığını, nemini ve havanın kalitesini dengeler. Görünür olarak iç mekânda kullanıldığında, kullanıcılar üzerinde pozitif bir etki oluşturur (StoraEnso 2022). Glulamın üretim aşamasındaki kullanılan maddeler ve çevresel ürün beyanı (Environmental Product Declaration-EPD) verileri incelendiğinde, insan sağlığına zararlı herhangi bir bileşen açığa çıkarmadığı görülmektedir. EPD raporlarından elde edilen bilgiler doğrultusunda glulam ürünlerin yapı içi hava niteliğinde olumsuz bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür.

Glulamın özellikleri, Şekil 3.9'da gösterilmiştir.

| LVL Panel Kesiti | Ağaç Türü | Kullanım Alanı | Nem İçeriği | Tutkal Türü |
|---|---|---|---|---|
|  | Ladin, çam, karaçam, meşe, kestane ağacı | Kolon, kiriş | %15 ± %3 | Emülsiyon polimer izosiyanat (EPI) (İncelenen iki farklı EPD raporuna göre bu yapıştırıcı, çok düşük emisyonlu olduğu için herhangi bir zararlı etki taşımamaktadır.) |

| İç Mekan Konforuna Etkisi | Akustik Konfor | Yangın Dayanımı | Ön Üretim, Hızlı Montaj | Negatif Karbon Ayak İzi | Betonarme, Çelik ile Kullanım | U değeri |
|---|---|---|---|---|---|---|
| + | + | + | + | + | + | 0,13 W/m²K |

+ Olumlu – Olumsuz o Nötr

**Şekil 3. 9** Glulamın özellikleri.

## 3.4 Yapıda Kullanılan Yapı Malzemesinin Isı İletkenlik ve Isı Geçirgenlik Katsayısının İç Mekân İklim Konforu Açısından Önemi

Farklı malzeme katmanlarından oluşan bir yapı elemanının 1 m²'sinden birim zamanda geçen ısı miktarına ısı geçirgenlik (U) değeri denir. İç mekân konforunun sağlanabilmesi için dikkat edilmesi gereken en önemli faktörlerden biri, kullanılan malzemelerin ısıl geçirgenlik (U) değeridir. Bir yapı malzemesinin ısı geçirgenliği, o malzemenin ısı geçirgenlik direnci (R) ve yüzeysel ısı geçirgenlik direnç değerleri (Ri-Re) ile ilişkilidir ve toplamlarıyla ters orantılıdır. Dış kabuk yapı elemanının yüzeysel ısı geçirgenlik değerleri, iç yüzeyinde karşılaştığı ısı iletim direnci (Ri) ve dış yüzeyde karşılaştığı ısı iletim direnci (Re) şeklindedir (TS 825 2008).

Çok tabakalı yapı malzemelerinde ısı geçirgenlik direnci her bir yapı malzemesi elemanının ısı geçirgenlik değerlerinin toplamına eşittir. Isı geçirgenlik direnci

yüksek olan bir yapı malzemesinin ısıyı geçirebilme özelliği düşüktür (TS 825 2008).

Bir yapı malzemesinin ısıl geçirgenlik direnci (R), o yapı malzemesinin toplam λ değerine ve kalınlığına bağlıdır. λ değeri, bir yapı malzemesinin ısıyı ne kadar ilettiğini gösteren bir değerdir ve bu değer her malzemede farklılık göstermektedir.

Malzemeler için bu değerler TS 825 "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları" standardında tanımlanmıştır. Yapı malzemesinin toplam kalınlığı arttığında geçirgenlik direnci de artmaktadır (TS 825 2008).

U ve R değerlerini bulmamızı sağlayan formüller:

| | |
|---|---|
| $$R = \frac{\mathrm{d\ (m)}}{\lambda\ (\mathrm{W/mK})}$$ | (3.1) |
| $$U = \frac{1}{\mathrm{Re} + \mathrm{R} + \mathrm{Ri}} = \frac{\lambda\ (\mathrm{W/mK})}{\mathrm{d\ (m)}}$$ | (3.2) |

şeklindedir (TS 825 2008).

Bu formüllerde;

R: ısı geçirgenlik direnci ($m^2K/W$)

Ri: iç yüzeyin yüzeysel ısı iletim direnci ($m^2K/W$)

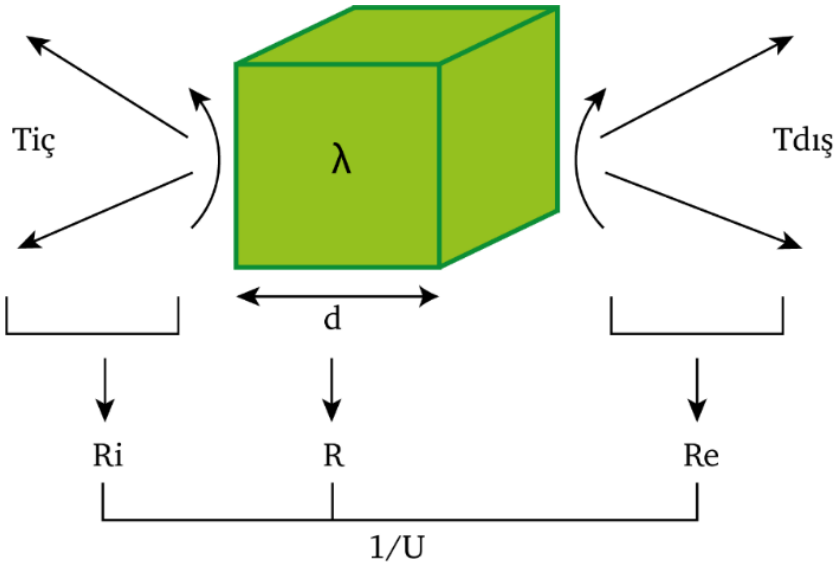
Re: dış yüzeyin yüzeysel ısı iletim direnci ($m^2K/W$)

U: ısı geçirgenlik katsayısı ($W/m^2K$)

d: malzeme kalınlığı (m)

λ: ısı iletkenliği katsayısıdır. (W/mK)

Şekil 3.10 'da U ve R değerleri arasındaki ilişki şematik olarak gösterilmiştir.




**Şekil 3. 10** R ve U değerleri arasındaki ilişki.

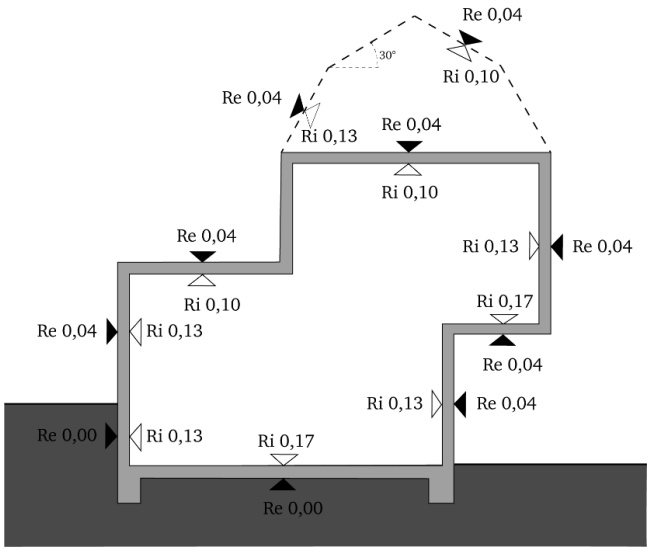
İç ve dış yüzeylerin yüzeysel ısı geçirgenlik (iletim) direnç değerleri (Ri-Re) için, TS 825'e, DIN 4108-2'ye ve DIN EN ISO 6946'ya göre standart değerler belirtilmiştir. Türkiye'de, TS 825'e göre bu iç ve dış yüzeylerin ısı iletim direnç değerleri Tablo 3.6'da gösterilmiştir.

Bir yapı malzemesi kesitinin toplam R değeri ne kadar büyük ve U değeri ne kadar küçük olursa, o yapının ısı kaybı daha az olmaktadır. Dolayısıyla malzeme kalınlığını artırmak veya ısı iletkenliği yüksek malzemeler tercih etmek U değerinin küçük olması için önemlidir. Bir malzemenin ısı yalıtım malzemesi olarak adlandırılabilmesi için ısı iletkenliği yani λ değeri 0,1 W/mK 'den az olmalıdır. Düşük kütle yoğunluğuna sahip malzemeler iyi birer yalıtım malzemeleridir. Malzemelerdeki yüksek ısı iletkenliği, malzemenin kullanıldığı yapıda yüksek ısı kayıplarına neden olmaktadır.

Uluslararası standartlar DIN 4108-2 ve DIN EN ISO 6946'ya göre, bu iç ve dış yüzeylerin ısı iletim direnç değerleri Şekil 3.11'de şematik olarak gösterilmiştir.

**Tablo 3. 6** Hesaplanmış yüzeysel ısı iletim direnç değerleri (TS 825 2008).

| Sıra No | Yapı Bileşeni Tipi | Yüzeysel Isıl İletim Direnci | |
|---|---|---|---|
| | | Ri ($M^2k/W$) | Re ($M^2k/W$) |
| 1 | Dış duvar | 0,13 | 0,04 |
| 2 | Arkadan havalandırılan giydirme cepheli dış duvarlar, ısı yalıtımı yapılmayan tavan arasını ayıran alçak duvarlar | 0,13 | 0,08 |
| 3 | Daireler arasındaki ayırıcı duvarlar, merdiven duvarı, farklı kullanım amaçlı çalışma odalarını ayıran duvarlar, sürekli olarak ısıtılmayan mekânlara bitişik bölme duvarı, ısı yalıtımlı tavan arasına bitişik alçak duvar | 0,13 | Yapı bileşeni iç mekânda ise iç ve dış değer aynı kabul edilir. |
| 4 | Toprak temaslı dış duvar | 0,13 | 0 |
| 5 | Bir yaşama mekânının dış hava ile sınırını oluşturan yatay veya eğimli, yukarıda yer alan (havalandırılmayan çatı) tavan veya çatı | 0,13 | 0,04 |
| 6 | Kullanılmayan bir tavan arası veya havalandırılan bir mekân altındaki tavan (havalandırılan çatı kabuğu) | 0,13 | 0,08 |
| 7 | Daireler arası ayırıcı taban veya farklı kullanım amaçlı çalışma odalarını ayıran taban | | |
| 7.1 | Aşağıdan yukarıya ısı akışı olması hâlinde | 0,13 | Yapı bileşeni iç mekânda ise iç ve dış değer aynı kabul edilir. |
| 7.2 | Yukarıdan aşağıya ısı akışı olması hâlinde | 0,17 | |
| 8 | Bodrum tavanı | 0,17 | Yapı bileşeni iç mekânda ise iç ve dış değer aynı kabul edilir. |
| 9 | Bir yaşama mekânının dış hava ile sınırını oluşturan çıkma tabanları | | 0,04 |
| 10 | Altında bodrum olmayan bir yaşama mekânının zemine oturan tabanı | | 0 |




**Şekil 3. 11** DIN 4108-2 ve DIN EN ISO 6946 'ya göre yüzeysel ısıl iletim direnç değerleri (Duzia ve Bogusch, 2014).

Yeni yapılacak olan bir yapının dış kabuğundaki yapı malzemelerinin U değerlerini bilmek ve bunu dikkate alarak malzeme seçimi yapmak; yapının ısıtma enerjisi ihtiyacını ön görmek, ideal enerji performansını sağlayabilmek, yapının ısı kaybını önlemek ve iç mekân konforunu sağlamak için önemlidir.

Var olan yapılarda yapılacak olan tamirat ve tadilatlarda TS 825 'de tavsiye edilen U değerleri, mevcut binada uygulama yapılacak bölümler için sınır değer olarak kabul edilmelidir. Yapı malzemelerinin cinsinin, boyutlarının ve detay çözümlerinin yer aldığı bir rapor hazırlanmalıdır (TS 825 2008).

Bir yapının iç hava niteliğinin ve yapının enerji performansının verimli olabilmesi için bina kabuğunun tüm bileşenleri kabul edilebilir alt ve üst U değerlerine sahip olmalıdır.

Kabul edilebilir bu U değer aralıkları:

- Duvarlar için U değerleri: $0.20 < U_{duvar} < 0.50$
- Döşemeler için U değerleri: $0.20 < U_{döşeme} < 0.90$
- Çatılar için U değerleri: $0.20 < U_{çatı} < 0.45$

şeklindedir (Balasbaneh ve Sher, 2021).

TS 825 kapsamında ise Türkiye için, illerin bulunduğu coğrafi konumlarının iklim şartlarına göre dört farklı derece-gün bölgesi belirlenmiştir (Şekil 3.12). Bu farklı

sınıflandırmada belirleyici olan faktörler ise, hesaplamalarda kullanılan aylık ortalama sıcaklık değerleri ve güneş ışınlarının ışınım şiddeti olmuştur. Bu dört farklı bölgeye göre, yapı elemanları için en fazla değer olarak kabul edilebilecek U değerlerini belirlenmiştir (Tablo 3.7). Bazı yapı malzemelerinin belirlenen kalınlıklarda hesaplanan U değerleri Tablo 3.8 'de gösterilmiştir.




**Şekil 3. 12** TS 825'e göre Türkiye'nin derece-gün bölgesi sınıflandırması (EmaWall 2022).

**Tablo 3. 7** Dört farklı bölgeye göre, yapı elemanları için en fazla değer olarak kabul edilebilecek U değerleri (TS 825 2008).

| | U duvar (W/m²K) | U tavan (W/m²K) | U döşeme (W/m²K) | U pencere (W/m²K) |
|---|---|---|---|---|
| 1.Bölge | 0,7 | 0,45 | 0,7 | 2,4 |
| 2.Bölge | 0,6 | 0,4 | 0,6 | 2,4 |
| 3.Bölge | 0,5 | 0,3 | 0,45 | 2,4 |
| 4.Bölge | 0,4 | 0,25 | 0,4 | 2,4 |

**Tablo 3. 8** Bazı yapı malzemelerinin belirli kalınlıklardaki U değerleri (TS 825 2008).

| Yapı Malzemesi | Kalınlık | U değeri (W / m²K) |
|---|---|---|
| Beton duvar | 25 cm | 3,3 – 3,7 |
| Tuğla duvar | 24 cm | 1,5 – 1,8 |
| 17,5 cm tuğla duvar + yalıtım köpüğü | 30 cm | ~ 0,32 |
| Gaz beton | 40 cm | 0,163 – 0,210 |
| HEB çelik kolon* | 10x10 cm | 480 |
| PVC | 5 cm | 2,7 |
| Masif ahşap | 20,5 cm | 0,5 |
| CLT | maksimum 35 cm | 0,12 |
| LVL | maksimum 7,5 cm | 0,13 |
| Glulam (GLT) | maksimum kesit 28x28 cm | 0,13 |
| Taş yünü | 10 cm | 0,35 – 0,5 |
| Cam yünü | 10 cm | 0,35 – 0,5 |
| Çift camlı pencereler | 2,4 cm | 2,8 – 3,0 |
| Isı yalıtım camlı pencereler | 2,4 cm | 1,0 – 1,3 |
| Pasif ev standardı pencereleri | 30 cm | 0,5 – 0,8 |
| * çelik, yapıda masif duvar elemanı olarak kullanılamamaktadır. Verilen U değeri, 10 cm kalınlığında masif çelik bir duvar olma durumu sonucudur. | | |

Yapı malzemelerinin yenilenebilir, geri dönüştürülebilir ve ihtiyaçlara cevap verecek nitelikte olması gerekmektedir. Fiziksel dayanımı ve mekanik performansı yüksek olmalı ve aynı zamanda iç mekân konforuna olumlu etki etmeli, doğal çevreye ve oluşturduğu yapı içerisinde bulunan kullanıcılara sağlıklı bir iç ve dış çevre sunmalıdır. Fosil yakıtları yüksek miktarda kullanan, yüksek enerji tüketimine sebep olan, yenilenemeyen, insan sağlığına zararlı yapı malzemeleri tercih edilmemelidir.

Tasarıma paralel olarak tüm bu etkenler göz önüne alınmalı ve en doğru yapı malzemesi tercih edilmelidir.

Bölüm 4'te, tasarlanan bir konut tasarımının çağdaş ahşap yapım sistemleri kullanılarak, yapıyı oluşturan duvar ve döşeme elemanlarının farklı yapı ürünlerinden üretildiği üç farklı yapı tasarımı yapı içi hava niteliği açısından

incelenmiştir. Her bir tasarım için, yapıyı oluşturan dış duvar ve döşeme elemanlarının U değerleri ve belirlenen ortak verilerle birlikte SimRoom simülasyon programında yapı iç hava niteliği hakkında çıktılar elde edilerek yorumlanmıştır.

Yapı içi hava niteliğin yorumlarken kullanılacak çıktı verileri:

- Yapı içi hava sıcaklığı,
- Yapı içi nem oranı,
- Yapı içi $CO_2$ oranı,
- Yapı içi hava niteliği

ve bu verilerin birbirleriyle olan ilişkileri şeklindedir.

# 4
# ÇAĞDAŞ AHŞAP HİBRİT SİSTEMLERİN YAPI BİYOLOJİSİ BAĞLAMINDA İRDELENMESİ

Dördüncü bölümde irdeleme;

- Analiz için tasarlanan konut yapısının tanıtılması,
- Değerlendirmede kullanılan simülasyon aracının tanıtılması,
- Çağdaş ahşap yapım sistemleri ile tasarlanan üç farklı tasarımın tasarlanan örnek yapıya uyarlanması, duvar, döşeme ve taşıyıcı sistemi oluşturan yapı ürünlerinin belirlenmesi ve bu ürünlerinin U değerlerinin elde edilerek çevresel etkilerinin incelenmesi,
- Analizler için ortak ve farklı verilen belirlenmesi,
- Verilerin simülasyon programına aktarılması ve yapı içi hava niteliği analizinin yapılması,
- Analiz sonuçlarının karşılaştırılması ve değerlendirilmesi

adımları ile gerçekleştirilmiştir.

## 4.1 Değerlendirme İçin Tasarlanan Konut Yapısının Tanıtılması

Yapı, her katta iki kişi için tasarlanmış bir konutun olduğu ve bu konutların merdiven kulesi ile birleştiği bloklardan oluşmaktadır. Analiz, iki kişinin yaşadığı bir konutta yapılmıştır. Analizde bir konutu sınırlandıran döşemelerin aynı olması için ara katta yer alan bir konut ele alınmıştır. Yapının kat planı, kesiti ve görünüşleri Şekil 4.1'de verilmiştir.

SimRoom simülasyon programında belirli ülkelerdeki belirli şehirlerin iklim verileri bulunmaktadır. Türkiye'den İstanbul ili iklim verileri simülasyonda yer aldığı için analizde yapının konumu olarak İstanbul seçilmiştir. Analizin yapıldığı tarih olarak günün sıcak ve uzun olduğu 15 Haziran günü belirlenmiştir. Yapının künyesi Tablo 4.1'de gösterilmiştir.




**Şekil 4. 1** Analiz için tasarlanan konutun kat planı, kesiti ve görünüşleri.

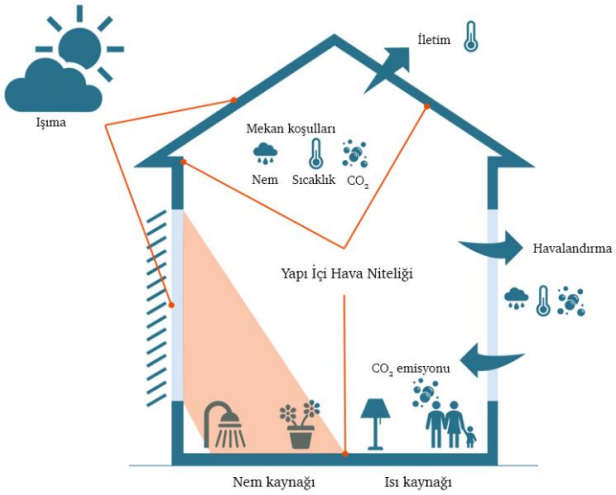
**Tablo 4. 1** Tasarlanan konutun künyesi.

| | |
|---|---|
| **Konum** | İstanbul/Türkiye |
| **Yapıyı kullanan kişi sayısı** | 2 |
| **Yapının kullanım tipi** | Konut |
| **İncelenecek kat** | 1.Kat |
| **Yapının kat planı ölçüleri** | 18 x 6 m |
| **Yapının brüt döşeme alanı** | 108 $m^2$ |
| **Yapının net döşeme alanı** | 94,75 $m^2$ |
| **Yapının cephe kat yüksekliği** | 3 m |
| **Yapının iç mekân yüksekliği** | 2,7 m |

## 4.2 Değerlendirmede Kullanılan Simülasyon Aracı

Yapının elemanlarının (duvar, döşeme ve taşıyıcı sistem) farklı yapı ürünleri ile tasarlanması ve U değerlerinin elde edilmesi, yapı elemanlarının çevresel etkilerinin yorumlanabilmesi ve ısı diyagramlarının elde edilebilmesi için Ubakus adlı web tabanlı çevrimiçi platform kullanılmıştır. Platformun kurucusu Alman fizik bilimi doktoru Ralf Plag'tır. Platforma ücretsiz üyelik ile kısıtlı olarak erişilebilirken, öğrenci e-posta adresi ile öğrenci üyeliği elde edilerek tam sürümde kullanılabilmektedir.

Tasarlanan yapı elemanları ve elde edilen U değerleri ve yüzey alanlarıyla birlikte yapının iç mekân hava iklimlendirmesi hakkında sayısal veriler elde edebilmek ve elde edilen verilerle bir değerlendirme yapabilmek için SimRoom V 4.223 simülasyon programı seçilmiştir. Simülasyonun hızlı bir şekilde 2-4 saniye aralığında sonuçlanması, makrolarla çalışan Excel tabanlı kolay bir ara yüze sahip olması ve sonuç çıktılarının değerlendirmenin amacı ve kapsamına uygun ve anlaşılır grafiklerle raporlanabiliyor olması SimRoom'un seçilme nedenlerini oluşturmaktadır. Kısa sürede tasarlanan yapı veya mekân için yapı içi hava niteliği hakkında sonuçlar elde edilebilmektedir. SimRoom simülasyon aracıyla, bir yapı veya bir mekânın iç hava sıcaklığı, iç hava nemi, iç hava $CO_2$ konsantrasyonu ile yapının performansı ve enerji dengesi saatlik adımlara bölünerek hesaplanabilmektedir. SimRoom yapı-mekân modeli Şekil 4.2'de gösterilmiştir.




**Şekil 4. 2** SimRoom yapı-mekân modeli (Lichtmeß 2022).

Programın yaratıcısı, Alman endüstri mühendisi ve yapı fiziği mühendisliği doktoru, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik alanında uygulamalı araştırmalar yapan Yapı Enerji Araştırmaları Enstitüsü kurucusu Markus Lichtmeß'tir. Bu simülasyon programı iki farklı lisans türü içermektedir. Ticari amaçla kullanım için iletişime geçilerek lisans satın alınabilirken, ticari olmayan kullanım için öğrenci lisansı kullanılabilmektedir. Tez kapsamında kullanmak üzere öğrenci lisansı için Markus Lichtmeß ile iletişime geçilmiş ve ücretsiz öğrenci lisansı elde edilmiştir.

SimRoom simülasyon programı girdi ve çıktı verileri Tablo 4.2'de gösterilmiştir.

**Tablo 4. 2** SimRoom veri girdileri ve elde edilen çıktılar.

| **Girdiler** | **Çıktılar** |
|---|---|
| Konum/İklim | İç Mekân Sıcaklığı |
| Isı Korunumu | $CO_2$ Konsantrasyonu |
| Yapı Tasarımı | İç Mekân Nemi |
| Strüktür | İç Mekân Konforu |
| Yapı Kullanımı | Isıtma Kapasitesi |
| Depolama Kütlesi | Soğutma Kapasitesi |
| Havalandırma | Enerji Tüketimi |

SimRoom simülasyon programında kullanılan en önemli veriler; bir yapıyı veya mekânı çevreleyen dış duvarların, kolonların, kirişlerin, pencerelerin, kapıların ve döşemelerin yüzey alanları ve bu yapı elemanlarının U değerleridir.

SimRoom'da giriş panelinde incelenecek mekânın;

- net yüzey alanı,
- yüksekliği,
- kişi sayısı,
- kullanıcı yoğunluğu,
- kullanıcı sayısına bağlı enerji tüketim miktarı,
- ısıtma ve sıcak su sistemleri,
- varsa fotovoltaik sistem verileri,
- varsa aktif havalandırma sistem verileri,
- pasif havalandırma verileri,
- havanın belirli mekanlar için değişim hızı verileri,
- varsa güneş koruyucu panel, saçak ve güneş kırıcıların cephe, açı ve boyut verileri,
- pencerelerin güneş koruma kapasitesi,
- dış yüzeylerinin ısı ve nem depolama kapasitesi verileri,
- kullanım şekli verileri

girilebilmektedir (EK B).

Simülasyonu sonucunda elde edilen çıktılar çağdaş ahşap yapım sistemi üzerinden örnek olarak EK B'de gösterilmiştir.

SimRoom'da sarı işaretli kutucuklara gelindiğinde girilmesi gereken değerlerle ilgili ipuçları verilmektedir. Bu ipuçları, yönetmelikler ve normlardan elde edilen bilgiler doğrultusunda hazırlanmıştır.

Analizde kullanılan ölçütlerin verilerini elde etmede ilgili yönetmeliklerden, ilgili kuruluşların verilerinden ve SimRoom programındaki ipuçlarından yararlanılmıştır.

## 4.3 Değerlendirilen Yapının Yapım Sistemleri ve Yapı Elemanları

Tasarlanan konut, çağdaş ahşap yapım sistemi ve çağdaş ahşap betonarme yapım sistemi ile üç farklı şekilde incelenmiştir.

Çalışma kapsamında incelenen yapım sistemleri, strüktürleri, yapı elemanları, bu yapı elemanlarını oluşturan yapı ürünleri ve U değerleri ($W/m^2K$) ve termal kütleleri ($kJ/m^2K$) Tablo 4.3'te gösterilmiştir. Yapı elemanları Ubakus adlı web

platformunda oluşturulmuş ve U değerleri elde edilmiştir. Yapı elemanları tasarlanırken İstanbul'un ortalama sıcaklık ve nem yüzde verilerinin aylık değerleri TS 825 Standardından elde edilmiştir (TS 825 2008).

DIN 4108-3 Nem Korumasında Uygulanabilirlik Sınırları ve Gereklilikleri Standardına göre rutubet geçirmezlik için aşağıdaki koşulları belirtmiştir (DIN 4108-3 2014):

- İç mekânda 20°C sıcaklık-%50 nem
- Dış sıcaklık -5°C sıcaklık-%80 nem.

Yapı elemanlarında bu iç ve dış mekân sıcaklık ve nem yüzdesi verileri kullanılmıştır.

U değerleri bağlamında yapı elemanları incelendiğinde en iyiden en kötü değere doğru sıralama kolon ve kirişlerde;

- Glulam kolom-kiriş,
- Betonarme kolon-kiriş,

duvarlarda;

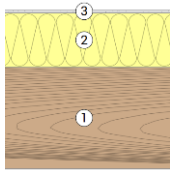
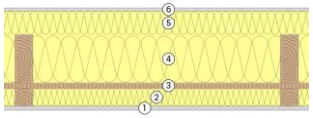
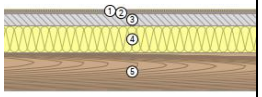
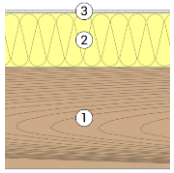
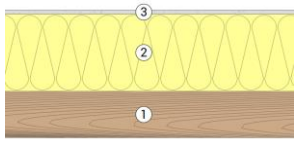
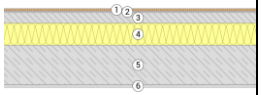
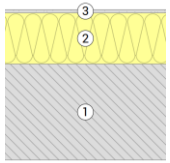
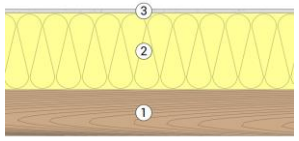
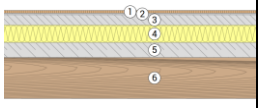
- Glulam-LVL-OSB ahşap duvar,
- CLT duvar

döşemelerde ise;

- CLT döşeme,
- Ahşap-betonarme hibrit döşeme,
- Betonarme panel döşeme

şeklinde olmaktadır.

**Tablo 4. 3** İncelenecek olan üç farklı yapı modeli.

| **Yapım Sistemi** | **Strüktür**<br>**Kolon:** 30*30 cm<br>**Kiriş:** 30/30 cm | | **U Değeri/ Termal Kütle** | **Yapı Elemanı**<br>**Duvar:** Kalınlık: 34 cm | | **U Değeri/ Termal Kütle** | **Yapı Elemanı**<br>**Döşeme:** Kalınlık: 30 cm | | **U Değeri/ Termal Kütle** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Çağdaş Ahşap Yapım Sistemi** | Glulam Kolon-Kiriş |  | 0,148/ 172 | Glulam-LVL-OSB Ahşap Duvar |  | 0,138/ 35 | CLT Döşeme |  | 0,228/ 117 |
| **Çağdaş Ahşap-Betonarme Hibrit Yapım Sistemi** | Glulam Kolon-Kiriş |  | 0,148/ 172 | CLT Duvar |  | 0,147/ 94 | Betonarme Panel Döşeme |  | 0,338/ 96 |
| **Çağdaş Ahşap-Betonarme Hibrit Yapım Sistemi** | Betonarme Kolon-Kiriş |  | 0,204/ 647 | CLT Duvar |  | 0,147/ 94 | Ahşap-Betonarme Hibrit Döşeme |  | 0,306/ 136 |

Yapıların termal kütleleri iç mekandaki konfor koşullarını sağlamak açısından oldukça önemlidir. Yapının dış duvar yüzeyinde biriken enerji, bir kısmı yapı ürünü katmanları tarafından tutularak yavaş bir şekilde geçer ve iç ortama verilir. Bu şekilde mekânı mekanik ısıtma soğutma ihtiyacı azaltılmış olur. Ağır malzemelerden oluşmuş termal kütleye sahip duvarlar, gündüz iç hava sıcaklığını dış ortama göre önemli oranda düşük tutarken, gece içinde depoladığı enerjiyi iç ortama vererek ısıtma ve iklimlendirme açısından konfor koşullarının sağlanması için gereken enerji miktarını azaltır. Sıcak nemli iklim bölgesinde termal kütlenin çabuk ısınıp soğuması istendiğinden dolayı düşük termal kütleye sahip malzemeler tercih edilmelidir. Kışın ısıtma ve yazın soğutma gerektiren karma iklimlerde ise yüksek termal kütle, yapıyı düşük maliyetle pasif olarak ısıtmaya ve soğutmaya yardımcı olabilmektedir (Koca 2006).

İstanbul yazın sıcak ve nemli bir iklime sahip olduğundan dolayı düşük termal kütleye sahip malzemeler tercih etmek, iç mekân sıcaklığını dengede tutmak, yapı içi hava niteliğini korumak ve soğutma maliyetlerini düşürmek için etkilidir.

Ubakus'tan elde edilen veriler ve yukarıda belirtilen bilgiler doğrultusunda yapı elemanları incelendiğinde en düşük termal kütleden en fazla termal kütleye doğru sıralama;

kolon-kirişlerde;

- glulam kolom-kiriş,
- betonarme kolon-kiriş,

duvarlarda;

- glulam-LVL-OSB ahşap duvar,
- CLT duvar,

döşemelerde;

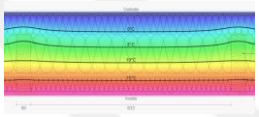
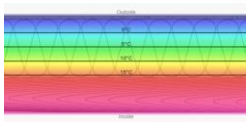
- betonarme panel döşeme,
- CLT döşeme,
- ahşap-betonarme hibrit döşeme

şeklinde olmaktadır.

Bu durumda İstanbul için glulam kolon kiriş strüktür, glulam-LVL-OSB ahşap duvar ve betonarme plak döşemeli çağdaş ahşap-hibrit yapım sistemine sahip bir yapının termal kütlesinin ideal olabileceği sonucu çıkarılabilmektedir.

Ubakus adlı web platformunda tasarlanan yapı elemanlarından duvarların yatay kesitlerinin ısı diyagramları Tablo 4.4'te gösterilmiştir. Her iki ahşap duvarda da yapı elemanlarını oluşturan yapı ürün tabakaları arasındaki ısı dağılımı düzenli şekildedir. Dış mekânda düşük sıcaklıklarda bile iç mekandaki sıcaklığın korunabildiği gözlemlenmiştir. Her iki ahşap duvarda da iç ve dış yüzeyler arasındaki ısı kaybı düşüktür. İç mekandaki sıcaklığın korunması, ani ısınma ve sıcaklık kayıplarının önlenmesi, yapıyı kullanan kullanıcıların konforu ve sağlığı açısından olumlu bir özelliktir.

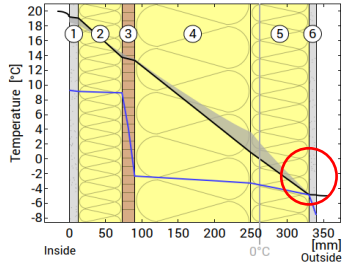
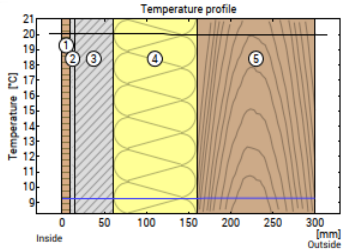
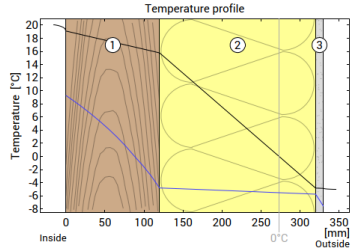
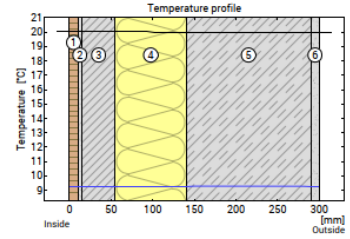
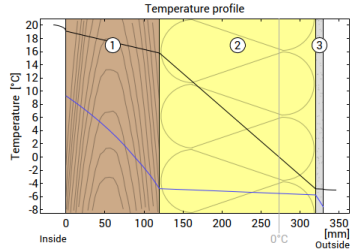
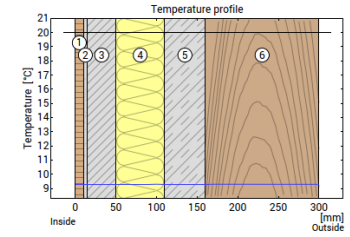
**Tablo 4. 4** Duvarların yatay kesitlerinin ısı diyagramları.

| | |
|---|---|
| **Glulam-LVL-OSB Ahşap Duvar** | dış<br><br>iç |
| **CLT Duvar** | dış<br><br>iç |

Yapı elemanlarının iç yapısındaki yoğuşma yapı ürünlerinin yapısını bozar ve yapı elemanının toplam U değerinin yükselmesine ve sonuç olarak ısı kayıplarının artmasına sebep olur. İç mekân sıcaklığını ideal değerde tutmak zaman içerisinde zorlaşır ve ısıtma soğutma giderleri artar, enerji tüketimi artar. Bu durumdan yapı içi hava niteliği olumsuz etkilenir. Yapı içi hava niteliğinin olumsuz etkilenmesi yapıyı kullanan kullanıcıların konforunun ve zamanla sağlığının bozulmasına neden olur.

Çiy noktası su buharının yoğuştuğu sıcaklığı gösterir. Yapı elemanının sıcaklık eğrisi çiy noktası eğrisinin üzerinde olduğu sürece yoğuşma olmaz. Eğrilerin arasında bir temas varsa ilgili konumda yoğuşma meydana geldiği anlamını taşımaktadır. Ubakus'tan yapı elemanlarının düşey ısı diyagramları ve çiy noktaları elde edilmiş ve Tablo 4.5'te gösterilmiştir.

**Tablo 4. 5** Yapı elemanlarının düşey ısı diyagramları ve çiy noktası eğrileri.

| **Duvar** | | **Döşeme** | | |
|---|---|---|---|---|
| Glulam-LVL-OSB Ahşap Duvar |  | CLT Döşeme |  | Yapı elemanlarından sadece glulam-LVL-OSB duvarın dış katmanında yoğuşma ihtimali düşük bir ihtimal bulunmaktadır. Diğer yapı elemanlarında sıcaklık eğrisi çiy noktasının üzerindedir ve hiçbir noktada iki eğri kesişmemektedir. Bu da hiçbir noktada yoğuşma olmadığı anlamına gelmektedir. |
| CLT Duvar |  | Betonarme Panel Döşeme |  | |
| CLT Duvar |  | Ahşap-Betonarme Hibrit Döşeme |  | Sıcaklık<br>Çiy noktası |

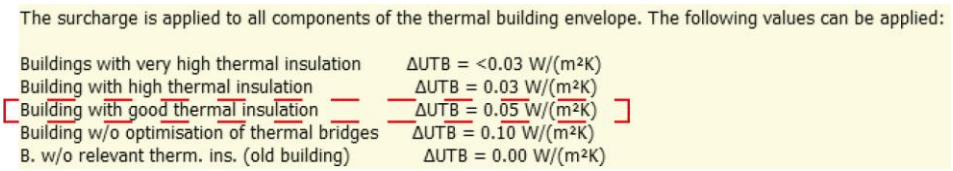
## 4.4 SimRoom Analizlerinde Kullanılan Farklı ve Ortak Veriler

Çalışma kapsamında yapılacak olan analizde; çağdaş ahşap sistemler kullanılarak farklı yapı ürünleriyle tasarlanan yapı elemanlarının ve bu yapı elemanlarının U değerlerinin yapı içi hava niteliğine etkilerinin incelemesi yapılacağından dolayı analizlerde, değişen yapı ürünlerine bağlı olarak sadece duvar ve döşemelerin U değerleri değişkenlik göstermiştir. Analizlerde kullanılacak farklı yapı elemanlarına ait farklı U değerleri Tablo 4.3'te verilmiştir.

Analizlerde ihtiyaç duyulan ve ortak kullanılacak veriler;

- cephelerin duvar, kolon, kiriş, pencere ve dış kapı alanları (Tablo 4.6),
- yapının brüt ve net döşeme alanları,
- mekânı kullanan kişi sayısı,
- mekandaki kullanıcı yoğunluğu değeri ($m^2$/kullanıcı sayısı)
- iki kişi yıllık ortalama elektrik tüketimi, 2020 yılında illerdeki kişi başına düşen yıllık net elektrik tüketimi TEDAŞ verileri,
- simülasyon programı ipuçlarından elde edilen, iyi yalıtılmış yapılar için iç enerjideki değişim değeri (ΔU) (Şekil 4.3),
- açıklıklarda kullanılan pencere tipi, pencerenin U değeri ve g değeri (TS 825 2008),
- yapı giriş kapısı U değeri (TS 825 2008),
- yapı kabuğu hava sızdırmazlığı (n50) değeri (DIN EN ISO 9972 2018),
- kullanım sırasındaki saatlik hava değişim değeri (DIN EN 4108-2 2013),
- pasif havalandırmada etkili pencere yüzdesi,
- sıcak su ve iç mekân ısıtma sistemi,

şeklinde sıralanabilir.




**Şekil 4. 3** Simülasyon programında yer alan ipuçlarından elde edilen iç enerjideki değişim değeri.

Analizlerde kullanılan ortak veriler Tablo 4.6 ve 4.7'de gösterilmiştir.

Tablo 4. 6 Yapı elemanlarının yüzey alanları.

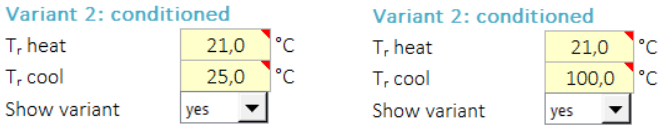
| | |
|---|---|
| **Yapının brüt döşeme alanı** | 108 m² |
| **Kuzey Cephesi Duvar Alanları** | 35,69 m² |
| **Güney Cephesi Duvar Alanları** | 28,41 m² |
| **Doğu Cephesi Duvar Alanları** | 12,33 m² |
| **Batı Cephesi Duvar Alanları** | 11,70 m² |
| **Kuzey Cephesi Pencere Alanları** | 10,48 m² |
| **Güney Cephesi Pencere Alanları** | 17,76 m² |
| **Doğu Cephesi Pencere Alanları** | 2,25 m² |
| **Batı Cephesi Pencere Alanları** | 2,88 m² |
| **Kuzey ve Güney Cephesi Toplam Kolon ve Kiriş Alanları** | 7,83 m² |
| **Doğu ve Batı Cephesi Toplam Kolon ve Kiriş Alanları** | 3,42 m² |
| **Dış Kapı Yüzey Alanı** | 2,2 m² |

Tablo 4. 7 Analizlerde kullanılan ortak veriler.

| | |
|---|---|
| **Yapının Net Döşeme Alanı** | 94,75 m² |
| **Yapıyı Kullanan Kişi Sayısı** | 2 |
| **Mekandaki Kullanıcı Yoğunluğu Değeri** | 47,4 |
| **Yapının iç mekân yüksekliği** | 2,7 m |
| **İki Kişi Yıllık Ortalama Elektrik Tüketimi** | 5078 kWh |
| **İç Enerjideki Değişim Değeri (ΔU)** | 0,05 W/m²K |
| **Ahşap Çerçeveli Alüminyum Çift Camlı Pencere U değeri, g değeri, gtot değeri** | U:1,00 W/m²K g:0,50; gtot:0,50 |
| **Alüminyum Dış Kapı U değeri** | 1,40 W/m²K |
| **Yapı Kabuğu Hava Sızdırmazlığı (n50) Değeri** | 1,50 /saat |
| **Kullanım Sırasındaki Saatlik Hava Değişim Değeri** | 0,3 /saat |
| **Pasif Havalandırmada Etkili Pencere Yüzdesi** | %3,0 |
| **Sıcak su ve iç mekân ısıtma sistemi** | Gaz ile çalışan kombi türü ısıtma |

Analizlerde aktif bir soğutma sistemi özellikle tercih edilmemiştir. Soğutma sistemleri mekân sıcaklığını istenen değerde sabit tutabilmektedir. Soğutma sistemi aktif olan yapılarda, yapı kabuğundaki yapı elemanlarının iç mekân iklimine etki sonuçları doğru bir şekilde elde edilememektedir. Soğutma sistemi devreye girdiği sıcaklıktan itibaren iç ortam sıcaklığı istenilen değerde sabit kalmakta ve bu nedenle analiz sonuçları doğru elde edilememektedir. Bu sebeple

analizlerde aktif soğutma sistemi kullanılmamış, soğutma değerinin olduğu derece bölmesine +100°C girilmiştir. (Şekil 4.4).




**Şekil 4. 4** Soğutma sistemli (sol) ve soğutma sistemsiz (sağ) girilmesi gereken değerler.

## 4.5 Verilerin Simülasyon Programına Aktarılması ve Yapı İçi Hava Niteliğinin Analizi

Tablo 4.3, Tablo 4.6 ve Tablo 4.7'deki verilerin EK A'da gösterilen ana ekran paneline girilmiş ve üç farklı analiz için elde edilen simülasyon sonuçlarının raporları EK C'de gösterilmiştir.

SimRoom simülasyon çıktılarından elde edilen, değerlendirmede incelenen ve karşılaştırılan alt başlıklar;

- iç mekan sıcaklığının iç mekan nem miktarı ile olan ilişkisi,
- yapı içi havanın niteliğinin (nem miktarı, $CO_2$ miktarı ve sıcaklık), tanımlanmış bir konfor kategorisi içinde olduğu sürenin yüzdelik oranına göre,
- iç mekan sıcaklığının dış sıcaklık ile olan ilişkisi,
- dış sıcaklığa bağlı olarak iç mekandaki $CO_2$ miktarı,
- iç ve dış hava arasındaki sıcaklık farkının bir sonucu olarak ortaya çıkan yıllık ısıtma talebi,
- yapının bir $m^2$'sini ısıtmak için gerekli olan yıllık enerji miktarı,
- yapının toplam enerji talebini karşılamak için gerekli olan birincil enerji miktarı ve toplam enerji tüketimine göre

ele alınmıştır.

Ayrıca yapı elemanları Ubakus'ta tasarlanırken elde edilen duvar ve döşeme elemanlarının doğal çevreye etkileri de ele alınarak karşılaştırılmıştır.

## 4.6 Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Değerlendirilmesi

Elde edilen analiz sonuçları altı ana başlıkta gösterilmiş ve değerlendirmesi yapılmıştır.

### 4.6.1 Doğal Çevreye Etki

Farklı yapım sistemleri ve strüktürlerde kullanılmak üzere tasarlanan yapı elemanlarını oluşturan yapı ürünlerinin birincil enerji (yağ, petrol, kömür, doğalgaz, nükleer enerji vb..) tüketim değerleri, yapı elemanlarının sera gazı üretim potansiyelleri, yapının ısıtma periyodu süresince metrekareden kaybettiği ısı miktarı Tablo 4.8'de gösterilmiştir. Ubakus'tan örnek olarak seçilen CLT duvar için elde edilen ve ürünlerin birincil enerji tüketim değerleri, yapı elemanını oluşturan yapı ürünlerinin etki oranları, ısı kaybı miktarı ve sera gazı üretim potansiyeli sonuçlarını içeren rapor detaylı olarak EK C'de verilmiştir.

**Tablo 4. 8** Yapı elemanlarının birincil enerji tüketim değeri, sera gazı üretim potansiyeli, ısıtma periyodu boyunca kaybedilen ısı kaybı miktarı.

| Yapı Elemanı | Birincil Enerji Tüketimi (kWh/m²) | Sera Gazı Üretimi ($CO_2$ Äqv. /m²) | Isı Kaybı (kWh/m²) |
|---|---|---|---|
| Glulam-LVL-OSB Ahşap Duvar | 120 | -22 | 8 |
| CLT Duvar | 97 | -72 | 9 |
| CLT Döşeme | 135 | -94 | 14 |
| Betonarme Panel Döşeme | 148 | 45 | 21 |
| Ahşap-Betonarme Hibrit Döşeme | 120 | -88 | 19 |
| Glulam Kolon-Kiriş | 58 | 16 | 9 |
| Betonarme Kolon-Kiriş | 142 | 75 | 12 |

Birincil enerji tüketimlerine göre duvar elemanları iyiden kötüye doğru sıralandığında; CLT duvar, glulam-LVL-OSB ahşap duvar şeklindedir.

Birincil enerji tüketimlerine göre döşeme elemanları arasında en iyi olan ahşap-betonarme hibrit döşeme; en kötü olan betonarme panel döşemedir.

Birincil enerji tüketimlerine göre kolon-kiriş elemanları iyiden kötüye doğru sıralandığında; glulam kolon-kiriş, betonarme kolon-kiriş şeklindedir.

Sera gazı üretim potansiyellerine göre duvar elemanları iyiden kötüye doğru sıralandığında; CLT duvar, glulam-LVL-OSB ahşap duvar şeklindedir.

Sera gazı üretim potansiyellerine göre döşeme elemanları arasında en iyi olan en iyi olan CLT döşeme; en kötü olan betonarme panel döşemedir.

Sera gazı üretim potansiyellerine göre kolon-kiriş elemanları iyiden kötüye doğru sıralandığında; glulam kolon-kiriş, betonarme kolon-kiriş şeklindedir.

Duvar elemanlarının ısıtma periyodu boyunca kaybettikleri ısı kaybı miktarına göre iyiden kötüye doğru sıralandığında; glulam-LVL-OSB ahşap duvar, CLT duvar şeklindedir.

Döşeme elemanlarının ısıtma periyodu boyunca kaybettiği ısı miktarı en az olan CLT döşeme; en çok olan betonarme panel döşemedir.

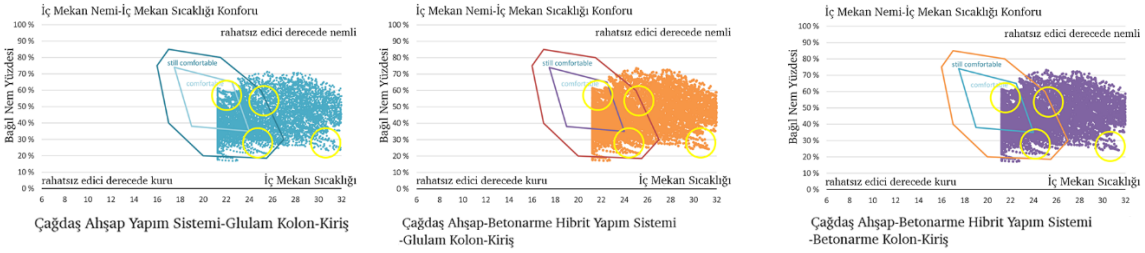
Kolon-kiriş elemanlarının ısıtma periyodu boyunca kaybettiği ısı miktarı en az olan glulam kolon-kiriş; en çok olan betonarme kolon-kiriştir.

### 4.6.2 İç Mekân Sıcaklığının İç Mekân Nem Miktarı ile Olan İlişkisi

ASHRAE konfor aralıklarına göre iç mekân sıcaklığı ile iç mekân bağıl nem oranına bağlı konfor grafikleri karşılaştırıldığında üç farklı sisteme ait analiz sonuçlarının benzer ve birbirine çok yakın olduğu, farkın çok az noktalarda oluştuğu gözlemlenmektedir. Tüm yapım sistemleri, 21°C sıcaklık %40-%65 bağıl nem aralığında ve 23°C sıcaklık %40-%55 bağıl nem aralığında konforlu bölge içerisinde yoğunluklu olarak yer almaktadır (Şekil 4.5). Üç analizde de iç mekân sıcaklığı ve nem birlikte artığında iç mekânda rahatsız edici derecede nemli bir etki oluşmaktadır. Bu durum, mekânı kullanan kullanıcılarda hoşnutsuzluğa

neden olur ve olumsuzluğun uzun süreli devam etmesi kişilerde sağlık sorunlarına yol açabilmektedir.

Yapılarda aktif bir soğutma sistemi kullanılarak konfor bölgesinin dışında kalan yüksek iç mekân sıcaklığı ve iç mekân nem değerleri kontrol altına alınarak dengelenebilir.




**Şekil 4. 5** İç mekan bağıl nemi-iç mekan sıcaklığı ilişkisi.

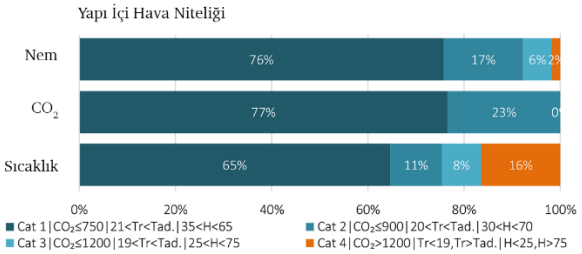
### 4.6.3 Yapı İçi Hava Niteliği

Analizde yapı iç hava niteliği dört farklı kategoriye ayrılarak verilmiştir. Kategoriler en konforludan en konforsuza doğru; kategori 1, 2, 3, 4 şeklinde sıralanabilir.

İncelenen yapım sistemlerinin yıl boyunca iç mekân neminin, sıcaklığının ve havadaki $CO_2$ miktarının dört farklı konfor kategorisi içerisinde olduğu süreler ve bu sürelerin oranları Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

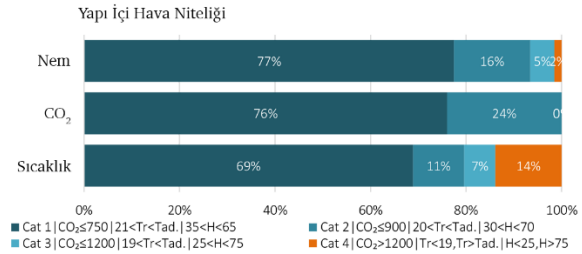
Tasarlanan yapının işlevinin konut olması nedeni ile kullanım süresi 24 saat ve 365 gün üzerinden 8760 saat olarak analizde hesaba katılmıştır.

SimRoom tarafından tanımlanmış konfor kategorilerindeki koşullara göre, yapım sistemlerinin iç mekân konforlarının kategoriler içerisinde bulunduğu sürelerin yıl içindeki miktarının yüzdelik oranına göre karşılaştırılması sonucunda elde edilen veriler incelendiğinde, farklı yapım sistemleri arasında çok büyük farklar gözlemlenmemiştir.



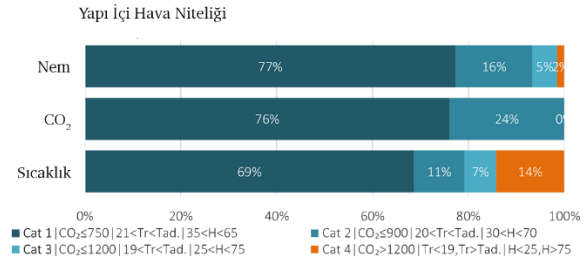

Çağdaş Ahşap Yapım Sistemi-Glulam Kolon-Kiriş

| Gözlem Periyodu: Kullanım Süresi: 8760 saat/yıl | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Kategori | | Cat 1 | Cat 2 | Cat 3 | Cat 4 |
| İç Mekan Hava Niteliği | | | | | |
| Nem | sa/yıl | 6.634 | 1.447 | 525 | 154 |
| | %/yıl | 75,7% | 16,5% | 6,0% | 1,8% |
| $CO_2$ | sa/yıl | 6.708 | 2.052 | 0 | 0 |
| | %/yıl | 76,6% | 23,4% | 0,0% | 0,0% |
| Sıcaklık | sa/yıl | 5.660 | 944 | 717 | 1.439 |
| | %/yıl | 64,6% | 10,8% | 8,2% | 16,4% |




Çağdaş Ahşap-Betonarme Hibrit Yapım Sistemi-Glulam Kolon-Kiriş

| Gözlem Periyodu: Kullanım Süresi: 8760 saat/yıl | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Kategori | | Cat 1 | Cat 2 | Cat 3 | Cat 4 |
| İç Mekan Hava Niteliği | | | | | |
| Nem | sa/yıl | 6.786 | 1.398 | 443 | 133 |
| | %/yıl | 77,5% | 16,0% | 5,1% | 1,5% |
| $CO_2$ | sa/yıl | 6.661 | 2.099 | 0 | 0 |
| | %/yıl | 76,0% | 24,0% | 0,0% | 0,0% |
| Sıcaklık | sa/yıl | 6.035 | 938 | 574 | 1.213 |
| | %/yıl | 68,9% | 10,7% | 6,6% | 13,8% |




Çağdaş Ahşap-Betonarme Hibrit Yapım Sistemi-Betonarme Kolon-Kiriş

| Gözlem Periyodu: Kullanım Süresi: 8760 saat/yıl | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Kategori | | Cat 1 | Cat 2 | Cat 3 | Cat 4 |
| İç Mekan Hava Niteliği | | | | | |
| Nem | sa/yıl | 6.779 | 1.397 | 451 | 133 |
| | %/yıl | 77,4% | 15,9% | 5,1% | 1,5% |
| $CO_2$ | sa/yıl | 6.663 | 2.097 | 0 | 0 |
| | %/yıl | 76,1% | 23,9% | 0,0% | 0,0% |
| Sıcaklık | sa/yıl | 6.012 | 927 | 576 | 1.245 |
| | %/yıl | 68,6% | 10,6% | 6,6% | 14,2% |

**Şekil 4. 6** Yapı içi hava niteliğinin tanımlanmış farklı konfor kategorileri içerisinde bulunduğu sürenin miktarının karşılaştırması.

Yapım sistemlerinin mekân içi nem yüzdesinin optimum değer aralığı olan kategori 1'de yıl içinde bulunma süreleri ve oranları karşılaştırıldığında en fazla süreden en az süreye doğru sıralaması;

- Çağdaş Ahşap-Betonarme Hibrit Yapım Sistemi-Glulam Kolon-Kiriş,
- Çağdaş Ahşap-Betonarme Hibrit Yapım Sistemi-Betonarme Kolon-Kiriş,
- Çağdaş Ahşap Yapım Sistemi-Glulam Kolon-Kiriş,

CO2 miktarının optimum değer aralığı olan kategori 1'de yıl içinde bulunma süreleri ve oranları karşılaştırıldığında en fazla süreden en az süreye doğru sıralaması;

- Çağdaş Ahşap Yapım Sistemi-Glulam Kolon-Kiriş,
- Çağdaş Ahşap-Betonarme Hibrit Yapım Sistemi-Betonarme Kolon-Kiriş,

- Çağdaş Ahşap-Betonarme Hibrit Yapım Sistemi-Glulam Kolon-Kiriş,

Yapı iç mekân sıcaklık değerlerinin optimum değer aralığı olan kategori 1'de yıl içinde bulunma süreleri ve oranları karşılaştırıldığında en fazla süreden en az süreye doğru sıralaması ise;

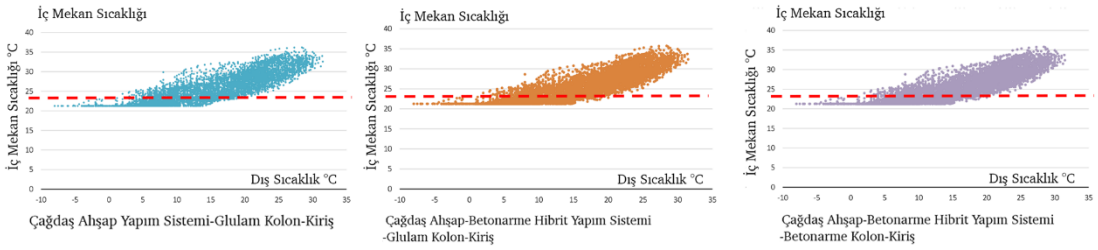
- Çağdaş Ahşap-Betonarme Hibrit Yapım Sistemi-Glulam Kolon-Kiriş,
- Çağdaş Ahşap-Betonarme Hibrit Yapım Sistemi-Betonarme Kolon-Kiriş,
- Çağdaş Ahşap Yapım Sistemi-Glulam Kolon-Kiriş

şeklinde olmaktadır.

$CO_2$ konsantrasyonu herhangi bir yapım sisteminde, en konforsuz kategori olan kategori 4'teki değer 1200 PPM'in üzerine çıkmamıştır. Bu da tüm yapım sistemleri için ve yapıyı kullanan kullanıcılar için olumlu bir durumdur. Çağdaş ahşap-betonarme yapım sistemleri arasındaki analiz sonuçları arasında oldukça az bir fark olduğu görülmektedir.

### 4.6.4 İç Mekân Sıcaklığının Dış Sıcaklık ile İlişkisi

Farklı yapı analizlerindeki dış duvar elemanlarının U değerlerinin birbirine yakın olması benzer sonuçlar ortaya çıkarmıştır (Şekil 4.7). Duvar yapı elemanındaki ısı yalıtım katmanlarının yeterli kalınlıkta olması, düşük sıcaklık değerlerinde dahi yapı içi sıcaklığının konforsuz değerlere düşmesini önlemektedir.




**Şekil 4. 7** İç mekân sıcaklığının dış sıcaklık ile ilişkisi.

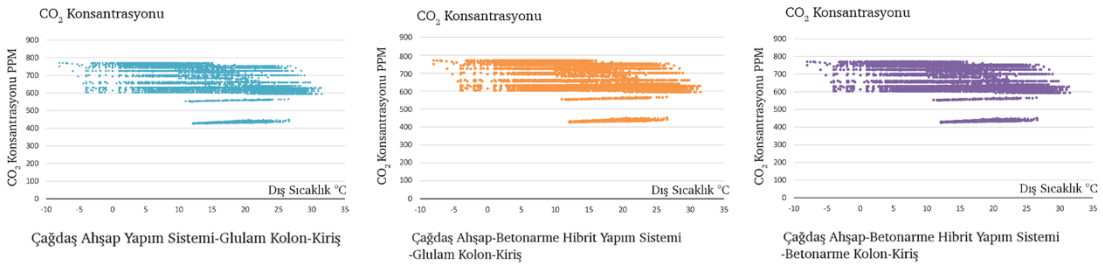
Aktif bir soğutma sistemi analizlerde kullanılmadığı için dış sıcaklığın artışıyla beraber tüm yapım sistemlerinde iç mekân sıcaklığının da aşırı artış gösterdiği ve ASHRAE Standardına göre belirlenen konfor aralığından uzaklaştığı gözlemlenmektedir. Tasarlanan yapıda güney cephesinde açıklıkların yüzey alanının fazla olması ve yapının İstanbul haziran ayı dış sıcaklık ortalaması ve nemine bağlı olarak ısınması buna sebep olarak gösterilebilir. Dış sıcaklık Aktif bir

soğutma sistemi bulunması durumunda ise iç mekân sıcaklığı, kırmızı çizgilerle belirlenen 23°C ve altı değerlere düşürülerek sabit tutulabilmektedir.

Yapı dışı sıcaklığının 25°C'nin üzerine çıkması durumunda her üç grafiğin de ivmelendiği ve artışa geçtiği gözlemlenmektedir. Yapı içi sıcaklığın 30-35°C'lere çıkması havanın kurumasına sebep olur ve istenmeyen bir durumdur. Yapı içi hava niteliğini olumsuz etkilemektedir. Kullanıcılar bu iç mekân sıcaklıklarında hoşnutsuzluk duymakta; su kaybı, terleme, baş dönmesi, halsizlik ve solunumda güçlükler yaşayabilmektedir. Analizlerden elde edilen grafikler sonucunda aşırı sıcak dış sıcaklıklarda her üç yapı için de aktif bir soğutma sisteminin gerekli olduğu sonucu elde edilmiştir.

### 4.6.5 Dış Sıcaklık-İç Mekân $CO_2$ Konsantrasyonu İlişkisi

İç mekândaki minimum CO2 konsantrasyonu çağdaş ahşap yapım sistemi için 424 PPM, çağdaş ahşap-betonarme hibrit yapım sistemleri için 425 PPM olarak ölçülmüştür. ASHRAE Standardı dış mekândaki CO2 konsantrasyonunu 300-400 PPM aralığında, iç mekândaki maksimum CO2 konsantrasyonunu da 1000 PPM olarak kabul etmektedir (ASHRAE 62.1 2019). İncelenen yapıların hiçbirinde iç mekân CO2 konsantrasyonu 1000 PPM'in üzerine çıkmamıştır (Şekil 4.8).




**Şekil 4. 8** İç mekân $CO_2$ konsantrasyonunun dış sıcaklık ile ilişkisi.

Dış sıcaklığa bağlı olarak değişen iç mekân ortalama $CO_2$ konsantrasyonu değerlerinin en konforlu olduğu yapım sisteminden konforsuza doğru sıralaması; çağdaş ahşap yapım sistemi, çağdaş ahşap hibrit sistemleri şeklindedir. Aradaki fark oldukça azdır. Sadece ahşap malzemeler ile yapılan yapının analiz sonucunda ortaya çıkan farkı oluşturduğu gözlemlenmiştir. Her üç yapı için de iç mekân $CO_2$ konsantrasyonu konforsuz değerlere ulaşmamakta ve kullanıcılar için olumsuzluk oluşturmamaktadır (Tablo 4.11).

**Tablo 4. 9** Yapım sistemlerinin yapı içi $CO_2$ miktarları.

| Simülasyon Sonucu | Minimum $CO_2$ Konsantrasyonu (PPM) | Ortalama $CO_2$ Konsantrasyonu (PPM) | Maksimum $CO_2$ Konsantrasyonu (PPM) |
|---|---|---|---|
| Çağdaş Ahşap Yapım Sistemi-Glulam Kolon-Kiriş | 424 | 650 | 771 |
| Çağdaş Ahşap-Betonarme Hibrit Yapım Sistemi-Glulam Kolon-Kiriş | 425 | 652 | 771 |
| Çağdaş Ahşap-Betonarme Hibrit Yapım Sistemi-Betonarme Kolon-Kiriş | 425 | 652 | 771 |

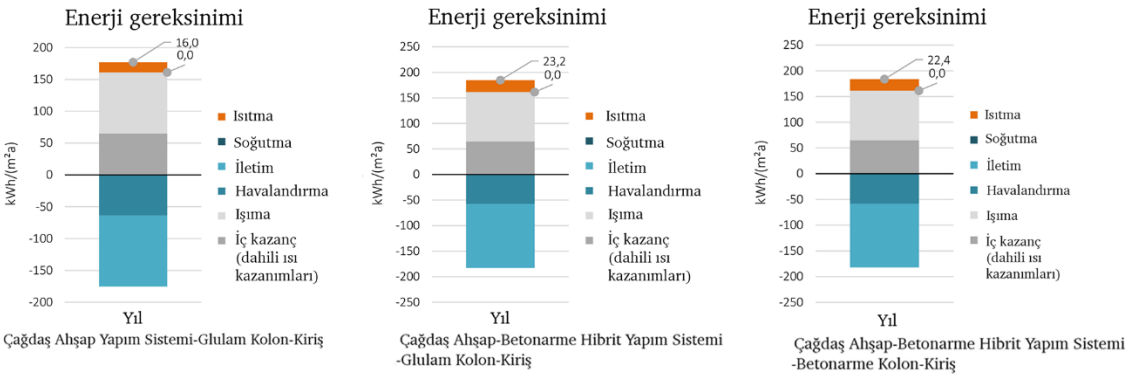
### 4.6.6 Enerji Tüketimi

Üç farklı yapım sistemi tasarımının metrekare başına yıllık enerji gereksinimleri karşılaştırması grafiksel olarak Şekil 4.9'da sayısal verilerle Tablo 4.10'da gösterilmiştir. Analizlerde aktif bir soğutma sistemi kullanılmadığı için soğutma enerji ihtiyacı tüm analizlerde 0 kWh/m²a çıkmıştır.

Isıtma enerjisi için metrekare başına yıllık kWh gereksinimi en fazla olan glulam kolon-kiriş strüktüre, betonarme panel döşemeye sahip olan çağdaş ahşap-betonarme hibrit yapım sistemi olurken, en az olan ise glulam kolon-kiriş strüktüre sahip çağdaş ahşap yapım sistemi olmuştur.

Havalandırma enerji gereksinimi en az olan glulam kolon-kiriş strüktüre sahip çağdaş ahşap yapım sistemi olurken, en az olan ise betonarme kolon-kiriş strüktüre sahip çağdaş ahşap yapım sistemi olmuştur.

Glulam kolon-kiriş strüktüre sahip çağdaş ahşap yapım sistemi ile tasarlanan yapıda sağlıklı ve iyi bir yapı içi hava niteliği elde edilirken, diğer iki örneğe göre daha az enerji gereksinimi duyulmaktadır. Bu durum yapı biyolojisi açısından doğal çevre ve bu çevrede yaşayan kullanıcılar için olumlu bir durumdur.




**Şekil 4. 9** Yapım sistemlerinin metrekare başına yıllık enerji gereksinimleri dağılımı.

**Tablo 4. 10** Yapım sistemlerinin metrekare başına yıllık enerji gereksinim değerleri.

| **Simülasyon Sonucu Enerji Gereksinimleri (kWh/m²a)** | **Çağdaş Ahşap Yapım Sistemi-Glulam Kolon-Kiriş** | **Çağdaş Ahşap-Betonarme Hibrit Yapım Sistemi-Glulam Kolon-Kiriş** | **Çağdaş Ahşap-Betonarme Hibrit Yapım Sistemi-Betonarme Kolon-Kiriş** |
|---|---|---|---|
| **Soğutma** | 0 kWh/m²a | 0 kWh/m²a | 0 kWh/m²a |
| **Isıtma** | 16 kWh/m²a | 23,2 kWh/m²a | 22,4 kWh/m²a |
| **Işıma** | 96,1 kWh/m²a | 96,3 kWh/m²a | 96,3 kWh/m²a |
| **İletim** | -111,7 kWh/m²a | -125,4 kWh/m²a | -123,7 kWh/m²a |
| **Havalandırma** | -63,7 kWh/m²a | -57,5 kWh/m²a | -58,3 kWh/m²a |
| **İç Kazançlar** | 65 kWh/m²a | 65,1 kWh/m²a | 65,1 kWh/m²a |

Bu üç farklı yapının toplam enerji talebini karşılamak için gerekli olan birincil enerji miktarı ve toplam enerji tüketimine göre karşılaştırılması Tablo 4.11'de gösterilmiştir, örnek olarak seçilen çağdaş ahşap yapım sisteminin detaylı analiz raporu EK B'de verilmiştir.

Birincil enerji tüketiminin en fazla glulam kolon-kiriş strüktürlü, betonarme panel döşemeye sahip çağdaş ahşap-betonarme hibrit yapım sisteminde; en az glulam kolon-kiriş strüktürlü çağdaş ahşap yapım sisteminde olduğu görülmektedir.

Toplam enerji tüketiminin en az glulam kolon-kiriş strüktürlü çağdaş ahşap yapım sisteminde olduğu görülmektedir. Diğer iki hibrit sistemde bu değer eşit çıkmıştır.

**Tablo 4. 11** Yapım sistemlerinin toplam enerji talebini karşılamak için gerekli olan birincil enerji miktarı ve toplam enerji tüketimi.

| Yapım Sistemi | Birincil Enerji Tüketimi (kWh/m²a) | Toplam Enerji Tüketimi (kWh/a) |
|---|---|---|
| Çağdaş Ahşap Yapım Sistemi-Glulam Kolon-Kiriş | 146,4 | 6.534 |
| Çağdaş Ahşap-Betonarme Hibrit Yapım Sistemi-Glulam Kolon-Kiriş | 156,4 | 6.556 |
| Çağdaş Ahşap-Betonarme Hibrit Yapım Sistemi-Betonarme Kolon-Kiriş | 155,2 | 6.556 |

Tüm analizlerin sonucunda genel bir değerlendirme yapıldığında; üç farklı tasarımda da dış sıcaklığın artışıyla beraber iç sıcaklığın değişimi hariç tutulduğunda yapı içi hava niteliği ve yapı içi hava niteliğini konforlu seviyede tutmaya çalışırken harcanan enerji miktarı olumsuz şekilde çıkmamıştır. Elde edilen değerler üç yapı için de birbirine çok yakındır.

İstanbul için dış sıcaklık arttığında, yapılarda iç mekânda aşırı bir sıcaklık artışı olmaktadır. Kullanıcıların durumdan olumsuz etkilenmemesi, sağlıklı ve konforlu bir şekilde iç mekânda yaşamlarını devam ettirebilmeleri için, her üç örnekte de aktif bir soğutma sistemi kullanılması gerekmektedir.

Betonarme malzemenin kullanıldığı yapım sistemlerinde doğal çevreye salınan sera gazı miktarı, sadece ahşap malzemelerin kullanıldığı yapım sistemine göre daha fazladır. Değerlendirilen iki farklı ahşap-betonarme hibrit sistem kendi içinde karşılaştırıldığında ise; glulam kolon-kiriş, betonarme kolon-kirişten daha az sera gazı salmasına rağmen betonarme panel döşeme kullanımının ahşap-betonarme hibrit döşemeye göre daha olumsuz sonuçlar ortaya çıkardığı ve bunun sonucunda glulam kolon-kiriş strüktüre sahip hibrit sistemin betonarme kolon-kiriş strüktüre sahip hibrit sistemden daha kötü olduğu belirlenmiştir.

Yapım sistemlerinin $m^2$'sinden kaybedilen ısı miktarları ele alındığında ise iki hibrit sistemin birbirine çok yakın sonuçlarda olduğu ve sadece ahşap malzemelerden üretilen çağdaş ahşap yapım sisteminin diğer ikisinden daha az ısı kaybettiği gözlemlenmiştir. Isı kaybının fazla olması hem iç mekân konforunun bozulmasına ve kullanıcıların zamanla hoşnutsuzluk duymasına hem de ısıtma giderlerinin artmasına sebep olmaktadır.

# 5
# SONUÇ VE ÖNERİLER

İnsanların temel ihtiyaçlarından biri yaşamını sağlıklı olarak sürdürebilmektir. İnsan yaşantısının büyük çoğunluğunu yapma çevre olan ve kendisinin ürettiği yapılar içerisinde geçirmektedir. Bu sebeple bu yapma çevreler, insanların ihtiyaç duyduğu sağlıklı çevreyi ve yapı içi hava niteliğini sunmalıdır. Bunu sağlayabilmek de yapı biyolojisi ve sağlıklı yapı kavramları bağlamında tasarım ve doğru ürün kararı ile mümkün olabilir. İyi bir yapı içi hava niteliği, yapıyı oluşturan yapı ürünlerinin türüne, fiziksel ve performans özelliklerine, elde edildiği kaynak türüne ve üretim biçimine bağlıdır. Yapının kullanıcılarının ihtiyaçlarını karşılayabilmesiyle birlikte önemli olan bir diğer nokta da doğal çevreye verilen olumsuz etki etkinin de azaltılmasıdır.

Yapı oluşturabilmek için gerekli olan yapı ürünü çeşitliliğinin zaman içerisinde artmasıyla yapıyı oluşturan ürün özelliklerinin kullanıcılar ve doğal çevre üzerindeki etkilerinin bilinmesi gerekliliği önem kazanmıştır. Bu farklı yapı ürünleri ve farklı yapım sistemleriyle inşa edilen yapıların, kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılayıp karşılayamadığı, iç mekân iklimini ve buna bağlı olarak kullanıcıların konforunu nasıl etkilediği ve yapıyı oluşturan yapı ürünlerinin üretiminde çevreye verilen zararlı etkilerin miktarı dikkat edilmesi gereken noktalardır. Bu durum yapı biyolojisi kavramını ön plana çıkarmaktadır.

Yapı Biyolojisi, yapı kullanıcıları için yapıyı ve yapı içi mekân iklimini en uygun şekilde tasarlamayı hedefleyen ve yapının insan ve doğal çevre üzerindeki olumsuz etkilerini belirleyerek önlemeye çalışan bir bilim dalıdır.

Yapı içindeki havanın niteliğini belirleyen birçok etken bulunmaktadır. Bunlar; iç mekandaki havayı oluşturan maddelerin karışım oranları, iç mekân hava sıcaklığı, iç mekandaki bağı nem oranı, havalandırma miktarı, mekân içerisindeki havanın akış hızı ve elektro iklimsel oluşumlardır. Bu özelliklerin her biri birbiriyle ilişkilidir ve birinin olumsuz olması durumu diğerlerini de olumsuz etkileyebilmektedir. Bu durumun sonucu olarak yapı içi havasının niteliği bozulur,

kullanıcılar bundan olumsuz etkilenir ve yapıdan kaynaklı rahatsızlıklar ortaya çıkabilir.

Yapı içi hava niteliğini;

- yapı içerisinde biriken hava kirleticileri ve miktarları,
- iç mekan ile dış çevreyi ayıran yapı kabuğunun hava geçirme, ısı geçirme, nem tutma özellikleri ve yapı kabuğunda kullanılan yapı ürünleri,
- yapı elemanlarının tasarlanması ve yapının tasarım kararları,
- yapının konumu ve kullanıcı yoğunluğu

gibi faktörler etkilemektedir.

Yapı kabuğunu oluşturan yapı elemanlarında kullanılan yapı ürünlerinin ve kabuğun doğru şekilde tasarlanıp uygulanmasının, kabuğu oluşturan yapı ürünlerinin ısı geçirgenlik katsayısının (U değeri) yapı içi hava niteliği açısından önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiş ve bu doğrultuda tez kapsamındaki irdelemede yapı ürünü araştırması yapılmıştır.

Değişen ve gelişen teknolojik gelişmelerle birlikte var olan yapı ürünlerinin yapısal özellikleri iyileştirilmiş ve aynı zamanda yeni ürün çeşitlerinin üretilmeye başlanmıştır. Endüstriyel ahşap ürünler bu ürünlerden biridir. Geleneksel bir yapı malzemesi olan ve geçmişte sık kullanılan ahşap, betonarme ve çelik gibi malzemelerin yapımda getirdiği bazı kolaylıklar (geçilen açıklık, yükseklik vb.) nedeniyle kullanımının artmasıyla 2000'li yıllarda daha az kullanılır hale geldi. Endüstriyel ahşap ürünlerde yaşanan teknolojik gelişmeler neticesinde ahşap ürünlerin tekil kısıtlamaları aşılırken, yapısal performansları iyileştirilmiş ve bu ürünlerle çok daha sağlam ve yüksek performanslı yapıların hızlı bir şekilde üretilebildiği belirlenmiştir. Daha önceleri çok katlı yapı inşasında kullanılamayan ahşap, bu endüstriyel ürünlerle birlikte yüksek yapı inşasında kullanılabilir hale gelmiştir. Endüstriyel ahşap ürünlerin betonarme ve çelikle birlikte kullanılabilmesi, eskiye oranla ahşabın kullanımının artmasındaki önemli sebeplerden biridir.

Ahşap ürünlerden kaynaklı olan performans özelliklerinin betonarme ve çelikle geliştirilebildiği ve bu yapıların, sadece ahşap, beton ve çelikle üretilen yapılara göre daha üstün performans özelliklerine sahip olabilmiştir. Endüstriyel ahşap

ürünlerin kullanımının artmasındaki bir diğer sebep ise çevreyi koruma, sürdürülebilirlik, insan sağlığı gibi konuların önem kazanması ihtiyaç haline gelmesi ve ahşap ürünlerin bu ihtiyacı karşılayabilecek nitelikte olabileceği görüşünün yer edinmesi olmuştur.

Çağdaş ahşap endüstriyel ürünler ve bu ürünlerin getirdiği yapısal ve fiziksel olumlu özelliklerle birlikte üretilen yapıların yapı içi hava niteliğine, kullanıcılara ve doğal çevreye etkileri tezin araştırma sorusunu oluşturmuştur. Sadece ahşap ürünler kullanılarak üretilen çağdaş ahşap sistemler ve ahşapla birlikte betonarme malzemenin kullanımıyla elde edilen çağdaş ahşap betonarme hibrit sistemlerin yapı içi hava niteliğine etkisi araştırılmış; yapı ürünü seçiminin ve yapı elemanı tasarımının önemi irdelenmiştir.

Tez kapsamında gerçekleştirilen irdeleme ve karşılaştırmada literatürde var olan model önerilerinden ve irdelemelerden yararlanılmıştır. Yapı içi hava niteliği analiz edilirken Türkiye'de bilinirliği az olan ve daha önce başka kaynaklar tarafından kullanılmamış olan SimRoom simülasyon aracı kullanılmıştır. Tasarlanan bir yapı üzerinde farklı ahşap yapım sistemleri/yapı elemanları ve bu elemanları oluşturan yapı ürünleri belirlenerek yapı içi hava niteliği;

- iç mekan sıcaklığı,
- iç mekan bağıl nem miktarı,
- iç mekandaki $CO_2$ miktarı

ve bunların birbiriyle karşılıklı ilişkisi karşılaştırılmıştır.

Bu karşılaştırmalı analizde; sadece endüstriyel ahşap ürünlerle üretilen analizin, ahşap ürünlerin tekil kısıtlamalarının aşıldığı ve yapısal performansı oldukça yüksek olan betonarme strüktür ve betonarme yapı elemanı kullanılarak tasarlanan ahşap betonarme hibrit yapım sistemine sahip iki analize göre daha olumlu yapı içi hava niteliği sonuçları vermesi varsayılmıştır. Ancak analizler sonucu elde edilen veriler ile üç analizin yapı içi hava niteliği birbirine çok yakın değerlerde çıkmış ve kullanıcı sağlığını ciddi derecede etkileyecek herhangi bir olumsuzluğa rastlanmamıştır.

Tez kapsamında endüstriyel ahşap ürünler, çağdaş ahşap ve çağdaş ahşap hibrit sistemlerin yapı biyolojisi bağlamında yapı içi hava niteliğine etkilerinin incelendiği irdeleme ile;

- ahşap esaslı ürünlerden üretilen endüstriyel ahşap ürünlerin fiziksel ve yapısal performanslarının iyileştirildiği ve istenilen özellikte yapıların üretimini mümkün kıldığı,
- endüstriyel ahşap ürünlerin insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde zararsız yapıştırıcılarla birleştirilerek üretildiği,
- yapı kabuğunu oluşturan ürünlerin U değerlerinin yapı içi hava sıcaklığının korunması açısından önemli olduğu,
- yapı kabuğunu oluşturan yapı elemanlarının tasarımcılar ve yapı fizikçilerle birlikte doğu bir şekilde tasarlandığında, ısı koruma özelliği çok iyi olmayan yapı ürününde dahi uygun ve iyi U değerlerini elde edilebileceği,
- çağdaş ahşap hibrit sistemlerin yapısal performanslarının oldukça yüksek olduğu,
- çağdaş ahşap hibrit sistemlerdin kullanımında, ahşapla karşılaştırıldığında daha olumsuz bir iç mekan hava niteliği oluşturması beklenen betonarme ürünün kullanımına rağmen yapı iç hava niteliğinin olumsuz etkilenmediği,
- çağdaş ahşap yapım sistemlerinin yapı içi hava niteliğinin olumlu değerlerde olduğu ve bu yapım sistemleri ile sadece ahşap ürünler kullanılarak çok yönlü, istenen özellikte yapılar üretilebileceği,
- çağdaş ahşap betonarme hibrit yapım sistemlerinin yapı içi hava niteliğinin olumlu değerlerde olduğu ve bu yapım sistemleri ile ahşap ve betonarmenin birlikte kullanılarak çok yönlü, yapısal performansı yüksek yapılar üretilebileceği,
- çağdaş ahşap betonarme hibrit sistemlerin yapısal performansının oldukça yüksek olması ve aynı zamanda yapı içi hava niteliğini olumsuz etkilememesi sebebiyle bu sistemin tercih edilebileceği,
- çağdaş ahşap yapım sisteminde kullanılan yapı ürünlerinin çağdaş ahşap betonarme hibrit yapım sistemlerinde kullanılan yapı ürünlerine göre daha çevre dostu olduğu ve bu sebeple iki sistem arasında bir tercih yapılması gerektiğinde çağdaş ahşap sistemin tercih edilebileceği

sonuçlarına varılmıştır.

Tez çalışmasında irdeleme aracı olarak kullanılan SimRoom, kullanım özelliklerine göre irdelendiğinde ise;

- Tasarlanan veya incelenen yapının cephe yüzey alanlarının ve açıklık alanlarının U değerleri ile birlikte girilebildiği,
- Kat yüksekliği, net iç mekân alanı, kullanıcı yoğunluğu, aktif ve pasif soğutma sistemi bilgileri kullanıcı tarafından girilebildiği,
- Kullanıcı sayısına bağlı enerji tüketim miktarı girilebildiği,
- Tasarlanan yapıda güneş kırıcı elemanların veya güneş koruyucu yüzey elemanlarının olup olmadığı, var ise hangi özelliklerde hangi konumda kaç derecelik açıyla olduğu bilgilerinin girilebildiği
- Isıtma ve soğutma sistemine ait bilgiler ve veriler kullanıcı tarafından oluşturulabildiği,
- Var ise fotovoltaik sistem verilerinin araca aktarılabildiği,
- Yapı içerisindeki havanın belirli mekanlar için değişim hızı verilerinin belirlenerek kullanılabildiği,
- Yapının dış yüzeylerinin ısı ve nem depolama kapasitesi verilerinin araçta belirlenebildiği,
- Yapının kullanım şeklinin ve yıl içindeki kullanım süresinin belirlenebilmesine imkân sağladığı,
- Dünya'nın farklı ülkelerinden 20'ye yakın şehrin iklim verilerini içerisinde barındırması sebebiyle analizin yapılacağı yerin doğrudan iklim verilerinin elde edilmesinde kolaylık sağladığı,
- Simülasyon aracında yer alan ipuçları ve yönlendirmelerin oldukça yardımcı olduğu, herhangi bir alana girilmesi gereken verinin bilinmemesi durumunda açıklama yazıları ve konu ile ilgili yönetmelikler elde edilen veriler ipucu olarak verildiği,
- Ürünlerin seçilerek U değerlerinin belirlenebileceği bir özelliğin SimRoom'da bulunmadığı, Ubakus gibi bir aracın SimRoom'a entegre edilmesi, yapı içi hava niteliği analizinin daha kolay yapılarak ürün seçiminin etkisinin daha kolay gözlemlenebilmesine imkân sağlayabildiği,

- Yapı içi hava niteliğini incelerken hızlıca çıkarımlar yapabilmeyi, daha sağlıklı iç mekanlar ve yapılar üretmeye ve elde etmeye imkân sağladığı

görülmüştür. Aracın kullanımının iyileştirilmesi bağlamında;

- İklim verilerinin yer aldığı veri bankasında yer alan şehirlerin sayısı artırılması,
- Bir yapıyı kat bazında veya bir mekânı analiz etmeyi mümkün kılabilmesi gibi bir yapının her katının toplam yapı içi hava niteliği analizini elde edebilecek şekilde geliştirilebilmesi

öneri olarak verilebilir.

Gerçekleştirilen tez araştırması kapsamında ortaya çıkan bulgular doğrultusunda gelecek çalışmalarda; çağdaş ahşap ve çağdaş ahşap hibrit sistemlerin yapı içi hava niteliği farklı simülasyon araçlarıyla karşılaştırmalı irdelenerek bir çıkarım yapılabilir ve SimRoom aracı ile çıkan sonuçlarla karşılaştırılabilir. Aynı zamanda yapı içi hava niteliğini inceleyen farklı simülasyon araçları belirlenen bir tasarım üzerinden incelenerek karşılaştırılabilir ve sonucunda yapı içi hava niteliğini belirlemede etkili bir dijital irdeleme aracı önerisi geliştirilebilir. Bu sayede bir yapıyı oluştururken üzerinde dikkatle durulması gereken sağlıklı ve doğru ürün seçimi, sağlıklı yapı, sağlıklı yapı içi hava niteliği ve insan sağlığı üzerine katkılar sağlanabilir.

# KAYNAKÇA


Akman, A. (1991). Yapı Bütünündeki Nem Olgusunun İnsan Sağlığı ile Olan İlişkisi. *Yapı Dergisi 115*, 83–84.

Akman, A. (2005). İnsan Sağlığı, Sağlıklı Yapı ve Yapı Biyolojisi. *Yapı Dergisi 279*, 89–93.

Allen, E., Thallon, R., ve Schreyer, A.C. (2017). *Fundamentals of Residential Construction* (4.Baskı). New Jersey: Wiley.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (1999). Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality 62. Erişim adresi: https://www.academia.edu/40976360/ASHRAE_62_1999_supersedes_ANSI_ASHRAE_62_1989_Includes_ASHRAE_Addenda_Listed_in_Appendix_I_Ventilation_for_Acceptable_Indoor_Air_Quality

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2019). Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality 62.1. Erişim adresi: www.ashrae.org/continuous-maintenance).

American Wood Council. (2022). *Structural Composite Lumber&Glued Laminated Timber Awareness Guide.* Erişim tarihi: 21.08.2022, Erişim adresi: https://slideplayer.com/slide/17011875/.

Andersson T. ve Hammarberg L. (2015). *Consequences of Implementing Timber in Medium High-Rise Office Buildings* [Yüksek lisans tezi, Chalmers University of Technology, Göteborg]. *Erişim adresi https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/224330/224330.pdf*

APA-The Engineered Wood Association. (2019). *Structural Composite Lumber Selection and Specification*. Erişim adresi: www.apawood.org/product-reports.

APA-The Engineered Wood Association. (2022). *Structural Composite Lumber.* Erişim tarihi: 19.08.2022, Erişim adresi: https://www.apawood.org/structural-composite-lumber.

ARUP. (2019). *Rethinking Timber Buildings-Seven Perspectives on the Use of Timber in Building Design and Construction*. Erişim adresi: https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/rethinking-timber-buildings

Avlar, E. ve Ustaoğlu, S.S. (2017). 2000'li Yılların Başında Endüstriyel Ahşap Ürünlerle Gelişmiş Yapı Üretimi. *Mimarlık Dergisi, 393,* 75-80.

Aydın, D. (2017). *Yüksek Konut Yapılarında İç Ortam Kalitesinin Enerji ve Kullanıcı Konforuna Etkisi.* [Yüksek lisans tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne].

Baker, P., Elliott, E. ve Banta, J. (2008). *Prescriptions For A Healthy House: A Practical Guide for Architects, Builders, and Homeowners* (Revize baskı). Gabriola Island: New Society Publishers.

Balanlı, A. (1997). Yapıda Ürün Seçimi. *Yıldız Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Eğitim ve Kültür Hizmetleri Derneği Yayını, 4*, İstanbul.

Balanlı, A. ve Öztürk, A. (2006). *Yapı Biyolojisi Yaklaşımlar* (Birinci baskı). İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Basım-Yayın Merkezi Matbaası.

Balasbaneh, A.T. ve Sher, W. (2021). Comparative Sustainability Evaluation of Two Engineered Wood-Based Construction Materials: Life Cycle Analysis of CLT versus GLT. *Building and Environment*, 204. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108112

Batur, A. (2004). *Gelişmiş Ahşap Yapım Sistemleri ve Türkiye Koşulları Yönünden Değerlendirilmesi.* [Yüksek lisans tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli].

Bilge, C. (2007). *Sürdürülebilir Çevre ve Mimari Tasarım: Mimariye Eleştirel Bir Bakış.* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul].

Bilici, S. (2006). *Ahşap Konut Üretim Sistemleri; Almanya Örneği.* [Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya].

Binderholz. (2022). *8-Geschossiges Holzgebäude, Bad Aibling.* Erişim tarihi: 19.08.2022, Erişim adresi: https://www.binderholz.com/bauloesungen/8-geschossiges-holzgebaeude-bad-aibling-deutschland/.

Bostancıoğlu, E. (2004). Ahşap Yapım Sistemleri. *İstanbul: İstanbul Kültür Üniversitesi Yayınevi.*

Bozkurt, Ö. (2011). Geleneksel Tekirdağ Evlerinde Kullanılmış Meşe Ahşabının Mekanik Özellikleri ve Kimyasalla Koruma Uygulamalarının Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi. *Politeknik Dergisi 14*(2), 115–19.

Brancaccio, F. (2018). *Çağdaş Yapılarda Ahşap: Kullanım ve Yeniden Kullanım [Konferans Bildirisi].* İstanbul Büyükşehir Belediyesi KUDEB Ahşap Yapılarda Koruma ve Onarım Sempozyumu 4 Bildiri Kitabı, 178–198, İstanbul.

Brandt, K., Gold, K., Harty, M., Taggart, J., Turner, M. ve Wylie, D. (2019). *Naturally Wood British Columbia* (Martin, J. Ed.). Naturally Wood Forestry Innovation Investment. Erişim adresi: https://www.naturallywood.com/resource/naturally-wood-a-collection-of-65-unique-wood-projects/

Burchell, J. ve Sunter, F. W. (1987). *Design and Build in Timber Frame*. (Birinci baskı). Longman Hgher Education.

Cambiaso, F. ve Pietrasanta, M. (2014). Innovative Timber Construction: Sustainability and Gigh Performance Building Skin. *International Journal of Engineering and Technology 6*(1), 47–54. DOI:10.7763/IJET. 2014.V6.664.

Canadian Wood Council. (2019). *Oriented Strand Lumber-OSL.* Erişim tarihi: 19.08.2022, Erişim adresi: https://cwc.ca/en/how-to-build-with-wood/wood-products/structural-composite/oriented-strand-lumber/.

Canadian Wood Council. (2020). *Oriented Strand Board-OSB.* Erişim tarihi: 19.08.2022, Erişim adresi: https://cwc.ca/en/how-to-build-with-wood/wood-products/panel-products/oriented-strand-board-osb/.

Canadian Wood Council. (2022). *Laminated Strand Lumber (LSL).* Erişim tarihi: 19.08.2022, Erişim adresi: https://cwc.ca/en/how-to-build-with-wood/wood-products/structural-composite/laminated-strand-lumber/.

Ceccotti, A. (2002). Composite Concrete-Timber Structures. *Progress in Structural Engineering and Materials 4*(3), 264–275.

Çobanoğlu, N., ve Kiper, N. (2006). Bina İçi Solunan Havada Tehlikeler. *Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Dergisi 49*, 71–75.

Darçın, P. (2008). *Yapı İçi Hava Kirliliğinin Giderilmesinde Doğal Havalandırma İlkeleri.* [Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul].

Detail. (2022). *HolzWerkHolz, Kaden Klingbeil Architekten.* Erişim tarihi: 19.08.2022, Erişim adresi: https://www.detail.de/de/de_de/artikel/holzwerkholz-kaden-klingbeil-architekten-8463/.

Dias, A.M.P.G., ve Luís, F.C.J. (2011). The Effect of Ductile Connectors on the Behaviour of Timber–Concrete Composite Beams. *Engineering Structures 33*(11): 3033–3042. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2011.05.014.

Dietsch, P., ve Brandner, R. (2015). Self-Tapping Screws and Threaded Rods as Reinforcement for Structural Timber Elements – A State-of-the-Art Report. *Construction and Building Materials 97*, 78–89. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.04.028.

Deutsche Institute fürNormunge. (2014). *Thermal protection and energy economy in buildings.* (DIN Standart No. 4108-3. 2014-11). https://www.beuth.de/en/standard/din-4108-3/222022641

Deutsche Institute fürNormunge. (2013). *Thermal protection and energy economy in buildings - Part 2: Minimum requirements to thermal insulation.* (DIN Standart No. 4108-2. 2013-02). https://www.beuth.de/de/norm/din-4108-2/167922321.

Deutsche Institute fürNormunge. (2018). Thermal performance of buildings-determination of air permeability of buildings. (DIN Standart No. EN ISO 9972.2018-12). https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-9972/296830636

Divisare. (2022). *Kaden Klingbeil Architekten E3.* Erişim tarihi: 19.08.2022, Erişim adresi: https://divisare.com/projects/239891-kaden-klingbeil-architekten-bernd-borchardt-e3.

Douglas, B., ve Karacabeyli, E. (2013). *CLT Handbook: Cross-Laminated Timber.* (U.S. Baskı). Point-Claire: FPInnovations.

Duzia, T., ve Bogusch, N. (2014). *Basiswissen Bauphysik-Grundlagen Des Wärme-Und Feuchteschutzes* (2.Baskı). Stuttgart: Fraunhofer IRB.

EmaWall. (2022). *Isı yalıtımı hakkında teknik bilgiler ve kavramlar.* Erişim tarihi: 31.08.2022, Erişim adresi: https://emawall.com/isi-yalitimi-hakkinda-teknik-bilgiler-ve-kavramlar/.

EPA- The Environmental Protection Agency. (1994). *Indoor Air Pollution An Introduction for Health Professionals*. American Lung Association, Environmental Protection Agency, Consumer Product Safety Sommission, American Medical Association.

Erkoç, E. (2004). *Günümüz Teknolojisiyle Üretilen Ahşap Konutların Tasarım-Uygulama- Kullanım Üçgeninde Değerlendirilmesi İstanbul Örnekleri*. [Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul].

Ersoy, H.Y. (1994). Yapı Biyolojisi; İnsan, Yapı ve Çevre. *Yapı Dergisi 146*, 56–61.

Esin, T. (2004). İnsan Sağlığını Etkileyen İç Hava Kalitesinin Oluşumunda Yapı Malzemelerinin Rolü. *Yapı Dergisi 275*, 99–103.

Fast+Epp. (2022). *Parallel Strand Lumber (PSL).* Erişim tarihi: 19.08.2022, Erişim adresi: https://www.fastepp.com/concept-lab/material/parallel-strand-lumber-psl-4/.

Ramage, M.H., Burride, H., Busse-Wicher, M., Fereday, G., Reynolds, T., Shah, D.U., Wu, G., Yu, L., Fleming, P., Denslet-Tingley, D., Allwood, J., Dupree, P., Linden, P.F., Scherman, O. (2017). The Wood from the Trees: The Use of Timber in Construction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews 68*(1), 333–359. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.107

Forest Products Supply Co. (2022). *TimberStrand Framing.* Erişim tarihi: 19.08.2022, Erişim adresi: https://www.fp-supply.com/kansas-city-timberstrand-framing-lumber.html.

Fortuna, S., Dalla Mora, T., Peron, F. ve Romagnoni, P. (2017). Environmental Performances of a Timber-Concrete Prefabricated Composite Wall System. In *Energy Procedia 113*, 90–97. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.04.024.

Freres Lumber. (2022). *Mass Ply Panel.* Erişim tarihi: 19.08.2022, Erişim adresi: https://frereswood.com/products-and-services/mass-ply-products/mass-ply-panel/.

Gerard, R. ve Barber, D. (2013). *Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings* [Final Raporu]. The Fire Protection Research Foundation. https://sustainable-fire-engineering.sustainable-design.ie/wp-content/uploads/2015/08/NFPA-FPRF_Tall-Wood-Buildings-Fire-Safety-Challenges_2013.pdf

Gollwiter, T. ve Linse T. (2022). *E3 Hochhaus in Holz Berlin.* Erişim tarihi: 19.08.2022, Erişim adresi: https://drgollwitzer-ing.de/holzbau/7-geschosser-in-berlin.

Gong, M. (2019). Lumber-Based Mass Timber Products in Construction. Concu, G. (Ed.), Timber Buildings and Sustainability. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.85808

Gül, N, ve Güzelçoban Mayuk, S. (2019). An Investigation of the Contemporary Wooden Construction Systems Usage in Multi-Storey Buildings: The Tree.

*Kent Akademisi | Kent Kültürü ve Yönetimi Hakemli Elektronik Dergi 12*(3), 3–4. https://doi.org/10.35674/kent.597113

Güler, Ç. (2005). *Yapı Biyolojisinin Kuramsal Temelleri.* [Yüksek lisans tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ].

Güleryüz, P. (2014). *Yapı Biyolojisi Kapsamında Sağlıklı Yapı, Mekânsal Nitelikler ve Malzeme Seçimi.* [Yüksek lisans tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul].

Güner, E.M. (2019). *Yapım Sistemlerinde Taşıyıcı Eleman Olarak Kullanılan Çelik, Betonarme ve Ahşap Malzemelerin Sürdürülebilirlik Açısından Karşılaştırılması.* [Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul].

Gürdallar, M. (2004). Hijyen ve İç Hava Kalitesi Bakımından HVAC Sistemlerinin Temizliği. *Tesisat Mühendisliği Dergisi 82*, 20–32.

Hakkarainen, J., Linkosalmi, L., Huovinen, A., Vares, S., Hakkinen, T., Viekkola, M., Lahtela, T. (2019). *LVL Handbook*. Helsinki: Federation of the Finnish Woodworking Industries.

Hasol, D. (2017). *Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü* (15.Baskı). İstanbul: YEM Yayınları.

Hughes, M., Tulamo, T., Bysheim, K., Carlborg, P., Dobianer, K., Fürhapper, C., Grüll, G., Habla, E., Macé, E., Nord, T., Nore, K., Nyrud, A., Suttie, E., Truskaller, M., Tycho, J., Weigl-Kuska, M., Vahtikari, K., Verma, I., Zubillaga, L., Cronhjort, Y. (2017). Competitive wood-based interior materials and systems for modern wood construction (Wood2New). doi:10.13140/RG.2.2.11309.28642.

Jeleč, M., Varevac, D. ve Rajčić, V. (2018). Cross-Laminated Timber (CLT) – A State of the Art Report. *Journal of the Croatian Association of Civil Engineers 70*(02), 75–95.

Kafesçioğlu, R. ve Akman, A. (2011). İnsan Sağlığı-Yapı-Malzeme İlişkisi. *Mimarlıkta Malzeme Dergisi 18.*

Kitek Kuzman, M., Oblak, L. ve Vratuša, S. (2010). Glued Laminated Timber in Architecture. *Drvna Industrija 61*(3).

Koca, Ö. (2006). *Sıcak Kuru ve Sıcak Nemli İklim Bölgelerinde Enerji Etkin Yerleşme ve Bina Tasarım İlkelerinin Belirlenmesine Yönelik Yaklaşım.* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul].

Lee, H. (2022). *Glulam Post and Beam Connection.* Erişim tarihi: 19.08.2022, Erişim adresi: https://hyelim.myportfolio.com/wood-innovation-and-design-centre-case-study-1.

Lever Architecture. (2022). *Mass Plywood Pavilion.* Erişim tarihi: 19.08.2022, Erişim adresi: https://leverarchitecture.com/projects/mass_plywood_pavilion.

Lichtmeß, M. (2022). *SimRoom Zusammenhaenge.* Erişim tarihi: 19.08.2022, Erişim adresi: https://ingefo.de/Werkzeuge/SimRoom/.

Loss, C., Piazza, M. ve Zandonini, R. (2016). Hybrid Wood-Based Structural Systems for Multistorey Buildings. *Proceedings of the 3rd International Conference on Structures and Architecture*, Guimaraes.

Mayo, J. (2012). *Multi-Story Wood Architecture: Contemporary Case Studies.* Western Wood Buildings Workshop. Erişim tarihi: 19.08.2022, Erişim adresi: http://docplayer.net/47866556-Multi-story-wood-architecture-contemporary-case-studies.html.

Mohammad, M., Gagnon, S., Douglas, B.K., ve Podesto, L. (2013). Introduction to Cross Laminated Timber. *Wood Design Focus 22*(2), 3–12.

Moore, M. (2000). Scotia Place-12 Story Apartment Building A Case Study of High-Rise Construction Using Wood and Steel- WCTE2000. *NZ Timber Design Journal.*

Nässén, J., F Hedenus, F., Karlsson, S. ve Holmberg, J. (2012). Concrete vs. Wood in Buildings – An Energy System Approach. *Building and Environment 51*, 361–369.

Nordic Structures. (2022). Origine, 13-Storey Building. Erişim tarihi: 19.08.2022, Erişim adresi: https://www.nordic.ca/en/projects/structures/origine.

Ogrin, A. ve Hozjan, T. (2021). *Timber-Concrete Composite Structural Elements*. Gong, M. (Ed.), Engineered Wood Products for Construction. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.99624.

Ong, C.B. (2015). Glue-Laminated Timber (Glulam). Ansell M.P. (Ed.), *Wood Composites* (123–140). Woodhead Publishing. https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-454-3.00007-X.

Ozelton, E. C. ve Baird, J.A. (2002). *Timber Desıgners' Manual* (3.Baskı). Oxford: Blackwell Publishing.

Özgenalp, A. (2006). Sığınaklarda Havalandırma ve Filtrasyon Sistemleri. *Tesisat Dergisi 127*, 78–84.

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

Parsons, K.C. (2002). *Human Thermal Environments* (3.Baskı). CRC Press.

Perkins+Will. (2014). *Summary Report: Survey of International Tall Wood Buildings*. Erişim tarihi: 19.08.2022, Erişim adresi: https://www.woodworks.org/wp-content/uploads/Survey-tall-wood-report.pdf.

Perkins+Will. 2018. *Mass Timber Influencers-Understanding Mass Timber Perceptions among Key Industry Influencers.* Erişim tarihi: 19.08.2022, Erişim adresi: https://www.bcfii.ca/wp-content/uploads/2021/02/perkinswill_mass_timber_influencers_vancouver_oct-2018-1.pdf.

Pierobon, F., Huang, M., Simonen, K. ve Ganguly, I. (2019). Environmental Benefits of Using Hybrid CLT Structure in Midrise Non-Residential Construction: An LCA Based Comparative Case Study in the U.S. Pacific Northwest. *Journal of Building Engineering 26*. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100862.

Poirier, E.A., Moudgil, M.R., Fallahi, A., Staub-French, S. ve Tannert, T. (2016). Design and Construction of a 53-Meter-Tall Timber Building aat The Universİty Of British Columbia. *World Conference on Timber Engineering, Viyana.*

Porteous, J. ve A Kermani. (2007). *Structural Timber Design to Eurocode 5*. Oxford: Blackwell Publishing.

Rhomberg Ventures. (2022). *LCT One-The World's First Lifecycle Tower.* Erişim tarihi: 19.08.2022, Erişim adresi: https://www.rhombergventures.com/en/portfolio/cree_by_rhomberg/.

Robelbois Depuis. (20229. *LVL Panels.* Erişim tarihi: 19.08.2022, Erişim adresi: https://robelbois.com/en/produits/panels-en/kerto-lvl-pannels/.

Rodrigues, J.N., Dias, A.M.P.G. ve Providencia, P. (2013). Timber-Concrete Composite Bridges: State-of-the-Art Review. *BioResources 8*(4), 6630–6649. doi: 10.15376/biores.8.4.6630-6649.

Sarp, A. (2007). *Sağlıklı Yapının Sürdürülebilirlik Sürecine Yönelik Bir Model Önerisi.* [Doktora tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul].

Şerefhanoğlu, M. (1981). Yapılarda Isısal Konfor ve Cam Yüzeyler. *İstanbul Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi Mimarlık Fakültesi Yapı Fiziği Kürsüsü Yayınları*.

Sizüçen, H. (2008). *Titrek Kavak Yongalarından Üretilen (LSL, LVL PSL) Lamine Ağaç Malzemelerin Direnç Özelliklerinin Belirlenmesi.* [Bilim uzmanlığı tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük].

Stark, N.M., Cai, Z. ve Carll, C. (2010). Wood-Based Composite Materials-Panel Products, Glued-Laminated Timber, Structural Composite Lumber, and Wood-Nonwood Composite Materials. *Wood handbook:wood as an engineering material.* (11.1-11.28). https://www.researchgate.net/publication/281452250.

StoraEnso. (2022). *KVH Structural Timber Duobalken and Triobalken Glued Solid Timber and Glue Laminated Timber.* Erişim tarihi: 21.08.2022, Erişim adresi: https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/product-brochures/wood-products/kvh-by-stora-enso-technical-brochure-en.pdf.

Steinberg, E., Selle, R. ve Faust, T. (2003). Connectors for Timber–Lightweight Concrete Composite Structures. *Journal of Structural Engineering 129*(11), 1538–1545.

Structural Timber Association. (2014). *Engineered Wood Products and an Introduction to Timber Structural Systems.*

https://www.structuraltimber.co.uk/library/?q=Engineered+Wood+Products+and+an+Introduction+to+Timber+Structural+Systems.

StructureCraft. (2019). *Design and Profile Guide-Dowel Laminated Timber Profile Handbook*. https://structurecraft.com/blog/dlt-design-guide.

StructureCraft. (2022a). Nail Laminated Timber–NLT. Erişim tarihi: 19.08.2022, Erişim adresi: https://structurecraft.com/materials/mass-timber/nail-laminated-timber.

StructureCraft. (2022b). Timber-Concrete Composite. Erişim tarihi: 19.08.2022, Erişim adresi: https://structurecraft.com/assets/img/materials/dlt_design_profile_guide_v4_march_2019.pdf.

Su, B.A. (2001). *Ergonomi*. Ankara: Atılım Üniversitesi Yayınları.

Sun Jianlin J. (2016). *Mid-Rise Timber Construction in Finland A Study on Material, Technology and Market Maturity*. [Lisans tezi, Helsink Metropola Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler, Helsinki].

Borgström E. (Ed.). (2016a). *Design of Timber Structures Introduction to Design and Design Process* (2.Baskı). Stokholm: Swedish Forest Industries Federation Sweedish Wood. https://www.scribd.com/document/368194385/Design-of-Timber-Structures-2-2016.

Borgström E. (Ed.). (2016b). *Design of Timber Structures- Structural Aspects of Timber Construction* (1.Baskı). Stokholm: Swedish Forest Industries Federation Sweedish Wood. https://www.svenskttra.se/siteassets/5-publikationer/pdfer/design-of-timber-structures-1-2016.pdf.

Tannert, T., Gerber, A. ve Vallee, T. (2020). Hybrid Adhesively Bonded Timber-Concrete-Composite Floors. *International Journal of Adhesion and Adhesives 97*. https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2019.102490.

ThinkWood. (2020). *Think Wood, Structural Wood Building Systems Choosing The Right Material For A Sustainable, Safe And Resilient Project*. Erişim tarihi: 23.01.2022, Erişim adresi: https://www.thinkwood.com/wp-content/uploads/2019/08/Think-Wood-CEU-Structural-Wood-Building-Systems.pdf.

TICOMTEC. (2015). *Tragwerke in Holz-Beton-Verbundbauweise mit Eingeklebten HBV-Schubverbindern.* Erişim tarihi: 19.08.2022, Erişim adresi: https://docplayer.org/58429784-Tragwerke-in-holz-beton-verbundbauweise-mit-eingeklebten-hbv-schubverbindern-allgemeine-bauaufsichtliche-zulassung-durch-das-dibt-unter-z-9.html.

Tokyay, V. (2017). *Mimarlık ve Ahşap Yapı İlişkileri* (1.Baskı). İstanbul: Mimarlık Vakfı İktisadi İşletmesi.

Türk Standardı. (2008). *Binalarda Isı Yalıtım Kuralları-Thermal Insulation Requirements for Buildings.* (TS No: 825). http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/cf3e258fbdf3eb7_ek.pdf.

Vural, S.M. (2011). Indoor Air Quality. Abdul-Wahab, S.A (Ed.), *Sick Building Syndrome. In Public Buildings and Workplaces*, Berlin: Springer, 59–74.

Watson, D., ve Labs, K. (1983). *Climatic Design: Energy-Efficient Building Principles And Practices*. New York: McGraw-Hill.

Weyerhaeuser. (2022=. *Parallam PSL.* Erişim tarihi: 19.08.2022, Erişim adresi: https://www.weyerhaeuser.com/woodproducts/engineered-lumber/parallam-psl/parallam-psl-columns/.

Wood Skyscrapers. (2022). Laminated Veneer Lumber. Erişim tarihi: 19.08.2022, Erişim adresi: https://www.woodskyscrapers.org/laminated-veneer-lumber.html.

WoodWorks. (2022). Treet – Worl's Tallest Timber Building. Erişim tarihi: 19.08.2022, Erişim adresi: https://wood-works.ca/wp-content/uploads/Edmonton_wood-fair_marina.pdf.

Yeoh, D. (2010). *Behaviour and Design of Timber-Concrete Composite Floor System.* [Doktora tezi, Canterbury Üniversitesi, Canterbury]. https://ir.canterbury.ac.nz/handle/10092/4428.

Yesügey, C., Güzel, N. ve Yılmaz Karaman, Ö. (2015). *Ahşap Malzemeli Konut Teknolojisi*. İstanbul: Yalın Yayıncılık.

Yürekli, B. (2015). *Binalarda Ahşap-Beton Kompozit Döşemelerin Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi.* [Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir].

Zeydan, Ö., Erdoğan Zeydan, Z. ve Yıldırım, Y. (2009). Hasta Bina Sendromu. *IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 587–593.

Zhang, X., Azim, M.R., Bhat, P., Popovski, M. (2017). Seismic Performance of Embedded Steel Beam Connection in Cross-Laminated Timber Panels for Tall-Wood Hybrid System. *Canadian Journal of Civil Engineering 44*(8), 611-618. doi:10.1139/cjce-2016-0386.

Zorer, G. (1992). Yapılarda Isısal Tasarım İlkeleri. *Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Yayınları 264.*

# EK-A
## CLT EPD RAPORU

# Environmental Product Declaration

In accordance with ISO 14025 and EN 15804 for:

***CLT (Cross Laminated Timber)***

by

***Stora Enso***

| | |
|---|---|
| Programme: | The International EPD® System, www.environdec.com |
| Programme operator: | EPD International AB |
| EPD registration number: | S-P-02033 |
| ECO Platform registration number: | 00001225 |
| Publication date: | 2020-05-11 |
| Revision date: | 2021-02-10 |
| Valid until: | 2026-02-11 |



## Company information

Owner of the EPD:
Stora Enso
Division Wood Products
E-mail woodproducts@storaenso.com
Tel +358 (0)20 46114
www.storaenso.com

Description of the organisation: Stora Enso is a leading provider of renewable solutions in packaging, biomaterials, wood and paper to global markets. Our customers include the packaging, joinery and construction industries as well as publishers, printing houses and paper merchants. Our aim is to replace non-renewable materials by innovating and developing new products and services based on wood and other renewable materials. Our focus is on fibre-based packaging, plantation-based pulp, innovations in biomaterials, and sustainable building solutions.

Stora Enso's Wood Products division is a market-leading provider of innovative wood-based products for construction and interior usages. Our product range covers all areas of urban construction including massive wood elements, wood components, engineered wood products and pellets. All our mills run an integrated management system, which is certified in accordance with Chain of Custody (FSC® and/or PEFC™), quality management (ISO 9001), environmental management (ISO 14001), health and safety (ISO 45001), and energy management (ISO 50001) requirements.

Locations of production sites:
CLT is produced in our factories in Ybbs an der Donau and Bad St. Leonhard (Austria) as well as in Gruvön (Sweden) before being distributed around the globe. The three factories have an annual production capacity of approx. 270,000 m³ which corresponds to roughly 5,000 detached houses, thus providing a continuous supply to meet current demand.

## Product information

Product name: CLT by Stora Enso
Product identification: CLT is placed on the marked according ETA-14/0349 (European Technical Assessment)
Product description: CLT is a solid wood construction product consisting of several (3, 5, 7, or 8) bonded single-layer panels arranged at right angles to each other. The layers are bonded with carefully selected adhesives that are suitable for the respective purpose. CLT products are long-lasting and safe to use and recyclable. They are continuously tested to ensure that they meet the strictest requirements in terms of ambient air emissions. CLT also offers virtually boundless possibilities in terms of construction concept, style and architecture.
Geographical origin: Austria and Sweden

Use applications:





## Technical information

| Properties | Definition |
|---|---|
| Use | Structural applications; wall, ceiling and roof panels |
| Maximum width | 3,50 m (on request up to 4,00 m) |
| Maximum thickness | 350 mm (in accordance with ETA 14/0349) |
| Maximum length | 16,00 m |
| Wood species | spruce *(Picea abies)*, pine *(Pinus sylvestris)* |
| Adhesives | polyurethane adhesive (PUR), emulsion-polymer-isocyanate adhesive (EPI) |
| Moisture content | 12% ± 2% when dispatched from the mill |
| Density | Mean density 470 kg/m³ |
| Thermal conductivity | λ = 0,12 W/(mK) (EN ISO 10456) |
| Specific heat capacity | c = 1600 J/(kg-K) (EN ISO 10456) |
| Service class | 1 and 2 (EN 1995-1-1) |
| Reaction to fire | D-s2, d0 (EN 13501-1) |

## Product composition

| Materials / chemical substances | kg | % | Notes |
|---|---|---|---|
| Wood (Picea abies & Pinus sylvestris) | 465,2 | 99 | Water content 10,7% |
| Polyurethane (PUR) resin | 4,2 | 0,9 | Surface and fingerjoint gluing |
| Emulsion polymer isocyanate (EPI) resin | 0,5 | 0,1 | Narrow side gluing |
| Hardener | 0,1 | < 0,1 | Narrow side gluing |
| TOTAL | 470 | 100 | |

The product does not contain any substances or products that are listed in the "Candidate List of Substances of Very High Concern for Authorisation".

## Biogenic carbon content at the factory gate

| Biogenic carbon content | Unit (expressed per declared unit) |
|---|---|
| Biogenic carbon content in product | 762 kg $CO_2$ eq. / m³ = 207,8 kg C / m³ |
| Biogenic carbon content in accompanying packaging | 0 kg $CO_2$ eq. / m³ = 0 kg C / m³ |
| *1 kg biogenic carbon is equivalent to 44/12 kg of $CO_2$* | |

## LCA information

Declared unit: 1 m³ of CLT with a moisture content of 12%

Reference Service Life (RSL): The RSL is understood as the period of time until the CLT is replaced, rebuild, renovated or restored. If properly installed, the service lifetime of the CLT is equal to the lifetime of the building, and thus 50 years is the default reference service life. Wood products can reach over 100 years' service life in service classes 1 and 2.

Time representativeness: Data for the study was collected from Ybbs, Bad St. Leonhard and Gruvön mill and represents the year 2018. This data includes raw material, transport distances, fuels, energy consumption, packaging, produced CLT, by-products and waste. Data from ecoinvent 3.5 has been used for generic data. The allocation is performed according to EN15804. Physical, economic and energy allocations have been used.

Database used: Ecoinvent 3.5 (August 2018)

LCA software used: SimaPro 9.0

Description of system boundaries: cradle-to-gate with options

More information: Standards EN 15804, EN 16485 and PCR 2019:14 from The International EPD® System provide the core product category rules for the assessment.

Target group: business to business & business to consumers

Cut-Off Rule: 1%. This rule is based on the assumption that the input flows do not have a major impact on the environmental impacts as a whole.

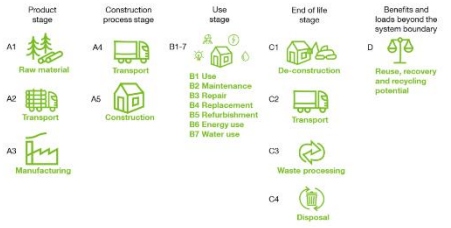
System boundary:

| Production | | | Con-struction | | Use | | | | | | | End of Life | | | | Loads & Benefits |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Raw material | Transport supply | Manufacturing | Transport | Installation | Use | Maintenance | Repair | Replacement | Refurbishment | Operational energy | Operational water | Deconstruction | Transport | Waste treatment | Disposal | Reuse / Recovery / Recycling |
| A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 | B7 | C1 | C2 | C3 | C4 | D |
| X | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |

x = included NR = module not relevant MND = Module not declared

The analyzed system is the complete life cycle of 1 m³ CLT to be used as structural element in a building. According to the EN 15804 standard all life cycle stages are included in the LCA, assuming that there is no maintenance needed over the reference service life.






Product stage:

**A1:** This stage covers the extraction and processing of raw materials, such as forestry operations as well as glue production. All Stora Enso's wood raw material is sourced through a third-party certified wood traceability system. Stora Enso traceability system is certified according to FSC® and PEFC™ Chain of Custody systems.[1]

**A2:** This stage covers the transportation of the raw materials to the mill and the fuels needed for internal transportation. The wood supply operations cover procurement of softwood from Austria and Sweden. Purchased logs are spruce and pine logs transported with trucks and train.

**A3:** This stage covers the production of CLT and by-products. Generation of electricity or heat from primary energy resources are counted. Also packaging materials and the treatment of waste not leaving the factory with the product are counted.




Construction process stage:

**A4:** This stage shows additional information such as average figures from the transportation to the construction sites. The figures show the impact of 1m³ of CLT delivered to an average European customer, which is assumed to be in different locations. In this EPD the mean of transport distances to some European destinations is considered.

**A5:** Construction process includes such packaging waste, which relates to the delivered product and construction work as lifting and screwing of CLT panels.

Use stage:

**B1–B7:** There are no environmental impacts expected in the use phase, and at least no harmful substances are released to air, water or ground during the use of the product.

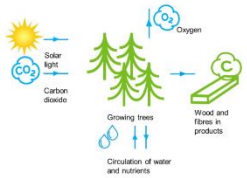
[1] FSC trademark license nr. C125195

End of life scenarios:
Four alternative scenarios have been developed for the end of life stage (**C1–C4 & D**).

- **Reuse:** CLT is reused in coherent form. C1: demolition of the building, C2: transportation to the sorting 50 km, C3: preparing for reuse, C4: product for reuse, D: reuse of product, substituting virgin material
- **Recycling**: CLT chipping for recycling. C1: demolition of the building, C2: transportation to the sorting 50 km, C3: preparing for recycling, C4: chips to recycling, D: recovery of wood chips, substituting virgin material
- **Incineration:** CLT incineration for energy recovery C1: demolition of the building, C2: transportation to the sorting 50 km, C3: preparing for incineration, C4: chips to incineration (75% efficiency), D: substitution of natural gas in heat production
- **Landfilling:** CLT is landfilled. C1: demolition of the building, C2: transportation to the sorting 50 km, C3: preparing for landfilling, C4: landfilling process, D: the methane uptake from landfill partly substitutes natural gas in heat production

Carbon sequestration and storage:
The sequestration of carbon dioxide ($CO_2$) is unique to renewable materials. Biogenic carbon content of a renewable material is an outcome of the $CO_2$ that has effectively been removed from the atmosphere by photosynthesis of growing trees and other plants, and turned into sugars (carbon) and oxygen. The quantity of atmospheric $CO_2$ has thus been reduced. The longer the $CO_2$ is not in the atmosphere but stays stored in a material, the greater the environmental benefit.

Biogenic carbon of wood is calculated according to the EN 16485 and 16449 standards. Half of the dry mass of wood is carbon. Each kg of stored biogenic carbon is equal to −3.67 kg of $CO_2$, which is effectively removed from the atmosphere. In case of CLT the biogenic carbon content is -762 kg $CO_2$ eq./m³. Biogenic carbon enters the product system in forest (module A1) and for calculation purpose it is assumed to leave latest from the product system in the end-of-life stage (module C). This assumption can be made when wood is sourced from sustainably managed forest.




**Sustainable wood**
Stora Enso practises and promotes economically, socially, and environmentally sustainable forest management.
The two most significant forest certification systems recognised by Stora Enso are run by the Forest Stewardship Council (FSC®) [1] and the Programme for the Endorsement of Forest Certification (PEFC™).

**Storing carbon**
Trees absorb carbon dioxide and remove carbon from the atmosphere while growing. Wood products store the captured carbon. This helps reverse the greenhouse effect. Total carbon storage in the products are increased by re-using and recycling of products. Finally, when biogenic carbon is released back to atmosphere, growing trees will absorb carbon dioxide again.

**Recycling**
Wood is recyclable and a good resource for new fibre-based products or energy generation to substitute fossil materials and energy.
Collection schemes and recycling rates depend on waste legislation, consumer behaviour, point of consumption, local collection system and infrastructure. EU target for building demolition waste recycling is 70% in 2020.



## Environmental performance – product / construction stage

### Potential environmental impact - 1m³ CLT

| PARAMETER | | UNIT | A1 | A2 | A3 | TOTAL A1-A3 | A4 | A5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Global warming potential (GWP*) | Fossil | kg $CO_2$ eq. | 3,19E+01 | 1,42E+01 | 7,61E+00 | **5,38E+01** | 3,84E+01 | 1,47E+01 |
| | Biogenic * | kg $CO_2$ eq. | -7,62E+02* | 1,58E-02 | 3,34E-01 | **-7,62E+02*** | 1,34E-02 | 1,00E-01 |
| | Land use and land transformation | kg $CO_2$ eq. | 6,82E-01 | 5,56E-03 | 1,61E-01 | **8,48E-01** | 1,01E-02 | 1,90E-03 |
| | TOTAL * | kg $CO_2$ eq. | -7,29E+02* | 1,42E+01 | 8,10E+00 | **-7,07E+02*** | 3,84E+01 | 1,48E+01 |
| Ozone depletion potential (ODP*) | | kg CFC 11 eq. | 7,44E-06 | 3,90E-06 | 2,01E-06 | **8,36E-06** | 9,58E-06 | 2,82E-06 |
| Acidification potential (AP) | | mol H+ eq. | 1,45E-01 | 5,86E-02 | 1,97E-01 | **4,01E-01** | 1,30E-01 | 7,17E-02 |
| Eutrophication potential (EP) | freshwater | kg $PO_4$ eq. | 3,53E-03 | 2,70E-03 | 4,30E-03 | **1,06E-02** | 3,17E-03 | 2,22E-03 |
| | marine | kg N eq. | 2,36E-02 | 1,21E-02 | 3,85E-02 | **7,42E-02** | 2,73E-02 | 2,53E-02 |
| | terrestrial | mol N eq. | 2,39E-01 | 1,45E-01 | 8,46E-01 | **1,23E+00** | 3,04E-01 | 2,77E-01 |
| Formation potential of tropospheric ozone (POCP) | | kg NMVOC eq. | 2,26E-01 | 4,71E-02 | 9,09E-02 | **3,64E-01** | 1,17E-01 | 8,02E-02 |
| Abiotic depletion potential – Elements ** | | kg Sb eq. | 1,07E-04 | 2,75E-05 | 1,99E-05 | **1,55E-04** | 7,40E-05 | 2,61E-05 |
| Abiotic depletion potential – Fossil resources ** | | MJ, net calorific value | 5,44E+02 | 2,62E+02 | 1,12E+02 | **9,18E+02** | 6,25E+02 | 1,90E+02 |
| Water scarcity potential ** | | m³ eq. | 1,39E+01 | 2,06E+00 | 5,27E+00 | **2,12E+01** | 4,71E+00 | 1,40E+00 |

### Use of resources - 1m³ CLT

| PARAMETER | | UNIT | A1 | A2 | A3 | TOTAL A1-A3 | A4 | A5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Primary energy resources – Renewable | Use as energy carrier | MJ, net calorific value | 2,75E+00 | 1,23E+01 | 1,06E+03 | **1,08E+03** | 6,77E+00 | 2,68E+00 |
| | Used as raw materials | MJ, net calorific value | 7,52E+03 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | **7,52E+03** | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| | TOTAL | MJ, net calorific value | 7,52E+03 | 1,23E+01 | 1,06E+03 | **8,60E+03** | 6,77E+00 | 2,68E+00 |
| Primary energy resources – Non renewable | Use as energy carrier | MJ, net calorific value | 1,73E+02 | 2,71E+02 | 3,41E+02 | **7,86E+02** | 6,35E+02 | 1,93E+02 |
| | Used as raw materials | MJ, net calorific value | 1,22E+02 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | **1,22E+02** | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| | TOTAL | MJ, net calorific value | 2,95E+02 | 2,71E+02 | 3,41E+02 | **9,07E+02** | 6,35E+02 | 1,93E+02 |
| Secondary material | | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | **0,00E+00** | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Renewable secondary fuels | | MJ, net calorific value | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | **0,00E+00** | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Non-renewable secondary fuels | | MJ, net calorific value | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | **0,00E+00** | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Net use of fresh water | | $m^3$ | 2,52E-01 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | **2,52E-01** | 0,00E+00 | 0,00E+00 |

### Waste production - 1m³ CLT

| PARAMETER | UNIT | A1 | A2 | A3 | TOTAL A1-A3 | A4 | A5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Hazardous waste disposed | kg | 4,86E-05 | 0,00E+00 | 1,56E-01 | **1,56E-01** | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Non-hazardous waste disposed | kg | 8,95E-01 | 0,00E+00 | 3,21E-01 | **1,22E+00** | 0,00E+00 | 6,12E-01 |
| Radioactive waste disposed | kg | 1,08E-02 | 7,14E-07 | 1,41E-06 | **1,08E-02** | 1,72E-06 | 4,98E-07 |

### Output flows - 1m³ CLT

| PARAMETER | UNIT | A1 | A2 | A3 | TOTAL A1-A3 | A4 | A5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Components for reuse | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | **0,00E+00** | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Material for recycling | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,64E-01 | **1,64E-01** | 0,00E+00 | 9,94E-02 |
| Materials for energy recovery | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | **0,00E+00** | 0,00E+00 | 5,12E-01 |
| Exported energy | MJ | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | **0,00E+00** | 0,00E+00 | 0,00E+00 |

* *biogenic carbon content in wood -762 kg $CO_2$-eq.*

** *The results of this environmental impact indicator shall be used with care as the uncertainties on these results are high or as there is limited experience with the indicator.*

## Environmental performance – Use stage

**Potential environmental impact - 1m³ CLT**

| PARAMETER | | UNIT | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 | B7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Global warming potential (GWP) | Fossil | kg $CO_2$ eq. | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| | Biogenic * | kg $CO_2$ eq. | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| | Land use and land transformation | kg $CO_2$ eq. | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| | TOTAL * | kg $CO_2$ eq. | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Ozone depletion potential (ODP) | | kg CFC 11 eq. | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Acidification potential (AP) | | mol $H^+$ eq. | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Eutrophication potential (EP) | freshwater | kg $PO_4$ eq. | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| | marine | kg N eq. | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| | terrestrial | mol N eq. | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Formation potential of tropospheric ozone (POCP) | | kg NMVOC eq. | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Abiotic depletion potential – Elements ** | | kg Sb eq. | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Abiotic depletion potential – Fossil resources ** | | MJ, net calorific value | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Water scarcity potential ** | | $m^3$ eq. | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |

**Use of resources- 1m³ CLT**

| PARAMETER | | UNIT | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 | B7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Primary energy resources – Renewable | Use as energy carrier | MJ, net calorific value | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| | Used as raw materials | MJ, net calorific value | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| | TOTAL | MJ, net calorific value | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Primary energy resources – Non renewable | Use as energy carrier | MJ, net calorific value | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| | Used as raw materials | MJ, net calorific value | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| | TOTAL | MJ, net calorific value | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Secondary material | | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Renewable secondary fuels | | MJ, net calorific value | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Non-renewable secondary fuels | | MJ, net calorific value | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Net use of fresh water | | $m^3$ | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |

**Waste production - 1m³ CLT**

| PARAMETER | UNIT | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 | B7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Hazardous waste disposed | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Non-hazardous waste disposed | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Radioactive waste disposed | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |

**Output flows - 1m³ CLT**

| PARAMETER | UNIT | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 | B7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Components for reuse | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Material for recycling | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Materials for energy recovery | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Exported energy | MJ | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |

* *biogenic carbon content in wood -762 kg $CO_2$-eq.*

** *The results of this environmental impact indicator shall be used with care as the uncertainties on these results are high or as there is limited experience with the indicator.*



## Environmental performance – End of Life "Re-Use"

**Potential environmental impact - 1m³ CLT**

| PARAMETER | | UNIT | C1 | C2 | C3 | C4 | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Global warming potential (GWP) | Fossil | kg $CO_2$ eq. | 5,42E-01 | 2,04E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | -5,12E+01 |
| | Biogenic * | kg $CO_2$ eq. | 1,15E-04 | 7,10E-04 | 7,62E+02* | 0,00E+00 | -7,62E+02* |
| | Land use and land transformation | kg $CO_2$ eq. | 5,99E-05 | 5,35E-04 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | -8,48E-01 |
| | TOTAL * | kg $CO_2$ eq. | 5,42E-01 | 2,04E+00 | 7,62E+02* | 0,00E+00 | -8,14E+02* |
| Ozone depletion potential (ODP) | | kg CFC 11 eq. | 1,19E-07 | 5,10E-07 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | -7,73E-06 |
| Acidification potential (AP) | | mol $H^+$ eq. | 5,55E 03 | 6,59E 03 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 3,89E 01 |
| Eutrophication potential (EP) | freshwater | kg $PO_4$ eq. | 3,75E-05 | 1,67E-04 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | -1,03E-02 |
| | marine | kg N eq. | 2,38E-03 | 1,39E-03 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | -7,04E-02 |
| | terrestrial | mol N eq. | 2,61E 02 | 1,55E 02 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,19E+00 |
| Formation potential of tropospheric ozone (POCP) | | kg NMVOC eq. | 7,20E-03 | 6,05E-03 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | -3,51E-01 |
| Abiotic depletion potential – Elements ** | | kg Sb eq. | 2,69E 07 | 3,96E 06 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,50E 04 |
| Abiotic depletion potential – Fossil resources ** | | MJ, net calorific value | 7,68E+00 | 3,32E+01 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 8,78E+02 |
| Water scarcity potential ** | | $m^3$ eq. | 4,75E-02 | 2,50E-01 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | -2,09E+01 |

**Use of resources - 1m³ CLT**

| PARAMETER | | UNIT | C1 | C2 | C3 | C4 | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Primary energy resources – Renewable | Use as energy carrier | MJ, net calorific value | 6,13E-02 | 3,57E-01 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | -1,08E+03 |
| | Used as raw materials | MJ, net calorific value | 0,00E+00 | 0,00E+00 | -7,52E+03 | 0,00E+00 | -7,52E+03 |
| | TOTAL | MJ, net calorific value | 6,13E 02 | 3,57E 01 | 7,52E+03 | 0,00E+00 | 8,60E+03 |
| Primary energy resources – Non-renewable | Use as energy carrier | MJ, net calorific value | 7,77E+00 | 3,38E+01 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | -7,44E+02 |
| | Used as raw materials | MJ, net calorific value | 0,00E+00 | 0,00E+00 | -1,20E+02 | 0,00E+00 | -1,22E+02 |
| | TOTAL | MJ, net calorific value | 7,77E+00 | 3,38E+01 | -1,20E+02 | 0,00E+00 | -8,66E-02 |
| Secondary material | | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 4,70E+02 | 0,00E+00 | 4,70E+02 |
| Renewable secondary fuels | | MJ, net calorific value | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Non-renewable secondary fuels | | MJ, net calorific value | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Net use of fresh water | | $m^3$ | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | -2,52E-01 |

**Waste production - 1m³ CLT**

| PARAMETER | UNIT | C1 | C2 | C3 | C4 | D |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Hazardous waste disposed | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | -1,56E-01 |
| Non-hazardous waste disposed | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | -1,22E+00 |
| Radioactive waste disposed | kg | 2,10E-08 | 9,14E-08 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | -1,08E-02 |

**Output flow - 1m³ CLT**

| PARAMETER | UNIT | C1 | C2 | C3 | C4 | D |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Components for reuse | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 4,70E+02 | 0,00E+00 | -4,70E+02 |
| Material for recycling | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | -1,64E-01 |
| Materials for energy recovery | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Exported energy | MJ | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |

* *biogenic carbon content in wood -762 kg $CO_2$-eq.*

** *The results of this environmental impact indicator shall be used with care as the uncertainties on these results are high or as there is limited experience with the indicator.*

## Environmental performance – End of Life "Recycling"

**Potential environmental impact - 1m³ CLT**

| PARAMETER | | UNIT | C1 | C2 | C3 | C4 | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Global warming potential (GWP) | Fossil | kg $CO_2$ eq | 5,42E-01 | 2,04E+00 | 5,65E+00 | 0,00E+00 | -5,82E+01 |
| | Biogenic * | kg $CO_2$ eq | 1,15E-04 | 7,10E-04 | 7,82E+02* | 0,00E+00 | -7,83E+02* |
| | Land use and land transformation | kg $CO_2$ eq | 5,99E-05 | 5,36E-04 | 4,80E-04 | 0,00E+00 | -3,28E-01 |
| | TOTAL * | kg $CO_2$ eq | 5,42E-01 | 2,04E+00 | 7,68E+02* | 0,00E+00 | -8,21E+02* |
| Ozone depletion potential (ODP) | | kg CFC 11 eq | 1,19E-07 | 5,10E-07 | 1,28E-06 | 0,00E+00 | -7,45E-06 |
| Acidification potential (AP) | | mol $H^+$ eq. | 5,55E 03 | 6,59E 03 | 5,92E 02 | 0,00E+00 | 4,68E 01 |
| Eutrophication potential (EP) | freshwater | kg $PO_4$ eq | 3,75E-05 | 1,67E-04 | 2,59E-04 | 0,00E+00 | -2,72E-02 |
| | marine | kg N eq. | 2,38E-03 | 1,39E-03 | 2,57E-02 | 0,00E+00 | -8,77E-02 |
| | terrestrial | mol N eq. | 2,61E 02 | 1,55E 02 | 2,82E 01 | 0,00E+00 | 1,40E+00 |
| Formation potential of tropospheric ozone (POCP) | | kg NMVOC eq. | 7,20E-03 | 6,05E-03 | 7,75E-02 | 0,00E+00 | -3,82E-01 |
| Abiotic depletion potential – Elements ** | | kg Sb eq. | 2,69E-07 | 3,96E-06 | 1,89E-06 | 0,00E+00 | -2,61E-04 |
| Abiotic depletion potential – Fossil resources ** | | MJ, net calorific value | 7,68E+00 | 3,32E+01 | 8,09E+01 | 0,00E+00 | 9,52E+02 |
| Water scarcity potential ** | | $m^3$ eq. | 4,75E-02 | 2,50E-01 | 4,40E-01 | 0,00E+00 | -6,49E+01 |

**Use of resources - 1m³ CLT**

| PARAMETER | | UNIT | C1 | C2 | C3 | C4 | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Primary energy resources – Renewable | Use as energy carrier | MJ, net calorific value | 6,13E-02 | 3,57E-01 | 4,73E-01 | 0,00E+00 | -4,26E+03 |
| | Used as raw materials | MJ, net calorific value | 0,00E+00 | 0,00E+00 | -7,52E+03 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| | TOTAL | MJ, net calorific value | 6,13E-02 | 3,57E-01 | -7,52E+03 | 0,00E+00 | -4,26E+03 |
| Primary energy resources – Non-renewable | Use as energy carrier | MJ, net calorific value | 7,77E+00 | 3,38E+01 | 8,17E+01 | 0,00E+00 | -1,15E+03 |
| | Used as raw materials | MJ, net calorific value | 0,00E+00 | 0,00E+00 | -1,20E+02 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| | TOTAL | MJ, net calorific value | 7,77E+00 | 3,38E+01 | -3,85E+01 | 0,00E+00 | -1,15E+03 |
| Secondary material | | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Renewable secondary fuels | | MJ, net calorific value | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Non-renewable secondary fuels | | MJ, net calorific value | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Net use of fresh water | | $m^3$ | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |

**Waste production - 1m³ CLT**

| PARAMETER | UNIT | C1 | C2 | C3 | C4 | D |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Hazardous waste disposed | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Non-hazardous waste disposed | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Radioactive waste disposed | kg | 2,10E-08 | 9,14E-08 | 2,26E-07 | 0,00E+00 | 1,65E-06 |

**Output flows - 1m³ CLT**

| PARAMETER | UNIT | C1 | C2 | C3 | C4 | D |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Components for reuse | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Material for recycling | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 4,70E+02 | 0,00E+00 | -4,70E+02 |
| Materials for energy recovery | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Exported energy | MJ | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |

* *biogenic carbon content in wood -762 kg $CO_2$-eq.*

** *The results of this environmental impact indicator shall be used with care as the uncertainties on these results are high or as there is limited experience with the indicator.*



## Environmental performance – End of Life "Incineration"

**Potential environmental impact - 1m³ CLT**

| PARAMETER | | UNIT | C1 | C2 | C3 | C4 | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Global warming potential (GWP) | Fossil | kg $CO_2$ eq | 5,42E-01 | 2,04E+00 | 3,30E+01 | 0,00E+00 | -3,65E+02 |
| | Biogenic * | kg $CO_2$ eq | 1,15E-04 | 7,10E-04 | 7,82E+02* | 0,00E+00 | -2,73E-02* |
| | Land use and land transformation | kg $CO_2$ eq | 5,99E-05 | 5,36E-04 | 1,43E-02 | 0,00E+00 | 3,44E-04 |
| | TOTAL * | kg $CO_2$ eq | 5,42E-01 | 2,04E+00 | 7,95E+02* | 0,00E+00 | -3,65E+02* |
| Ozone depletion potential (ODP) | | kg CFC 11 eq | 1,19E-07 | 5,10E-07 | 2,67E-06 | 0,00E+00 | -5,32E-05 |
| Acidification potential (AP) | | mol $H^+$ eq. | 5,55E 03 | 6,59E 03 | 1,90E 01 | 0,00E+00 | 1,25E 01 |
| Eutrophication potential (EP) | freshwater | kg $PO_4$ eq | 3,75E-05 | 1,67E-04 | 7,85E-03 | 0,00E+00 | 2,25E-03 |
| | marine | kg N eq. | 2,38E-03 | 1,39E-03 | 7,83E-02 | 0,00E+00 | -4,86E-03 |
| | terrestrial | mol N eq. | 2,61E 02 | 1,55E 02 | 8,09E 01 | 0,00E+00 | 1,21E 01 |
| Formation potential of tropospheric ozone (POCP) | | kg NMVOC eq. | 7,20E-03 | 6,05E-03 | 2,07E-01 | 0,00E+00 | -1,11E-01 |
| Abiotic depletion potential – Elements ** | | kg Sb eq. | 2,69E-07 | 3,96E-06 | 2,37E-05 | 0,00E+00 | 6,98E-06 |
| Abiotic depletion potential – Fossil resources ** | | MJ, net calorific value | 7,68E+00 | 3,32E+01 | 2,48E+02 | 0,00E+00 | 6,09E+03 |
| Water scarcity potential ** | | $m^3$ eq. | 4,75E-02 | 2,50E-01 | -2,36E+00 | 0,00E+00 | -3,06E+00 |

**Use of resources - 1m³ CLT**

| PARAMETER | | UNIT | C1 | C2 | C3 | C4 | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Primary energy resources – Renewable | Use as energy carrier | MJ, net calorific value | 6,13E-02 | 3,57E-01 | 1,30E+01 | 0,00E+00 | -5,69E+00 |
| | Used as raw materials | MJ, net calorific value | 0,00E+00 | 0,00E+00 | -7,52E+03 | 0,00E+00 | -7,52E+03 |
| | TOTAL | MJ, net calorific value | 6,13E-02 | 3,57E-01 | -7,51E+03 | 0,00E+00 | -7,53E+03 |
| Primary energy resources – Non-renewable | Use as energy carrier | MJ, net calorific value | 7,77E+00 | 3,38E+01 | 2,72E+02 | 0,00E+00 | -6,10E+03 |
| | Used as raw materials | MJ, net calorific value | 0,00E+00 | 0,00E+00 | -1,20E+02 | 0,00E+00 | -1,20E+02 |
| | TOTAL | MJ, net calorific value | 7,77E+00 | 3,38E+01 | 1,52E+02 | 0,00E+00 | -6,22E+03 |
| Secondary material | | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Renewable secondary fuels | | MJ, net calorific value | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 7,52E+03 | 0,00E+00 | -7,52E+03 |
| Non-renewable secondary fuels | | MJ, net calorific value | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,20E+02 | 0,00E+00 | -1,20E+02 |
| Net use of fresh water | | $m^3$ | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |

**Waste production - 1m³ CLT**

| PARAMETER | UNIT | C1 | C2 | C3 | C4 | D |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Hazardous waste disposed | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Non-hazardous waste disposed | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Radioactive waste disposed | kg | 2,10E-08 | 9,14E-08 | 4,98E-07 | 0,00E+00 | -8,93E-07 |

**Output flows - 1m³ CLT**

| PARAMETER | UNIT | C1 | C2 | C3 | C4 | D |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Components for reuse | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Material for recycling | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Materials for energy recovery | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 4,70E+02 | 0,00E+00 | -4,70E+02 |
| Exported energy | MJ | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 7,64E+03 | 0,00E+00 | -7,64E+03 |

* *biogenic carbon content in wood -762 kg $CO_2$-eq.*

** *The results of this environmental impact indicator shall be used with care as the uncertainties on these results are high or as there is limited experience with the indicator.*

## Environmental performance – End of Life "Landfill"

**Potential environmental impact - 1m³ CLT**

| PARAMETER | | UNIT | C1 | C2 | C3 | C4 | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Global warming potential (GWP) | Fossil | kg $CO_2$ eq | 5,42E-01 | 2,04E+00 | 0,00E+00 | 1,00E+01 | -3,92E+00 |
| | Biogenic * | kg $CO_2$ eq | 1,15E-04 | 7,10E-04 | 0,00E+00 | 1,04E+03* | -6,07E-04* |
| | Land use and land transformation | kg $CO_2$ eq | 5,99E-05 | 5,35E-04 | 0,00E+00 | 1,18E-03 | -1,43E-04 |
| | TOTAL * | kg $CO_2$ eq | 5,42E-01 | 2,04E+00 | 0,00E+00 | 1,05E+03* | -3,93E+00* |
| Ozone depletion potential (ODP) | | kg CFC 11 eq | 1,19E-07 | 5,10E-07 | 0,00E+00 | 2,78E-06 | -5,54E-07 |
| Acidification potential (AP) | | mol $H^+$ eq | 5,55E 03 | 6,59E 03 | 0,00E+00 | 9,51E 02 | 3,21E 03 |
| Eutrophication potential (EP) | freshwater | kg $PO_4$ eq | 3,75E-05 | 1,67E-04 | 0,00E+00 | 1,08E-03 | -5,69E-05 |
| | marine | kg N eq | 2,38E-03 | 1,39E-03 | 0,00E+00 | 2,09E-01 | -8,52E-04 |
| | terrestrial | mol N eq | 2,61E 02 | 1,55E 02 | 0,00E+00 | 4,27E 01 | 9,52E 03 |
| Formation potential of tropospheric ozone (POCP) | | kg NMVOC eq | 7,20E-03 | 6,05E-03 | 0,00E+00 | 1,99E-01 | -3,24E-03 |
| Abiotic depletion potential – Elements ** | | kg Sb eq | 2,69E-07 | 3,96E-06 | 0,00E+00 | 7,48E-06 | -2,05E-07 |
| Abiotic depletion potential – Fossil resources ** | | MJ, net calorific value | 7,68E+00 | 3,32E+01 | 0,00E+00 | 1,85E+02 | 6,25E+01 |
| Water scarcity potential ** | | $m^3$ eq. | 4,75E-02 | 2,50E-01 | 0,00E+00 | 1,11E+00 | -9,75E-03 |

**Use of resources - 1m³ CLT**

| PARAMETER | | UNIT | C1 | C2 | C3 | C4 | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Primary energy resources – Renewable | Use as energy carrier | MJ, net calorific value | 6,13E-02 | 3,57E-01 | 0,00E+00 | 3,94E+00 | -1,87E-01 |
| | Used as raw materials | MJ, net calorific value | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | -7,52E+03 | 7,49E+01 |
| | TOTAL | MJ, net calorific value | 6,13E-02 | 3,57E-01 | 0,00E+00 | -7,52E+03 | 7,47E+01 |
| Primary energy resources – Non-renewable | Use as energy carrier | MJ, net calorific value | 7,77E+00 | 3,38E+01 | 0,00E+00 | 1,93E+02 | -6,29E+01 |
| | Used as raw materials | MJ, net calorific value | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | -1,20E+02 | 0,00E+00 |
| | TOTAL | MJ, net calorific value | 7,77E+00 | 3,38E+01 | 0,00E+00 | 7,29E+01 | -6,29E+01 |
| Secondary material | | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Renewable secondary fuels | | MJ, net calorific value | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 7,49E+01 | 0,00E+00 |
| Non-renewable secondary fuels | | MJ, net calorific value | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Net use of fresh water | | $m^3$ | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |

**Waste production - 1m³ CLT**

| PARAMETER | UNIT | C1 | C2 | C3 | C4 | D |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Hazardous waste disposed | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Non-hazardous waste disposed | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 4,70E+02 | 0,00E+00 |
| Radioactive waste disposed | kg | 2,10E-08 | 9,14E-08 | 0,00E+00 | 5,20E-07 | -1,57E-08 |

**Output flows - 1m³ CLT**

| PARAMETER | UNIT | C1 | C2 | C3 | C4 | D |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Components for reuse | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Material for recycling | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Materials for energy recovery | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Exported energy | MJ | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 7,49E+01 | 7,49E+01 |

* *biogenic carbon content in wood -762 kg $CO_2$-eq.*

** *The results of this environmental impact indicator shall be used with care as the uncertainties on these results are high or as there is limited experience with the indicator.*



## Additional required impact indicator acc. PCR 2019:14

This indicator includes all greenhouse gases included in GWP-total but excludes biogenic carbon dioxide emissions and uptake and biogenic carbon stored in the product. This indicator support comparability with EPDs based on the previous version of EN 15804 (EN 15804:2012+A1:2013).

**Environmental performance – product / construction stage**

| INDICATOR | UNIT | A1 | A2 | A3 | TOTAL A1-A3 | A4 | A5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GWP-GHG (acc. IPPC 2013) | kg $CO_2$ eq. | 3,19E+01 | 1,42E+01 | 8,60E+00 | **5,46E+01** | 3,82E+01 | 1,44E+01 |

**Environmental performance – Re-Use at the End-of-Life**

| INDICATOR | UNIT | C1 | C2 | C3 | C4 | D |
|---|---|---|---|---|---|---|
| GWP-GHG (acc. IPPC 2013) | kg $CO_2$ eq. | 5,28E-01 | 2,03E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | -5,21E+01 |

**Environmental performance – Recycling at the End-of-Life**

| INDICATOR | UNIT | C1 | C2 | C3 | C4 | D |
|---|---|---|---|---|---|---|
| GWP-GHG (acc. IPPC 2013) | kg $CO_2$ eq. | 5,28E-01 | 2,03E+00 | 5,52E+00 | 0,00E+00 | -5,67E+01 |

**Environmental performance – Incineration at the End-of-Life**

| INDICATOR | UNIT | C1 | C2 | C3 | C4 | D |
|---|---|---|---|---|---|---|
| GWP-GHG (acc. IPPC 2013) | kg $CO_2$ eq. | 5,28E-01 | 2,03E+00 | 1,50E+01 | 0,00E+00 | -3,78E+02 |

**Environmental performance – Landfill at the End-of-Life**

| INDICATOR | UNIT | C1 | C2 | C3 | C4 | D |
|---|---|---|---|---|---|---|
| GWP-GHG (acc. IPPC 2013) | kg $CO_2$ eq. | 5,28E-01 | 2,03E+00 | 0,00E+00 | 2,33E+02 | -3,87E+00 |

*Please note: Contrary to the results shown in the previous tables, the results for the GWP-GHG were calculated with a newer version of the LCA software (SimaPro 9.1) and a newer version of the background database (ecoinvent 3.6) These changes mean that the results due to updated datasets are not same anymore but almost equal to previous calculations with former software and database version.*

## Additional environmental impact indicators

Information about additional environmental impact indicators for each module is declared in "Environmental Product Declaration. CLT by Stora Enso – ANNEX A" and available on request:

| PARAMETER | Particulate matter emissions | Ionising radiation, human health *** | Ecotoxicity (freshwater) ** | Human toxicity, cancer effects ** | Human toxicity, non cancer effects ** | Land use related impacts / soil quality ** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| UNIT | Disease incidence | kBq U235 eq. | CTUe | CTUe | CTUe | dimensionless |

** *The results of this environmental impact indicator shall be used with care as the uncertainties on these results are high or as there is limited experience with the indicator.*

*** *This impact category deals mainly with the eventual impact of low dose ionizing radiation on human health of the nuclear fuel cycle. It does not consider effects due to possible nuclear accidents, occupational exposure nor due to radioactive waste disposal in underground facilities. Potential ionizing radiation from the soil, from radon and from some construction materials is also not measured by this indicator.*

## Environmental impact indicators acc. EN15804:2012 + A1:2013

Information about environmental impact for all modules as required in the former EN15804:2012 + A1:2013 are published in "Environmental Product Declaration. CLT by Stora Enso – ANNEX B" and available on request. This document should allow comparability between EPDs during the transition phase of the amendments to the "Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products" standards.

## Programme-related information and verification

| | |
|---|---|
| **Programme:** | The International EPD® System<br><br>EPD International AB<br>Box 210 60<br>SE-100 31 Stockholm<br>Sweden<br><br>www.environdec.com<br>info@environdec.com |
| **EPD registration number:** | S-P-02033 |
| **Published:** | 11-05-2020 |
| **Revision:** | 10-02-2021 |
| **Valid until:** | 11-02-2026 |
| **Reference year for data:** | 2018 |
| **Geographical scope:** | Austria, Sweden |
| **Product category rules:** | PCR 2019:14, v.1.0 Construction products<br><br>C-PCR-006 (to PCR 2019:14) Wood and wood-based products for use in construction |
| **UN CPC code:** | 314 – Boards and panels |

| | |
|---|---|
| **Independent third-party verification of the declaration and data, according to ISO 14025:2006:** | ☐ EPD process certification ☒ EPD verification |
| **LCA study conducted by:** | Stora Enso – Division Wood Products |
| **Third party verifier:** | Dr. Andrew Norton, Renuables Ltd. |
| **Approved by:** | The International EPD® System |
| **Procedure for follow-up of data during EPD validity involves third party verifier:** | ☐ Yes ☒ No |

The EPD owner has the sole ownership, liability, and responsibility for the EPD. EPDs within the same product category but from different programmes may not be comparable. EPDs of construction products may not be comparable if they do not comply with EN 15804.



## References

General Programme Instructions of the International EPD® System. Version 3.01.
C-PCR-006 (to PCR 2019:14). Wood and wood-based products for use in construction. Version 2019-12-20.

### Standards

EN 15804:2012 + A2:2019 Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products

EN 16485:2014 Round and sawn timber. Environmental product declarations. Product category rules for wood and wood-based products for use in construction

EN 16449:2014 Wood and wood-based products. Calculation of the biogenic carbon content of wood and conversion to carbon dioxide

EN 15942:2012 Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Communication format business-to-business

ISO 14025:2010 Environmental labels and declarations. Type III environmental declarations. Principles and procedures.

ISO 14044:2006 Environmental management. Life Cycle Assessment. Requirements and guidelines.

### Tools and databases

SimaPro 9.0 – LCA software by PRé Sustainability http://simapro.com/
Ecoinvent 3.5 database. http://www.ecoinvent.org/

### Detailed product information

**More CLT inspiration**
storaenso.com/woodproducts/clt

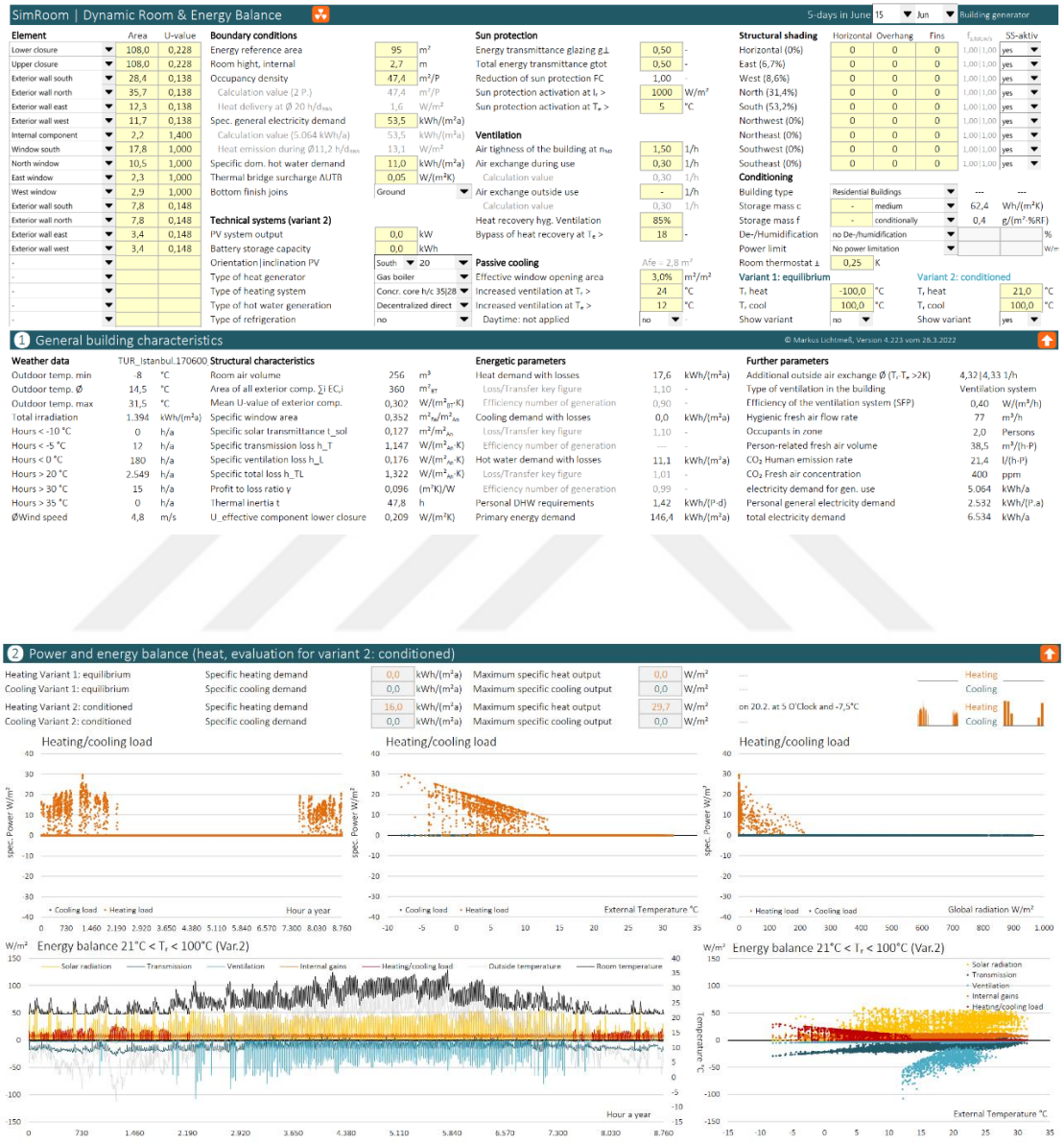
**CLT technical brochure**

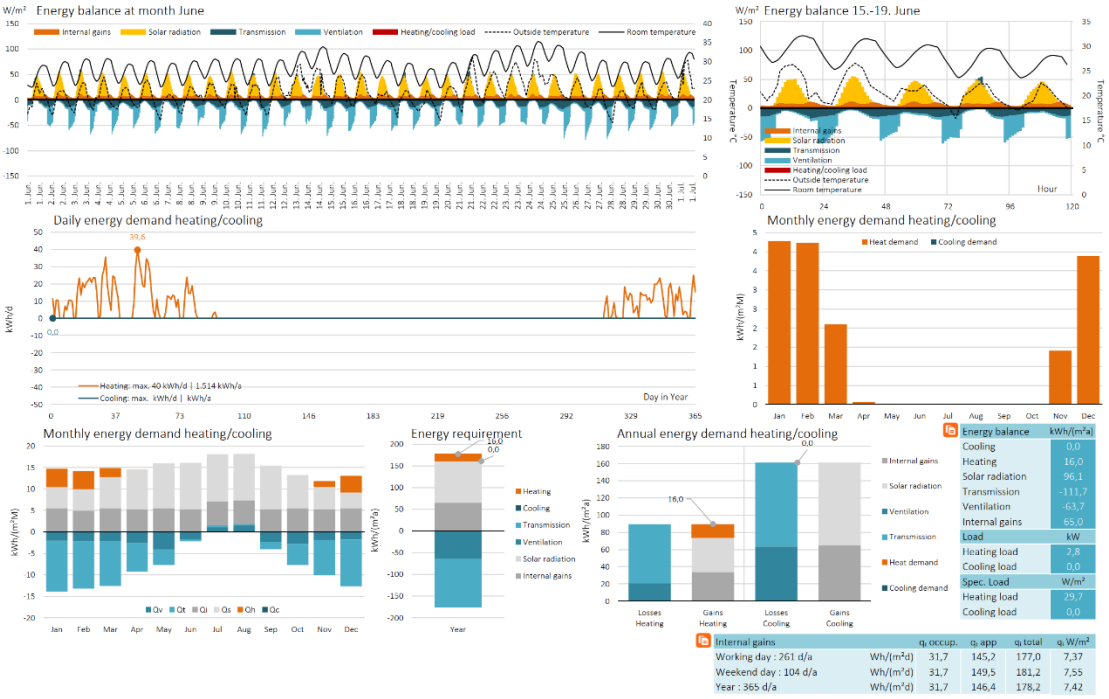
### EPD owner and LCA author

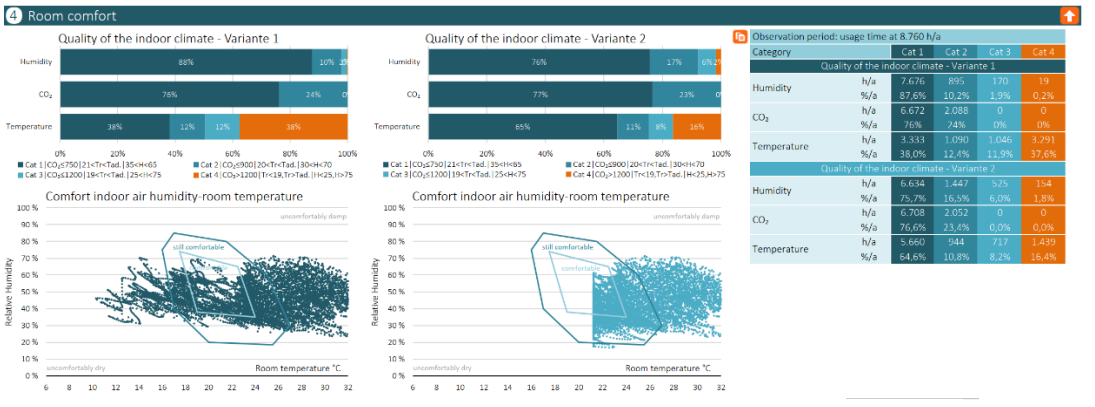
Stora Enso
Division Wood Products
E-mail woodproducts@storaenso.com
Tel +358 (0)20 46114
www.storaenso.com

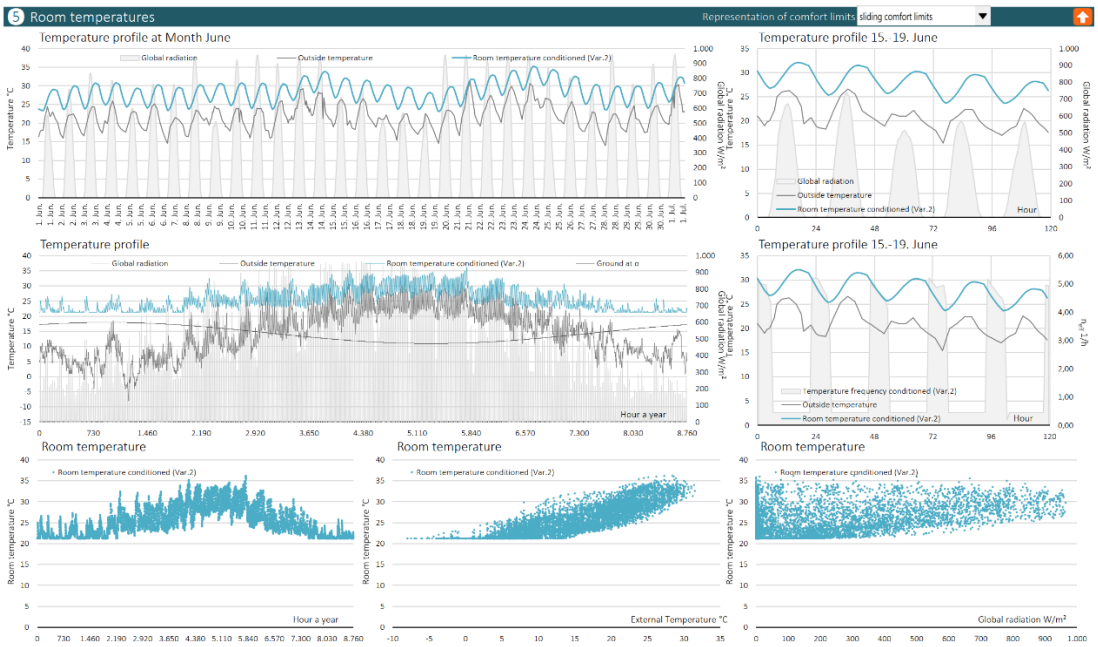
# EK-B

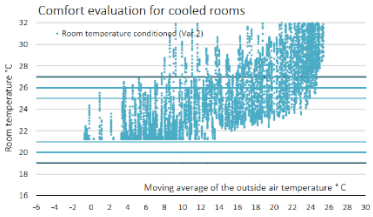
## ÇAĞDAŞ AHŞAP YAPIM SİSTEMİ SİMROOM ANALİZ RAPORU

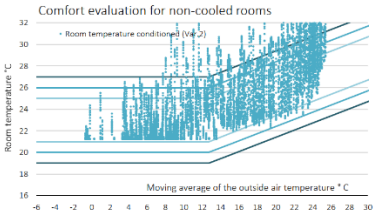



W/m² Energy balance at month June
Internal gains
Solar radiation
Transmission
Ventilation
Heating/cooling load
Outside temperature
Room temperature
W/m² Energy balance 15.-19. June
Temperature °C
Hour
Daily energy demand heating/cooling
kWh/d
39,6
0,0
Heating: max. 40 kWh/d | 1.514 kWh/a
Cooling: max. kWh/d | kWh/a
Day in Year
Monthly energy demand heating/cooling
Heat demand
Cooling demand
kWh/(m²M)
Jan Feb Mar Apr May Jun Jul Aug Sep Oct Nov Dec
Monthly energy demand heating/cooling
Qv Qt Qi Qs Qh Qc
Energy requirement
16,0
0,0
Heating
Cooling
Transmission
Ventilation
Solar radiation
Internal gains
Year
Annual energy demand heating/cooling
16,0
Losses Heating
Gains Heating
Losses Cooling
Gains Cooling
Energy balance kWh/(m²a)
Cooling 0,0
Heating 16,0
Solar radiation 96,1
Transmission -111,7
Ventilation -63,7
Internal gains 65,0
Load kW
Heating load 2,8
Cooling load 0,0
Spec. Load W/m²
Heating load 29,7
Cooling load 0,0
Internal gains | q_i occup. | q_i app | q_i total | q_i W/m²
Working day : 261 d/a Wh/(m²d) 31,7 145,2 177,0 7,37
Weekend day : 104 d/a Wh/(m²d) 31,7 149,5 181,2 7,55
Year : 365 d/a Wh/(m²d) 31,7 146,4 178,2 7,42


4 Room comfort
Quality of the indoor climate - Variante 1
Quality of the indoor climate - Variante 2
Humidity
CO₂
Temperature
Comfort indoor air humidity-room temperature
still comfortable
uncomfortably dry
uncomfortably damp
Relative Humidity
Room temperature °C
Observation period: usage time at 8.760 h/a
Category | Cat 1 | Cat 2 | Cat 3 | Cat 4
Quality of the indoor climate - Variante 1
Humidity h/a 7.676 895 170 19
Humidity %/a 87,6% 10,2% 1,9% 0,2%
CO₂ h/a 6.672 2.088 0 0
CO₂ %/a 76% 24% 0% 0%
Temperature h/a 3.333 1.090 1.046 3.291
Temperature %/a 38,0% 12,4% 11,9% 37,6%
Quality of the indoor climate - Variante 2
Humidity h/a 6.634 1.447 525 154
Humidity %/a 75,7% 16,5% 6,0% 1,8%
CO₂ h/a 6.708 2.052 0 0
CO₂ %/a 76,6% 23,4% 0,0% 0,0%
Temperature h/a 5.660 944 717 1.439
Temperature %/a 64,6% 10,8% 8,2% 16,4%

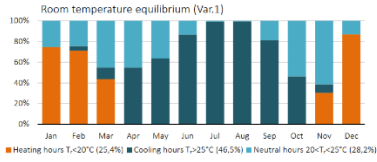

5 Room temperatures
Representation of comfort limits
sliding comfort limits
Temperature profile at Month June
Global radiation
Outside temperature
Room temperature conditioned (Var.2)
Temperature °C
Global radiation W/m²
Temperature profile 15. 19. June
Hour
Temperature profile
Ground at 0
Hour a year
Temperature profile 15.-19. June
Temperature frequency conditioned (Var.2)
Outside temperature
Room temperature conditioned (Var.2)
Room temperature
Room temperature conditioned (Var.2)
Room temperature °C
Hour a year
External Temperature °C
Global radiation W/m²

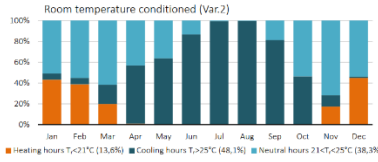



Comfort evaluation based on EN 15251 - adaptive model

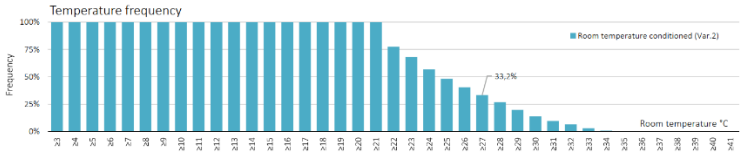
| Category at 8.760 h/a | I | II | III | IV |
|---|---|---|---|---|
| **Room temperature Variant 1: equilibrium** | | | | |
| Above max. in % | 32,9% | 24,1% | 16,4% | --- |
| Below min. in % | 29,1% | 25,4% | 21,2% | --- |
| Sum above/below lim. in % | 62,0% | 49,5% | 37,6% | --- |
| Quality in % of useful time | 38,0% | 12,4% | 11,9% | 37,6% |
| **Room temperature Variant 2: conditioned** | | | | |
| Above max. in % | 34,5% | 24,6% | 16,4% | --- |
| Below min. in % | 0,9% | 0,0% | 0,0% | --- |
| Sum above/below lim. in % | 35,4% | 24,6% | 16,4% | --- |
| Quality in % of useful time | 64,6% | 10,8% | 8,2% | 16,4% |



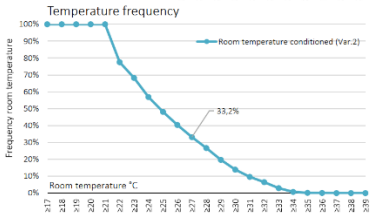

Consideration of the energy hours (full year)

| Energy hours | Unit | Var. 1 | | Var. 2 | |
|---|---|---|---|---|---|
| Heating hours | h/a | 2.221 | 25,4% | 1.192 | 13,6% |
| Neutral hours | h/a | 2.467 | 28,2% | 3.352 | 38,3% |
| Cooling hours | h/a | 4.072 | 46,5% | 4.216 | 48,1% |
| Heating days | d/a | 93 | passive | 50 | active |
| Neutral days | d/a | 103 | passive | 140 | passive |
| Cooling days | d/a | 170 | passive | 176 | passive |




Evaluation of excess temperature degree hours at (8.760 h/a)

| Summer climate A, B, C | Ref. T, °C | Value Kh/a | Requirement 4108-2 in Kh/a |
|---|---|---|---|
| **Excess temperature degree hours Variant 1: equilibrium** | | | |
| Climate agion A | 25 | 15.359 | |
| Climate agion B | 26 | 11.585 | 1.200 |
| Climate agion C | 27 | 8.391 | |
| **Excess temperature degree hours Variant 2: conditioned** | | | |
| Climate agion A | 25 | 15.476 | |
| Climate agion B | 26 | 11.618 | 1.200 |
| Climate agion C | 27 | 8.404 | |



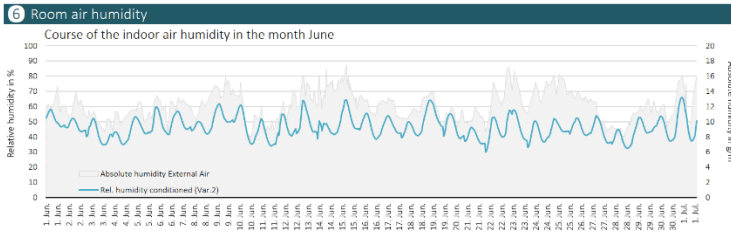

Evaluation of room temperatures

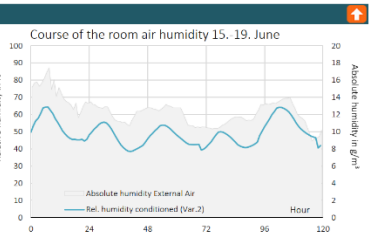
| Evaluation of room temperatures | Var. 1 | Var. 2 | Unit |
|---|---|---|---|
| Minimum room temperature | 10,3 | 21,3 | °C |
| Average room temperature | 24,1 | 25,5 | °C |
| Maximum room temperature | 36,2 | 36,2 | °C |

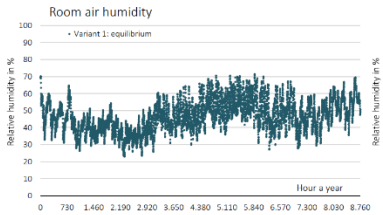
Excess temperature hours at 8.760 h/a

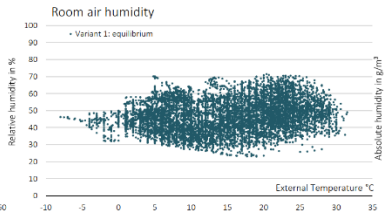
| Excess temperature hours at 8.760 h/a | Var. 1 | Var. 2 | Limit |
|---|---|---|---|
| Share of hours with $T_r$ > 24 °C | 54,0% | 56,9% | --- |
| Share of hours with $T_r$ > 25 °C | 46,5% | 48,1% | --- |
| Share of hours with $T_r$ > 26 °C | 39,8% | 40,3% | < 10 % |
| Share of hours with $T_r$ > 27 °C | 33,1% | 33,2% | --- |
| Share of hours with $T_r$ > 28 °C | 26,6% | 26,7% | --- |
| Share of hours with $T_r$ > 29 °C | 19,7% | 19,7% | --- |
| Share of hours with $T_r$ > 30 °C | 13,8% | 13,8% | --- |

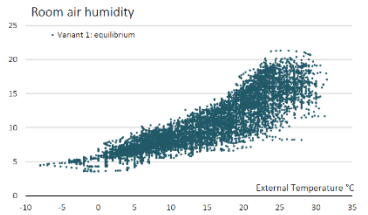
## 6 Room air humidity

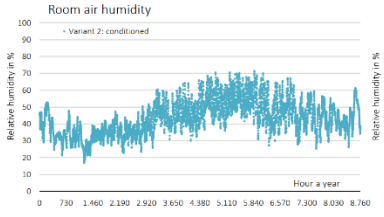


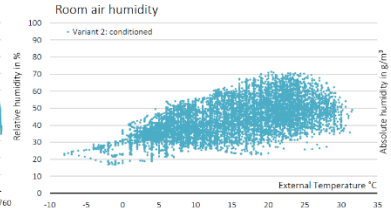



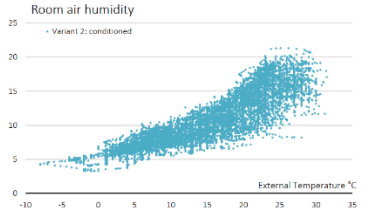



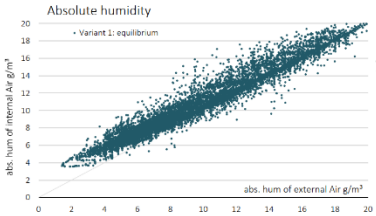



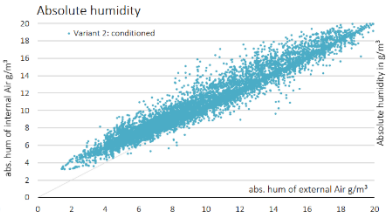



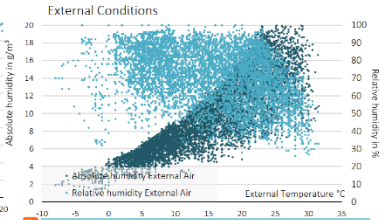



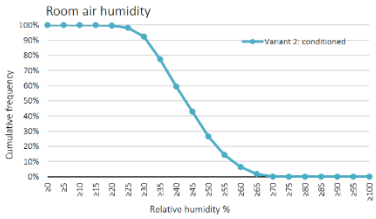



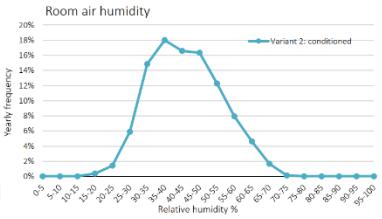





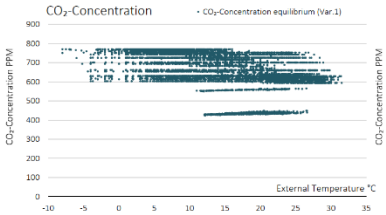



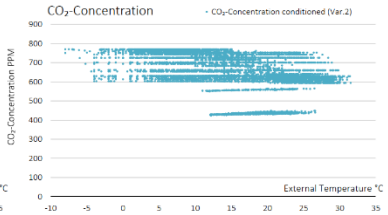



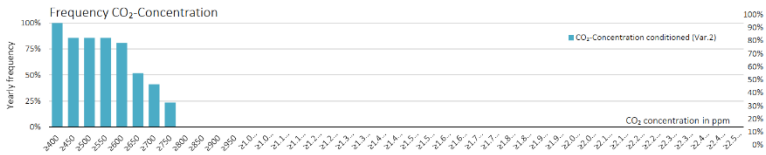

| Moisture sources | | | | g/h | $g/d_{WS}$ | kg/a |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Humidity output occupants (70 g/(P.h) | | | | 140 | 2.807 | 1.024 |
| Humidity output general (0,5 g/(h.m²) | | | | 47 | 1.137 | 415 |
| **Evaluation of humidity** | | | | | **Var. 1** | **Var. 2** |
| Rel. humidity betw. | 0 % | 10 % | ☹ | | 0,0% | 0,0% |
| Rel. humidity betw. | 10 % | 20 % | ☹ | | 0,0% | 0,4% |
| Rel. humidity betw. | 20 % | 30 % | ☹ | | 2,0% | 7,3% |
| Rel. humidity betw. | 30 % | 40 % | OK | | 23,4% | 32,9% |
| Rel. humidity betw. | 40 % | 50 % | OK | | 39,2% | 32,9% |
| Rel. humidity betw. | 50 % | 60 % | OK | | 27,0% | 20,2% |
| Rel. humidity betw. | 60 % | 70 % | OK | | 8,3% | 6,3% |
| Rel. humidity betw. | 70 % | 80 % | ♦ | | 0,1% | 0,1% |
| Rel. humidity betw. | 80 % | 90 % | ♦ | | 0,0% | 0,0% |
| Rel. humidity betw. | 90 % | 100 % | ♦ | | 0,0% | 0,0% |

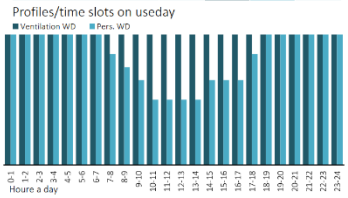
## 7 Room air quality

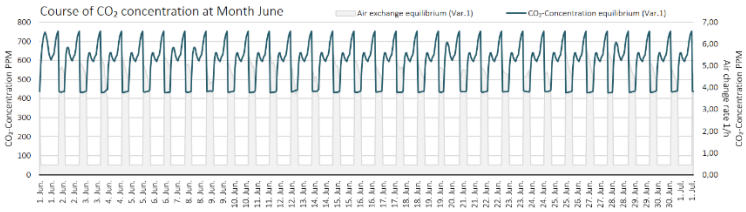


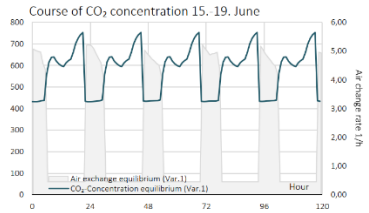



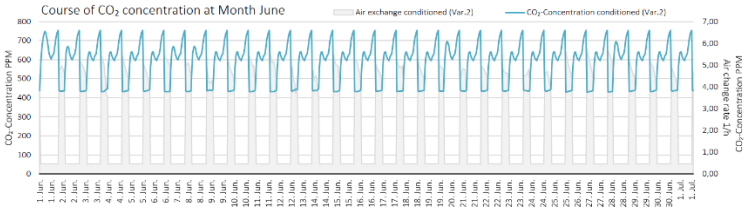

| Classification of indoor air quality according to DIN EN 13779 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Indoor air category: | | | | IDA 2 medium indoor air quality | |
| Indoor air category: | | | | > 800 -1.000 | |
| **Simulation results** | | | | **Var. 1** | **Var. 2** | **Unit** |
| Minimum $CO_2$ concentration | | | | 425 | 424 | ppm |
| Average $CO_2$ concentration | | | | 650 | 650 | ppm |
| Maximum $CO_2$ concentration | | | | 771 | 771 | ppm |
| **Frequency** | | | | **Var. 1** | **Var. 2** | **Ref. value** |
| $CO_2$ concentration > | 400 | ppm | | 100,0% | 100,0% | --- |
| $CO_2$ concentration > | 600 | ppm | | 80,9% | 80,7% | --- |
| $CO_2$ concentration > | 800 | ppm | | 0,0% | 0,0% | --- |
| $CO_2$ concentration > | 1.000 | ppm | | 0,0% | 0,0% | --- |
| $CO_2$ concentration > | 1.500 | ppm | | 0,0% | 0,0% | < 5 % |
| $CO_2$ concentration > | 2.500 | ppm | | 0,0% | 0,0% | --- |

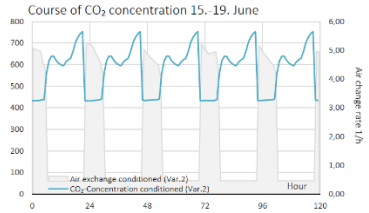


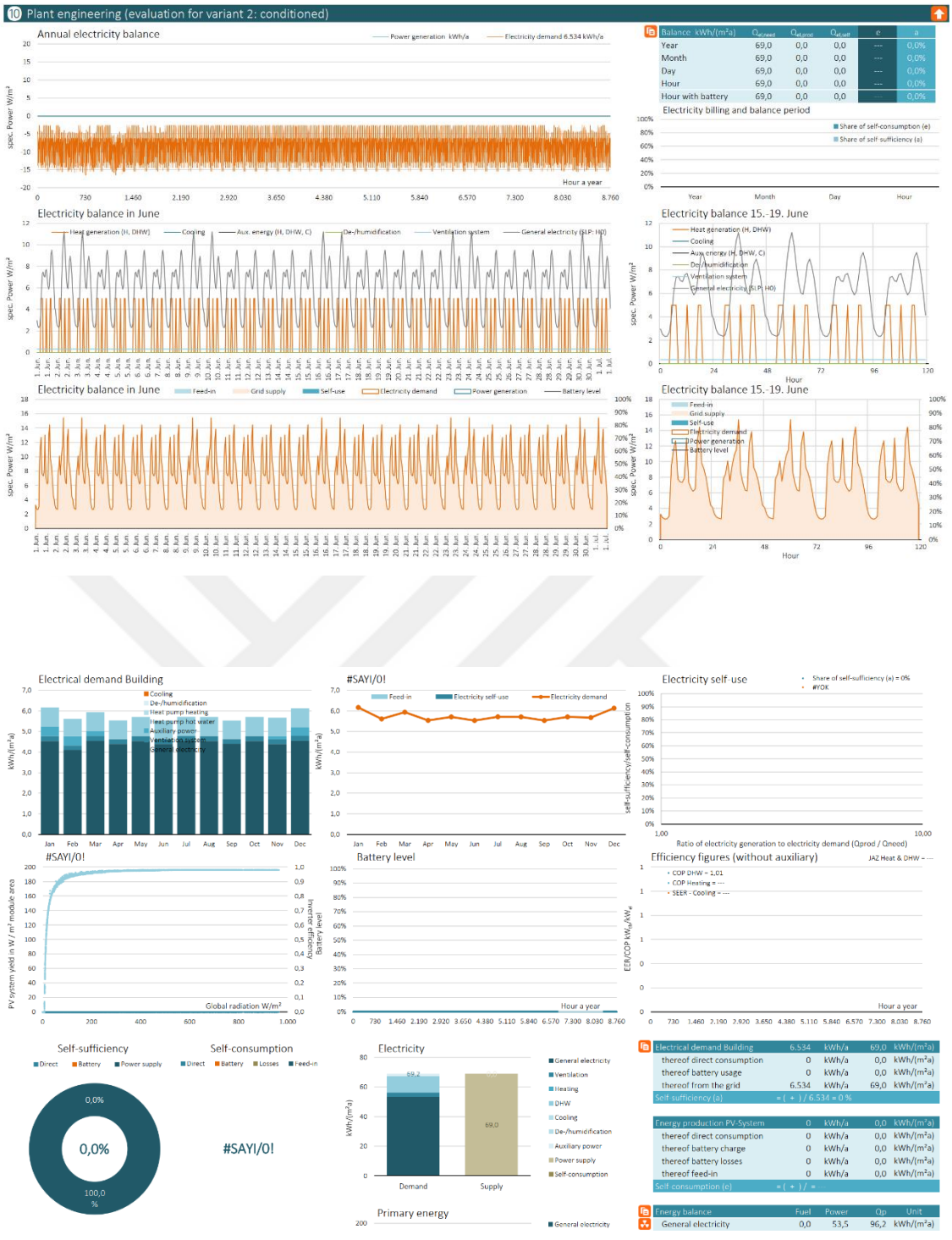




10 Plant engineering (evaluation for variant 2: conditioned)
Annual electricity balance
Power generation kWh/a
Electricity demand 6.534 kWh/a
spec. Power W/m²
Hour a year
Balance kWh/(m²a)
Year
Month
Day
Hour
Hour with battery
Electricity billing and balance period
Share of self-consumption (e)
Share of self-sufficiency (e)
Electricity balance in June
Heat generation (H, DHW)
Cooling
Aux. energy (H, DHW, C)
De-/humidification
Ventilation system
General electricity (SLP: H0)
Electricity balance 15.-19. June
Hour
Feed-in
Grid supply
Self-use
Electricity demand
Power generation
Battery level
Electrical demand Building
Heat pump heating
Heat pump hot water
Auxiliary power
#SAYI/0!
Electricity self-use
Share of self-sufficiency (e) = 0%
#YOK
Ratio of electricity generation to electricity demand (Qprod / Qneed)
Battery level
Efficiency figures (without auxiliary)
JAZ Heat & DHW = ---
COP DHW = 1,01
COP Heating = ---
SEER - Cooling = ---
PV system yield in W / m² module area
Global radiation W/m²
Hour a year
Self-sufficiency
Direct
Battery
Power supply
Self-consumption
Losses
Feed-in
0,0%
100,0 %
#SAYI/0!
Electricity
General electricity
Ventilation
Heating
DHW
Cooling
De-/humidification
Auxiliary power
Power supply
Self-consumption
Demand
Supply
Primary energy
Electrical demand Building
thereof direct consumption
thereof battery usage
thereof from the grid
Self sufficiency (e)
Energy production PV-System
thereof battery charge
thereof battery losses
thereof feed-in
Self-consumption (e)
Energy balance
Fuel
Power
Qp
Unit
General electricity

# EK-C

## CLT DUVAR UBAKUS RAPORU

ubakus

Die Nutzung dieses Dokuments ist ausschließlich für Bildungszwecke gestattet.
Created with the version for study and teaching. Licensed for Bü?ra AKYILDIZ.

### CLT Duvar Teslim 220724

Exterior wall
created on 26.7.2022

**Thermal protection**

U = 0,15 W/(m²K)

DIN 4108*: R>1,75 m²K/W + $R_{si}$ + $R_{se}$

excellent — insufficient

**Moisture proofing**

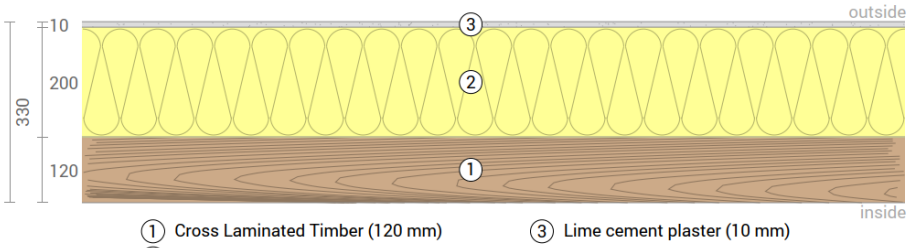
Drying reserve: 2525 g/m²a
No condensate

excellent — insufficient

**Heat protection**

Temperature amplitude damping: 72
phase shift: 13,8 h
Thermal capacity inside: 94 kJ/m²K

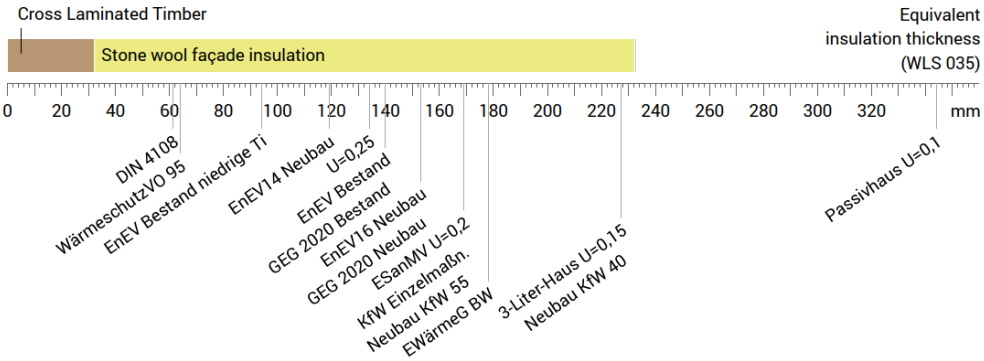
excellent — insufficient




① Cross Laminated Timber (120 mm)
② Stone wool façade insulation (200 mm)
③ Lime cement plaster (10 mm)

### Impact of each layer and comparison to reference values

For the following figure, the thermal resistances of the individual layers were converted in millimeters insulation. The scale refers to an insulation of thermal conductivity 0,035 W/mK.




| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Inside air : | 20,0°C / 50% | | | Thickness: | 33,0 cm |
| Outside air: | -5,0°C / 80% | sd-value: | 5,3 m | Weight: | 98 kg/m² |
| Surface temperature.: | 19,1°C / -4,9°C | Drying reserve: | 2525 g/m²a | Heat capacity: | 131 kJ/m²K |

☑ BEG Einzelmaßn. ☑ GEG 2020 Bestand ☑ GEG 2020 Neubau ☑ DIN 4108

*Comparison of the U-value with den techn. Mindestanforderungen für BEG Einzelmaßnahmen; den Höchstwerten aus GEG 2020 Anlage 7 (GEG 2020 Bestand); 80% des U-Werts der Referenzausführung aus GEG 2020 Anlage 1 (GEG20 Neubau); den R-Werten aus DIN 4108-2 Tabelle 3

Page 1

Click here to edit the construction on www.ubakus.de.

Die Nutzung dieses Dokuments ist ausschließlich für Bildungszwecke gestattet.
Created with the version for study and teaching. Licensed for Bü?ra AKYILDIZ.



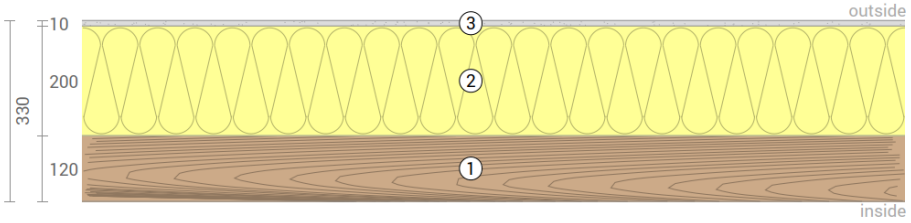
## U-Value calculation according to DIN EN ISO 6946

| # | Material | Dicke [cm] | λ [W/mK] | R [m²K/W] |
|---|---|---|---|---|
| | Thermal contact resistance inside (Rsi) | | | 0,130 |
| 1 | Cross Laminated Timber | 12,00 | 0,130 | 0,923 |
| 2 | Stone wool façade insulation | 20,00 | 0,035 | 5,714 |
| 3 | Lime cement plaster | 1,00 | 1,000 | 0,010 |
| | Thermal contact resistance outside (Rse) | | | 0,040 |

Thermal contact resistances have been taken from DIN 6946 Table 7.
Rsi: heat flow direction horizontally
Rse: heat flow direction horizontally, outside: Direct contact to outside air

Thermal resistance $R_{tot}$ = 6,817 m²K/W

Heat transfer coefficient U = 1/$R_{tot}$ = **0,15 W/(m²K)**






Click here to edit the construction on www.ubakus.de.

Die Nutzung dieses Dokuments ist ausschließlich für Bildungszwecke gestattet.
Created with the version for study and teaching. Licensed for Bü?ra AKYILDIZ.



## LCA

Heat loss: 9 kWh/m² per heating season

Amount of heat that escapes through one square meter of this component during the heating period. Please note: Due to internal and solar gains, the heating demand is lower than the heat loss.

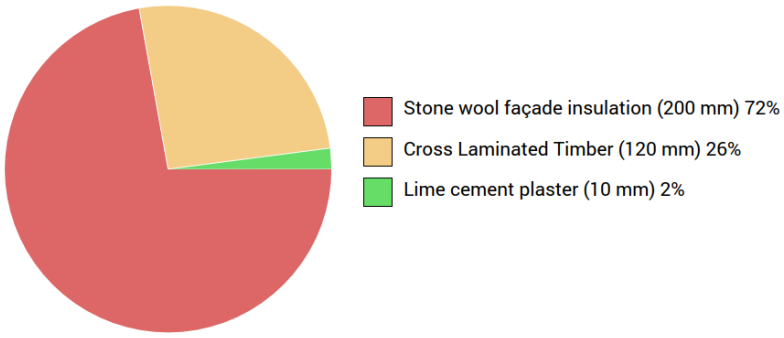
Primary energy (non renewable): 97 kWh/m²

Non-renewable primary energy (= energy from fossil fuels and nuclear energy) that was used to produce the new building materials ("cradle to gate").

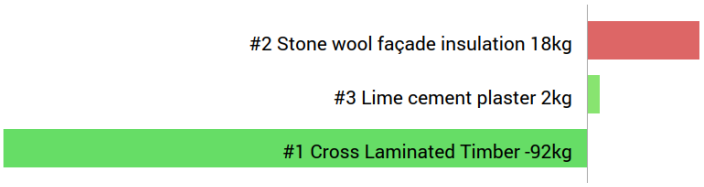
Green house gas potential: -72 kg CO2 Äqv./m²

For the production of the building materials used, more greenhouse gases were withdrawn from the atmosphere than emitted.

Composition of non-renewable primary energy of production:




Composition of the greenhouse potential of production:

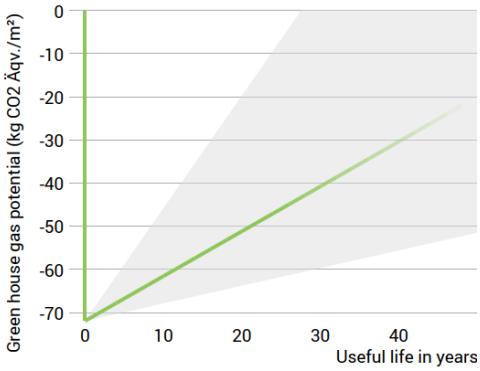


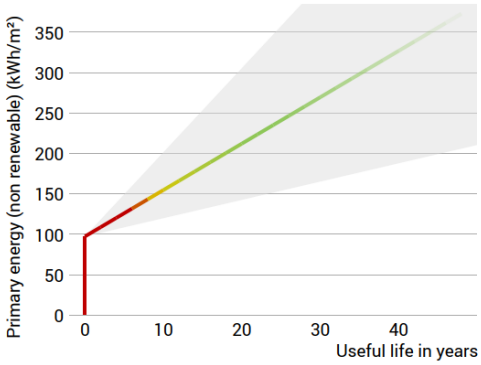



Click here to edit the construction on www.ubakus.de.

CLT Duvar Teslim 220724, U=0,15 W/(m²K)

## Global warming potential and primary energy for construction and use




The **left figure** shows the global warming potential of the production of the component in the vertical part of the curve. Greenhouse gas emissions (through heating) arising during use of the building are indicated by the upward curve.

The **figure at the bottom left** shows the non-renewable primary energy expenditure for the production of the component in the vertical part of the curve. The primary energy required during use of the building (through heating) is represented by the upward curve.

The longer the component is used unchanged, the more environmentally friendly it is, because the production costs contribute less to the total emissions (indicated by the color of the curve).

Due to unknown solar and internal gains, the heating demand can only be estimated. Accordingly, primary energy consumption and global warming potential during the use phase are only vaguely known. For the estimation it was assumed that solar and internal profits contribute with 4 kWh/a/m² component area. The light gray area indicates the area in which the curve is located with great certainty. For heat generation, a primary energy input of 1,2 kWh per kWh of heat and a global warming potential of 0,21 kg CO2 eqv/m² per kWh of heat was used. Heat source: Natural gas H.

### Hints

Calculated for the location İstanbul, heating period from Mid of October to End of April. The calculation is based on monthly average temperatures. Source: Ubakus

The climate and energy data on which this calculation is based can, in some cases, show considerable fluctuations and, in individual cases, deviate considerably from the actual value.

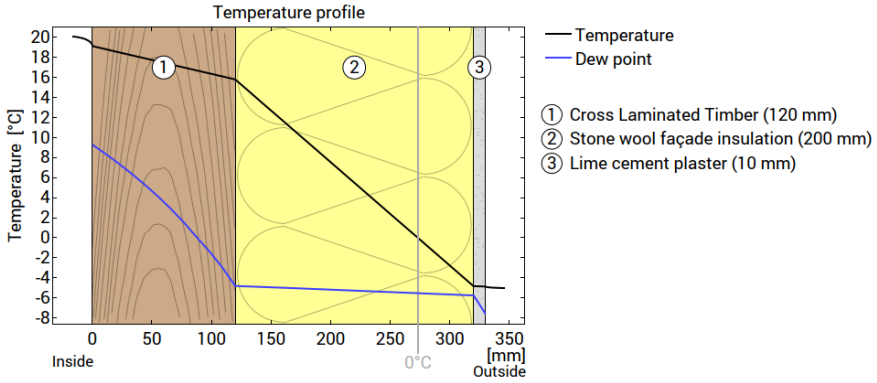


Click here to edit the construction on www.ubakus.de.

Die Nutzung dieses Dokuments ist ausschließlich für Bildungszwecke gestattet.
Created with the version for study and teaching. Licensed for Bü?ra AKYILDIZ.



## Temperature profile




Temperature and dew-point temperature in the component. The dew-point indicates the temperature, at which water vapour condensates. As long as the temperature of the component is everywhere above the dew-point temperature, no condensation occurs. If the curves have contact, condensation occurs at the corresponding position.

## Layers (from inside to outside)

| # | | Material | λ [W/mK] | R [m²K/W] | Temperatur [°C] min | max | Weight [kg/m²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Thermal contact resistance* | | 0,250 | 19,1 | 20,0 | |
| 1 | 12 cm | Cross Laminated Timber | 0,130 | 0,923 | 15,8 | 19,1 | 60,0 |
| 2 | 20 cm | Stone wool façade insulation | 0,035 | 5,714 | -4,8 | 15,8 | 20,0 |
| 3 | 1 cm | Lime cement plaster | 1,000 | 0,010 | -4,9 | -4,8 | 18,0 |
| | | Thermal contact resistance* | | 0,040 | -5,0 | -4,9 | |
| | 33 cm | Whole component | | 6,817 | | | 98,0 |

*Thermal contact resistances according to DIN 4108-3 for moisture protection and temperature profile. The values for the U-value calculation can be found on the page 'U-value calculation'.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Surface temperature inside (min / average / max): | 19,1°C | 19,1°C | 19,1°C |
| Surface temperature outside (min / average / max): | -4,9°C | -4,9°C | -4,9°C |



Click here to edit the construction on www.ubakus.de.

Die Nutzung dieses Dokuments ist ausschließlich für Bildungszwecke gestattet.
Created with the version for study and teaching. Licensed for Bü?ra AKYILDIZ.



## Moisture proofing

For the calculation of the amount of condensation water, the component was exposed to the following constant climate for 90 days: inside: 20°C und 50% Humidity; outside: -5°C und 80% Humidity. This climate complies with DIN 4108-3.

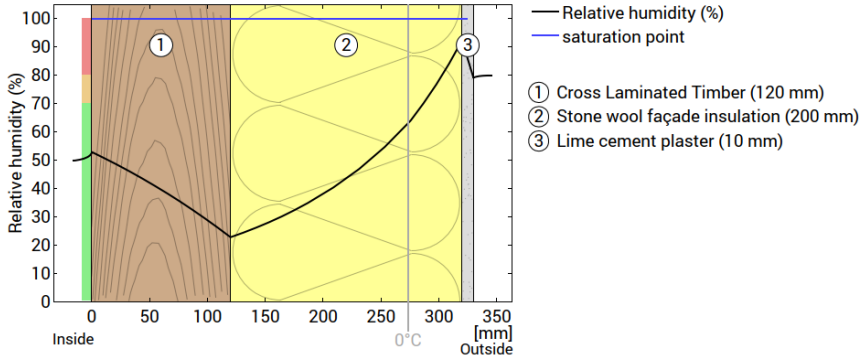
This component is free of condensate under the given climate conditions.

Drying reserve according to DIN 4108-3:2018: 2525 g/(m²a)
At least required by DIN 68800-2: 100 g/(m²a)

| # | | Material | sd-value [m] | Condensate [kg/m²] | [Gew.-%] | Weight [kg/m²] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 12 cm | Cross Laminated Timber | 4,80 | - | - | 60,0 |
| 2 | 20 cm | Stone wool façade insulation | 0,20 | - | | 20,0 |
| 3 | 1 cm | Lime cement plaster | 0,35 | - | | 18,0 |
| | 33 cm | Whole component | 5,35 | | | 98,0 |

### Humidity

The temperature of the inside surface is 19,1 °C leading to a relative humidity on the surface of 53%.Mould formation is not expected under these conditions.
The following figure shows the relative humidity inside the component.




Notes: Calculation using the Ubakus 2D-FE method. Convection and the capillarity of the building materials were not considered. The drying time may take longer under unfavorable conditions (shading, damp / cool summers) than calculated here.



Click here to edit the construction on www.ubakus.de.

CLT Duvar Teslim 220724, U=0,15 W/(m²K)

# Moisture protection in accordance with DIN 4108-3:2018 Appendix A

This moisture proofing is only valid for **non-air-conditioned** residential buildings.

Please note the hints at the end of these moisture proofing calculations.

| # | | Material | λ [W/mK] | R [m²K/W] | sd [m] | ρ [kg/m³] | T [°C] | ps [Pa] | ∑sd [m] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Thermal contact resistance | | 0,250 | | | 19,10 | 2210 | 0 |
| 1 | 12 cm | Cross Laminated Timber | 0,130 | 0,923 | 4,8 | 500 | 15,77 | 1791 | 4,8 |
| 2 | 20 cm | Stone wool façade insulation | 0,035 | 5,714 | 0,2 | 100 | -4,82 | 407 | 5 |
| 3 | 1 cm | Lime cement plaster | 1,000 | 0,010 | 0,35 | 1800 | -4,86 | 406 | 5,35 |
| | | Thermal contact resistance | | 0,040 | | | | | |

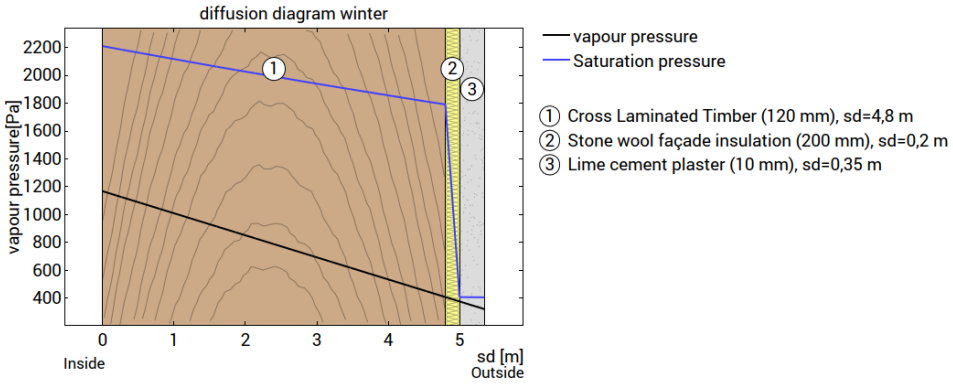
Temperature (T), vapor saturation pressure (ps), and the sum of the sd-values (Σsd) apply to the layer boundary.

## Relative air humidity on the surface

The relative humidity on the interior surface is 53%. Requirements for the prevention of building material corrosion depend on material and coating and have not been investigated. ✓

## Dew period (winter)

| Boundary conditions | |
|---|---|
| Vapor pressure inside at 20°C and 50% humidity | pi = 1168 Pa |
| Vapor pressure outside at -5°C and 80% humidity | pe = 321 Pa |
| Duration of condensation period (90 days) | tc = 7776000 s |
| Water vapor diffusion coefficient in static air | δ0 = 2.0E-10 kg/(m*s*Pa) |
| sd-value (Whole component.) | sde = 5,35 m |




The section under investigation is free of condensate under the given climate conditions. ✓

Calculate evaporation potential for the drying reserve in the dew period for the plane with the lowest evaporation potential:
sd=5,00 m; x=32 cm; ps=407 pa:
Layer boundary between Stone wool façade insulation and Lime cement plaster

Mev,Tauperiode = tc * δ0 * ((ps-pi)/$sd_{ev}$ + (ps-pe)/($sd_e$-$sd_{ev}$)) = **0,148 kg/m²**

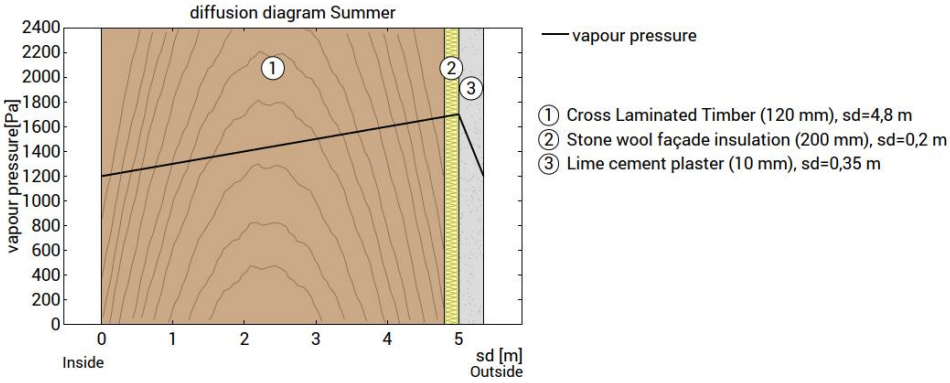


Click here to edit the construction on www.ubakus.de.

CLT Duvar Teslim 220724, U=0,15 W/(m²K)

## Evaporation period (summer)

| Boundary conditions | |
|---|---|
| Interior vapor pressure | pi = 1200 Pa |
| Exterior vapor pressure | pe = 1200 Pa |
| Saturation vapour pressure in the condensation area | ps = 1700 Pa |
| Length of drying season (90 days) | tev = 7776000 s |
| sd-values remain unchanged. | |




Condensate-free component: The maximum possible evaporation mass for the drying reserve is calculated. Consider the level that has the lowest evaporation potential in the dew period, at sd=5,00 m; x=32 cm:
Layer boundary between Stone wool façade insulation and Lime cement plaster
Evaporation mass: Mev = δ0 * tev * [(ps-pi)/sd + (ps-pe)/(sde-sd)] = **2,38 kg/m²**

## Drying reserve (DIN 68800-2)

Dew-water-free component: The evaporation potential of the dew period is also taken into account.
Drying reserve: Mr = (Mev + Mev,Tauperiode) * 1000 = **2525 g/m²/a**
Minimum requested for walls and ceilings: 100 g/m²/a

## Evaluation according to DIN 4108-3

The component is permissible regarding the moisture protection.

## Hints

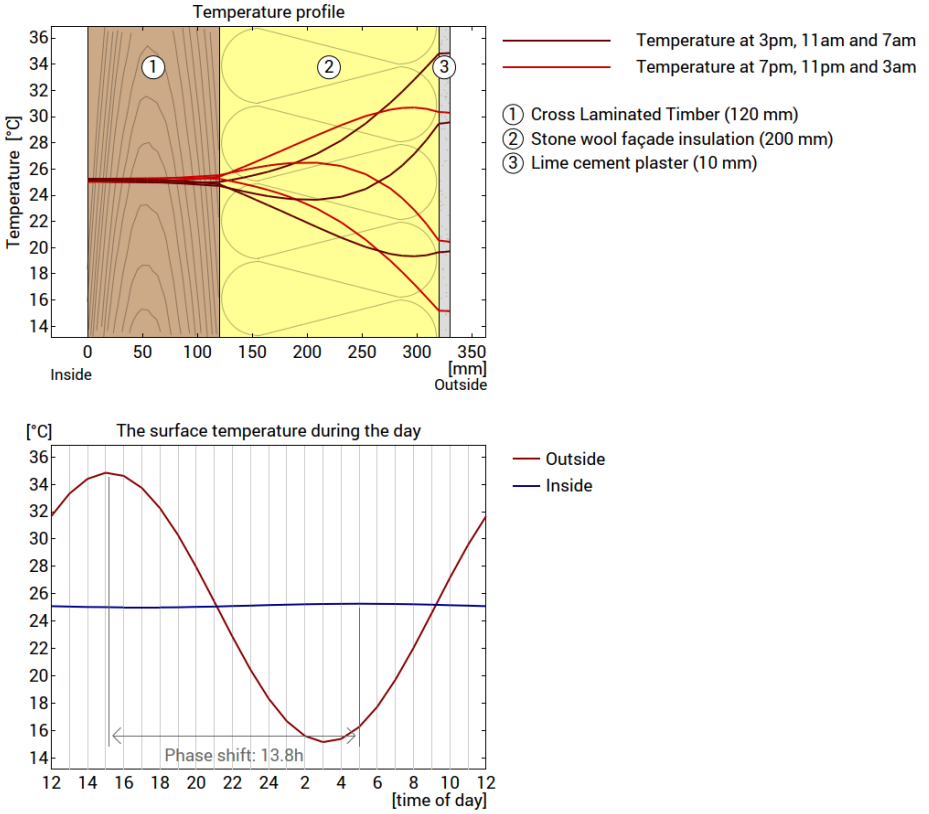
DIN 4108-3 describes in Section 5.3 components for which no moisture proofing is required as there is no risk of condensation water or the method is not suitable for the assessment. It is not possible to assess whether the component under test is underneath.



Click here to edit the construction on www.ubakus.de.

## Heat protection

The following results are properties of the tested component alone and do not make any statement about the heat protection of the entire room:




**Top:**Temperature profile within the component at different times. From top to bottom, brown lines: at 3 pm, 11 am and 7 am and red lines at 7 pm , 11 pm and 3 am.
**Bottom:**Temperature on the outer ( red ) and inner ( blue ) surface in the course of a day. The arrows indicate the location of the temperature maximum values . The maximum of the inner surface temperature should preferably occur during the second half of the night.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Phase shift* | 13,8 h | Heat storage capacity (whole component): | 131 kJ/m²K |
| Amplitude attenuation ** | 72,5 | Thermal capacity of inner layers: | 94 kJ/m²K |
| TAV *** | 0,014 | | |

* The phase shift is the time in hours after which the temperature peak of the afternoon reaches the component interior.
** The amplitude attenuation describes the attenuation of the temperature wave when passing through the component. A value of 10 means that the temperature on the outside varies 10x stronger than on the inside, e.g. outside 15-35 °C, inside 24-26 °C.
*** The temperature amplitude ratio TAV is the reciprocal of the attenuation: TAV = 1 / amplitude attenuation

Note: The heat protection of a room is influenced by several factors, but essentially by the direct solar radiation through windows and the total amount of heat storage capacity (including floor, interior walls and furniture). A single component usually has only a very small influence on the heat protection of the room.



Click here to edit the construction on www.ubakus.de.

# TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

## Konferans Bildirileri

1. Akyıldız, B. ve Tuna Taygun, G. (2022). Çağdaş Ahşap Hibrit Yapım Sistemlerinin Yapı Biyolojisi Bağlamında İç Mekân İklimlendirmesine Etkilerinin İrdelenmesi. *7. Uluslararası Mimarlık ve Tasarım Kongresi* (238-246), İstanbul: Güven Plus Grup Danışmanlık A.Ş. Yayınları.