

**AVRASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MİMARLIK ANABİLİM DALI

**ÇAPRAZ LAMİNE AHŞAP (CLT) MALZEMENİN BİNA ENERJİ
PERFORMANSINA ETKİSİ: TRABZON İLİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hazal ARTUN

OCAK 2021

TRABZON

AVRASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİMARLIK VE YAPILI ÇEVRE
ANABİLİM DALI

ÇAPRAZ LAMİNE AHŞAP (CLT) MALZEMENİN BİNA ENERJİ
PERFORMANSINA ETKİSİ: TRABZON İLİ ÖRNEĞİ

Mimar Hazal ARTUN

Avrasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

"Yüksek Mimar"

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29.12.2020

Tezin Savunma Tarihi : 12.01.2021

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Esra LAKOT ALEMDAĞ

Trabzon 2021

Avrasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık ve Yapılı Çevre Anabilim Dalında
Hazal ARTUN tarafından hazırlanan

ÇAPRAZ LAMİNE AHŞAP (CLT) MALZEMENİN BİNA ENERJİ
PERFORMANSINA ETKİSİ: TRABZON İLİ ÖRNEĞİ

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 05 / 01/ 2021 gün ve 01 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan	: Prof. Dr. Ali ÖZBİLEN	
Üye	: Doç Dr. Cenk DEMİRKİR	
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Esra LAKOT ALEMDAĞ	

Doc. Dr. Aytap SEZER
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Çapraz Lamine Ahşap (CLT) Malzemenin Bina Enerji Performansına Etkisi: Trabzon İli Örneği” adlı bu çalışma, Avrasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı’nda hazırlanmıştır.

Tez Çalışmam boyunca desteğini, sabrını ve yardımlarını esirgemeyen değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Esra LAKOT ALEMDAĞ’a, tez konumun şekillenmesinde ve gelişim sürecinde desteklerini esirgemeyen Doç. Dr. Cenk DEMİRKİR’a,

Deney aşamasında yardımlarını esirgemeyen Öğr. Gör. Hasan ÖZTÜRK’e, Arş. Gör. Abdullah Uğur BİRİNCİ’ e, Arş. Gör. Aydın DEMİR’e ve tez süreci boyunca sağladığı bütün imkanlardan dolayı Karadeniz Teknik Üniversitesi’ne,

Bu süreçte beni yalnız bırakmayan ve motivasyonumu kaybettiğim zamanlarda bana güç veren arkadaşlarım Melike ÇAKAN UZUNKAVAK’ a, Gülşah Gamze TAŞKIN’ a, Gülten TANDOĞAN’ a, Merve OKUR’ a, Elif IŞIK’ a, Özge PALANCI AY’a ve Şeyda DOĞAN’ a,

Hayatımın her alanında yanımda olan ve inancını hissettiğim yol arkadaşım Emre SARAÇ’ a,

Varlığıma değer katan, çıktığım tüm yollarda yanımda olan ve verdiğim kararların arkasında duran, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, bugünlerimin mimarları, sevgili annem Melahat ARTUN’ a, babam Özkan ARTUN’ a, kardeşim Halit Mert ARTUN’ a ve tez sürecinde kaybettiğim anneannem Saadet AYDIN’ a,

Son olarak bu süreçte yanımda olan, sabrını, anlayışını ve desteğini hissettiğim tüm çevreme,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım...

Hazal ARTUN

Trabzon 2021

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Çapraz Lamine Ahşap (CLT) Malzemenin Bina Enerji Performansına Etkisi: Trabzon İli Örneği” adlı çalışmamın, Akademik Etik İlkelerine bağlı kalarak yazıldığını ve yararlandığım kaynakların "Kaynakça" bölümünde gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

Hazal ARTUN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	IV
TEZ BEYANNAMESİ.....	V
İÇİNDEKİLER.....	VI
ÖZET	X
SUMMARY.	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XII
TABLolar DİZİNİ.....	XVI
KISALTMALAR DİZİNİ	XVIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
1.3. Ahşabın Tarihsel Gelişimi.....	3
1.3.1. Ahşap Yapılar	5
1.3.2. Ahşap ve Sürdürülebilirlik	6
1.4. Geleneksel Ahşap Yapılar	8
1.4.1. Doğu Karadeniz Bölgesi Geleneksel Ahşap Yapıları.....	9
1.5. Ahşap Yapım Sistemleri.....	10
1.5.1. Ahşap Yığma sistemler.....	11
1.5.2. Ahşap Karkas Sistem.....	13
1.5.3. Karma Sistem	16
1.5.4. Ahşap Panel Sistem	17
1.6. Yapısal Ahşap Malzemeler.....	18
1.6.1. LVL (Lamine Ahşap Kaplama)	18
1.6.2. PSL (Paralel Şerit Ahşap Kaplama)	20
1.6.3. LSL (Lamine Şerit Ahşap).....	21
1.6.4. Ahşap I-Kirişler	22
1.6.5. GLULAM (Yapıştırılmış Ahşap Yapı Elemanı)	22
1.6.6. CLT (Çapraz Lamine Ahşap)	25
1.6.6.1. Üretim Teknolojileri.....	26

1.6.6.2.	Avantajlar	34
1.6.6.3.	CLT Uygulama Alanları	39
1.6.6.4.	CLT Kullanılarak Yapılan Yüksek Katlı Ahşap Binalar	45
1.6.6.5.	CLT Üretiminde Kullanılan Ağaç Türleri	53
1.7.	Ahşap Malzemenin Özellikleri	56
1.7.1.	Ahşap Malzemenin Mekanik Özellikleri	57
1.7.1.1.	Direnç Özellikleri	57
1.7.1.2.	Elastikiyet Özellikleri	58
1.7.2.3.	Sertlik	58
1.7.2.	Ahşap Malzemenin Fiziksel Özellikleri	59
1.7.2.1.	Isıl Özellikler	59
1.7.2.2.	Odun-Su İlişkisi	60
1.7.2.3.	Ağırlık-Hacim İlişkisi	61
1.7.2.4.	Akustik Özellikler	61
1.7.2.5.	Elektriksel Özellikler	62
1.8.	Ahşap Yapılarda Yalıtım	62
1.8.1.	Çapraz Lamine Ahşap Isı İletimi	66
1.8.2.	Isı Yalıtım Malzemeleri	70
1.8.2.1.	Geleneksel Yalıtım Malzemeleri	73
1.8.2.1.1.	Taş Yünü	73
1.8.2.1.2.	Cam yünü	74
1.8.2.1.3.	PUR (Poliüretan Köpük)	75
1.8.2.1.4.	XPS (Ekstrüde Polistiren)	76
1.8.2.1.5.	EPS (Genleştirilmiş Polisteren)	76
1.8.2.1.6.	Fenolik Köpüğü	77
1.8.2.1.7.	Mineral yün	78
1.8.2.2.	Alternatif Yalıtım Malzemeleri	79
1.8.2.2.1.	Ahşap Elyaf	79
1.8.2.2.2.	Hindistan Cevizi Lifi	80
1.8.2.2.3.	Selüloz	81
1.8.2.2.4.	Karton Esaslı Paneller	82
1.8.2.2.5.	Kenevir	83
1.8.2.2.6.	Mantar	84

1.8.2.2.7.	Koyun Yünü	84
1.8.2.3.	Gelişmiş Yalıtım Malzemeleri.....	85
1.8.2.3.1.	Aerogeller	86
1.8.2.3.2.	Vakum Yalıtım Paneli (VIP)	86
1.8.2.3.3.	Gaz Dolgulu Paneller (GFP)	88
1.8.3.	Bina Enerji Performansı ve Yalıtım Uygulamaları	88
1.8.4.	Bina Enerji Simülasyonu	90
1.9.	Ahşap malzeme ve Yalıtım Uygulamaları ile İlgili Yapılan Çalışmalar.....	92
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	98
2.1.	Çalışma Alanı	98
2.2.	Yöntem	99
2.2.1.	Isı iletkenlik Kat Sayısı Ölçümleri	99
2.2.2.	Enerji simülasyon programı ve Bina Modellemesi	100
2.2.2.1.	Model Bina Girdileri	101
2.2.2.2.	Model Bina Genel Özellikleri.....	103
2.2.2.3.	Model Bina Malzeme Özellikleri	104
2.2.2.4.	Alternatif Duvar Malzeme Senaryoları	106
2.2.3.	DeneySEL ölçüm ve Simülasyon Değerlerinin Karşılaştırılması	108
3.	BULGULAR	110
3.1.	DeneySEL Ölçümler	110
3.1.1.	Isı İletkenlik Kat Sayı Değeri Bulguları	110
3.1.2.	Simülasyon Sonuçları	111
3.1.2.1.	Referans Bina	111
3.1.2.2.	Senaryo 1	112
3.1.2.3.	Senaryo 2	114
3.1.2.4.	Senaryo 3	115
3.1.2.5.	Senaryo 4	116
3.1.2.6.	Senaryo 5	117
3.1.2.7.	Senaryo 6	119
3.1.2.8.	Senaryo 7	120
3.1.2.9.	Yıllık Isıtma Yükleri.....	122
3.1.2.10.	Yıllık Soğutma Yükleri	125
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	129

5.	KAYNAKÇA	133
ÖZGEÇMİŞ		



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

ÇAPRAZ LAMİNE AHŞAP (CLT) MALZEMENİN BİNA ENERJİ PERFORMANSINA ETKİSİ: TRABZON İLİ ÖRNEĞİ

Hazal ARTUN

Avrasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Mimarlık ve Yapılı Çevre Anabilim

Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Esra LAKOT ALEMDAĞ

Günümüzde çevresel kirlenme ve enerji kaynakları tüketiminin hızla arttığı görülmektedir. Büyük oranda binalardan kaynaklanan bu sorunların önüne geçebilmek için mimari sektörde ekolojik malzemelere ve düşük enerjili bina tasarımlarına yönelmeler görülmektedir. Bu nedenle yapısal ahşap malzemelerden olan CLT'nin (çapraz lamine kereste) sürdürülebilir yapı malzemesi olması ve sayısız avantajlardan dolayı Dünya'da olduğu gibi Türkiye'de de kullanım alanı gün geçtikçe artmaktadır. Bu bağlamda çalışmanın ilk bölümünde, tezin amacı ve kapsamı doğrultusunda literatür araştırmaları yapılmıştır. İkinci bölümde, çeşitli yalıtım ve dış cephe kaplama malzemeleri kullanılarak oluşturulan 26 farklı, CLT malzemeli duvar katmanının ısı iletkenlik kat sayılarını belirlemek için deneysel ölçümler yapılmıştır. Üçüncü bölümde, ölçüm sonucunda elde edilen veriler arasından seçimler yapılarak alternatif duvar katmanları oluşturulmuştur. Ardından bu alternatiflere farklı tipte ve kalınlıkta yalıtım malzemeleri uygulanarak CLT model bina oluşturulmuş ve bu binanın aylık-yıllık ısıtma ve soğutma yükleri Trabzon ili iklimi özelinde, DesingBuilder simülasyon programı ile incelenmiştir. Son bölümde ise; elde edilen verilere göre CLT duvar alternatiflerinin enerji performans analizleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak sürdürülebilir bina tasarımları kapsamında öneri olarak geliştirilen CLT model binasının, seçilen iklim bölgesi için geleneksel yapı malzemeleriyle inşaa edilen binalara göre enerji performansının daha iyi olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Çapraz Lamine Ahşap (CLT), Bina Enerji Performansı, Isıtma-Soğutma Yükleri, Yalıtım Malzemeleri

Mater Thesis

SUMMARY

THE EFFECT OF CROSS-LAMINATED TIMBER (CLT) MATERIAL ON BUILDING ENERGY PERFORMANCE: A CASE STUDY OF TRABZON CITY

Hazal ARTUN

Avrasya University

The Graduate School of Natural and Applied Sciences

Architecture and Built Environment

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Esra LAKOT ALEMDAĞ

Today it is seen that the environment is suffering from pollution, and the consumption of energy sources is increasing rapidly. In order to prevent these problems that have been mostly caused by buildings, low-energy building designs which benefit from ecological materials, seem to be preferential. Therefore, the utilization for CLT (cross laminated timber), a structural wood material, is increasing day by day in the world as well as in Türkiye due to being a sustainable building material and having numerous advantages. Within this context, first part of the study literature researches were made in line with the aim and scope of the thesis study. In the second part, experimental measurement was carried out to determine the heat conductivity coefficients of 26 different wall layers, with CLT materials, which were built by using various insulation and coating materials for exterior wall. In the third part, alternative wall layers were generated by making a choice in the data obtained from the measurement. Afterwards, CLT model building was constructed applying insulation materials with different types and thickness on these alternatives, and the monthly-annual heating and cooling load of the building were analyzed in specific to the climate of the city Trabzon through DesignBuilder simulation program. In the last part, the energy performance analysis of the CLT wall alternatives were comparatively evaluated. Consequently it is concluded that the CLT model building which was patterned within the context of sustainable building designs has a better energy performance when compared to those which were built with traditional materials for the selected climatic region.

Key Words: Cross-Laminated Timber (CLT), Building Energy Performance, Heating-Cooling Loads, Insulation Materials

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	“Karaboğaz” tekniği	11
Şekil 2.	Ahşap duvarlarda yapı sistemi, dolgu malzemesi, kaplama ve sıva şekline göre duvar tipleri	12
Şekil 3.	Duvar birleştirme ve kesişim örnekleri	12
Şekil 4.	Ahşap yığma sistemle inşa edilmiş bir yapı	13
Şekil 5.	Blok dolma tekniğiyle yapılan yapı örneği	14
Şekil 6.	Göz dolma tekniğiyle yapılan yapı örneği.....	15
Şekil 7.	Muskalı dolma tekniğiyle yapılan yapı örneği	15
Şekil 8.	Bağdadi ile yapılmış “çakatura” sistemler	16
Şekil 9.	Karma sistemle yapılmış yapı örneği	16
Şekil 10.	Ahşap Panel sistem yapı örneği.....	17
Şekil 11.	LVL (Lamine Ahşap Kaplama).....	19
Şekil 12.	PSL (Paralel Şerit Ahşap Kaplama).....	20
Şekil 13.	LSL (Lamine Şerit Ahşap).....	21
Şekil 14.	Ahşap I-Kiriş örnekleri	22
Şekil 15.	Glulam (Yapıştırılmış Ahşap Yapı Elemanı)	23
Şekil 16.	Glulam ile yapılmış köprü ve kavisli çatı	23
Şekil 17.	Glulam strüktür örnekleri	24
Şekil 18.	Çapraz Lamine Ahşap (CLT).....	25
Şekil 19.	Çapraz lamine kerestenin görseli.....	26
Şekil 20.	CLT paneli kesitleri ve liflerin yönü örneği.....	27
Şekil 21.	CLT üretim aşamalarının şematik gösterimi.....	28
Şekil 22.	Tek katmanlı panoda laminasyon ölçeğinde parmak birleştirme(a), Genel parmk birleştirme = panelin tüm kalınlığı boyunca parmak eklemi(b).....	29
Şekil 23.	Dikey ve yatay parmak birleştirme.....	30
Şekil 24.	Paralel, profilli veya konik kenarlı lameller	31
Şekil 25.	Kenarları yapıştırılmış tek kat CLT paneli	32
Şekil 26.	5 katmanlı CLT birleşimi	32

Şekil 27. CLT binasının yerinde uygulanması ve montaj işlemi	34
Şekil 28. Üretim sırasında çeşitli inşaat yöntemlerinde enerji tüketiminin (GJ / m ²) karşılaştırılması.....	35
Şekil 29. Çok katlı binalar için tipik bir uygulama.....	36
Şekil 30. CLT yangın anında üst yüzeyindeki kömürleşme.....	38
Şekil 31. Test tablası (a), x ve y yönlerinde uygulanan kuvvet (b).....	38
Şekil 32. CLT yapı elemanları çeşitleri.....	39
Şekil 33. Yeryüzü Bilimleri binası, Kanada.....	40
Şekil 34. Maggie's kanserle mücadele merkezi, İngiltere	40
Şekil 35. Mega Tüp, "Gülümseme", Londra	41
Şekil 36. Tarım merkezi Maishofen, Avusturya.....	41
Şekil 37. CLT'den üretilmiş merdiven "Sonsuz merdiveni"	42
Şekil 38. Ofis binası, Avustralya.....	42
Şekil 39. Toplum merkezi, Kopenhag	43
Şekil 40. Son 20 yılda CLT üretimi ve kullanımındaki artış	43
Şekil 41. Riva evi tek katlı konut, İstanbul.....	44
Şekil 42. Rixos Tekirova otel, Antalya	44
Şekil 43. Dağ evi, Bursa	45
Şekil 44. CLT ile yapılmış bazı binaların yüksekliklerine göre sıralanması	46
Şekil 45. CLT' li 6 katlı binanın inşaat aşamaları	47
Şekil 46. Ahşap İnovasyon ve tasarım merkezi.....	47
Şekil 47. Murray Grove binası, İngiltere	48
Şekil 48. Dalston Works binası, Londra	49
Şekil 49. Mjøsa kulesi, Norveç.....	49
Şekil 50. Forte binası, Avusturalya	50
Şekil 51. Treet binası, Norveç.....	50
Şekil 52. Kanada' da bulunan öğrenci yurdu	51
Şekil 53. Hoho kulesi, Viyana	51
Şekil 54. CLT malzemeli gökdelen, Tokyo.....	52
Şekil 55. Londra 'da yapılması planlanan gökdelen.....	52
Şekil 56. X-lam yapılarda dış duvar yalıtım katmanı örnekleri.....	64
Şekil 57. Ahşabın akustik amaçlı kullanım örnekleri	66
Şekil 58. 100 mm kalınlığında CLT panelin yalıtım kalınlıklarına göre U değeri	66

Şekil 59. CLT yalıtımlı dış duvar örneği.....	67
Şekil 60. Yalıtımlı hafif ahşap konstrüksiyon (a), Yalıtımlı masif ahşap konstrüksiyon (CLT)(b)	68
Şekil 61. Hazır CLT duvar paneli ve dış duvar yalıtım katmanı.....	69
Şekil 62. CLT dış duvar (a), ahşap çerçeveli duvar (b), CLT iç bölme duvar (c)	70
Şekil 63. Taş yünü.....	74
Şekil 64. Cam yünü.....	75
Şekil 65. Poliüretan Köpük uygulaması	75
Şekil 66. XPS (Ekstrüde Polistiren).....	76
Şekil 67. EPS (Genleştirilmiş Polisteren)	77
Şekil 68. Fenolik Köpüğü	78
Şekil 69. Mineral Yün.....	79
Şekil 70. Ahşap elyaf yalıtım malzemesi.....	80
Şekil 71. Hindistan cevizi Lifi	80
Şekil 72. Selüloz yalıtım örneği.....	82
Şekil 73. Karton esaslı panel örneği	83
Şekil 74. Kenevir Yalıtım Malzemesi	83
Şekil 75. Mantar yalıtım örnekleri	84
Şekil 76. Koyun yünü Yalıtım.....	85
Şekil 77. Bina uygulamaları için yüksek yoğunluklu arojel yalıtım.....	86
Şekil 78. Vakumlu Yalıtım Paneli (VIP)	87
Şekil 79. Gaz Dolgulu Panel (GFP) örnekleri	88
Şekil 80. Lasercomp Fox-314 ısı iletkenlik cihazı	100
Şekil 81. Isıl iletkenlik ölçümü yapılan alternatif yalıtım malzemeleri örneği	100
Şekil 82. DesingBuilder model bina akış şeması.....	101
Şekil 83. DesingBuilder model bina	102
Şekil 84. CLT tek katlı konut, plan şeması ve kesiti.....	104
Şekil 85. Cihazda ölçümü yapılan duvar katma ve değerleri	108
Şekil 86. Referans bina aylık ısıtma yükleri (kWh)	111
Şekil 87. Referans bina aylık soğutma yükleri (kWh).....	112
Şekil 88. Referans bina yıllık toplam ısıtma yükleri	122
Şekil 89. 4 cm yalıtım kalınlığı için yıllık toplam ısıtma yükleri	123
Şekil 90. 6 cm yalıtım kalınlığı için yıllık toplam ısıtma yükleri	124

Şekil 91. 8 cm yalıtım kalınlığı için yıllık toplam ısıtma yükleri	124
Şekil 92. Referans bina yıllık toplam soğutma yükleri.....	125
Şekil 93. 4 cm yalıtım kalınlığı için yıllık toplam soğutma yükleri	126
Şekil 94. 6 cm yalıtım kalınlığı için yıllık toplam soğutma yükleri	127
Şekil 95. 8 cm yalıtım kalınlığı için yıllık toplam soğutma yükleri	127



TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.	Bina enerji performansı parametreleri.....	90
Tablo 2.	Trabzon ili 1927 – 2019 yılları arası ölçüm periyoduna göre iklim verileri	98
Tablo 3.	Model binada başlıca kabuller ve girdiler	103
Tablo 4.	Model bina malzeme özellikleri	105
Tablo 5.	Referans bina duvarlarında kullanılan malzemelerin özellikleri.....	106
Tablo 6.	Simülasyonda kullanılan malzeme senaryoları	106
Tablo 7.	Senaryolarda kullanılan malzemelerin özellikleri	107
Tablo 8.	Bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri.....	107
Tablo 9.	Alternatif malzemelere göre ısı iletkenlik değeri bulguları.....	110
Tablo 10.	Referans bina için farklı yalıtım malzemelerine göre U değerleri	112
Tablo 11.	XPS yalıtım malzemesi kalınlıklara göre aylık ısıtma ve soğutma (kWh) yükleri.....	113
Tablo 12.	XPS yalıtım malzemesiyle oluşturulan alternatif duvar katmanı U değerleri.....	113
Tablo 13.	EPS yalıtım malzemesi kalınlıklara göre aylık ısıtma ve soğutma (kWh) yükleri.....	114
Tablo 14.	EPS yalıtım malzemesiyle oluşturulan alternatif duvar katmanı U değerleri ...	115
Tablo 15.	Koyun yünü yalıtım malzemesi kalınlıklara göre aylık ısıtma ve Soğutma (kWh) Yükleri.....	115
Tablo 16.	Koyun yünü yalıtım malzemesiyle oluşturulan alternatif duvar katmanı U değerleri.....	116
Tablo 17.	Selüloz yalıtım malzemesi kalınlıklara göre aylık ısıtma ve soğutma (kWh) yükleri	117
Tablo 18.	Selüloz yalıtım malzemesiyle oluşturulan alternatif duvar katmanı U değerleri.....	117
Tablo 19.	Keten yalıtım malzemesi kalınlıklara göre aylık ısıtma ve soğutma (kWh) yükleri.....	118

Tablo 20. Keten yalıtım malzemesiyle oluşturulan alternatif duvar katmanı U değerleri.....	118
Tablo 21. Taş yünü yalıtım malzemesi kalınlıklara göre aylık ısıtma ve soğutma (kWh) Yükleri	119
Tablo 22. Taş yünü yalıtım malzemesiyle oluşturulan alternatif duvar katmanı U değerleri	120
Tablo 23. Cam yünü yalıtım malzemesi kalınlıklara göre aylık ısıtma ve soğutma (kWh) yükleri	120
Tablo 24. Cam yünü yalıtım malzemesiyle oluşturulan alternatif duvar katmanı U değerleri.....	121
Tablo 25. Alternatif duvar katmanları U değerleri	121

KISALTMALAR LİSTESİ

APA	: Amerika Kontrplak Birliği
ASHRAE	: Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Birliği
ASTM	: Amerikan Standartları
AWC	: Amerikan Ahşap Konseyi
CO ₂	: Karbondioksit
CNC	: Bilgisayar Sayımlı Yönetim
d	: Yapı Bileşeninin Kalınlığı
EWP	: Ahşap Mühendislik Ürünleri
GWP	: Küresel ısınma Potansiyeli
HVAC	: Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme Sistemleri
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
LCA	: Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi
R	: Isı Geçirgenlik Direnci (m^2K/W)
TSE 825	: Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı
U	: Isı geçirgenlik katsayısı, (W/m^2K)
UD	: Dış duvarın ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m^2K)
UP	: Pencerenin ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m^2K)
UT	: Tavanın ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m^2K)
Ut	: Zemine oturan tabanın/döşemenin ısılgeçirgenlik katsayısı (W/m^2K)
λ	: Isı iletim katsayısı (W/mK)

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Hızla artan enerji ihtiyacına bağlı olarak artan fosil yakıt kullanımını azaltmak (petrol ürünleri, kömür vb.), doğal kaynakların tükenmesini engellemek ve enerji tüketimindeki israfı önlenmek için sürdürülebilir enerji kaynaklarının (güneş, rüzgâr, termal kaynaklar, hidrolik vb.) kullanımı zorunlu hale gelmiştir (Bayraktar, 2016).

Son yıllarda, binaların neden olduğu enerji tüketimi ve çevresel emisyonların artmasıyla, küresel olarak inşaat endüstrisinin ekonomik, sosyal ve çevresel sonuçlarını en aza indirmeye yönelik önemli çalışmalar yapılmaya başlanmıştır (Hossain ve Ng, 2020).

Uluslararası Enerji Ajansı (İEA) verilerine göre, binalar ve inşaat sektörleri, küresel enerji tüketiminin üçte birinden ve toplam CO₂ emisyonlarının yaklaşık %40'ından sorumludur. Gelişmekte olan ülkelerde enerjiye erişimin artması, enerji tüketen araçların daha fazla kullanımı ve küresel binaların taban alanındaki hızlı büyüme nedeniyle bina ve bina inşaatlarından gelen enerji talebi artmaya devam etmektedir. Binalardan enerji kaynaklı CO₂ emisyonları, 2013 ile 2016 arasındaki düzleşmenin ardından son yıllarda artmıştır. Binalarda kullanılan elektrik ve ticari ısı kaynaklı doğrudan ve dolaylı emisyonlar, 2019 yılında şimdiye kadar kaydedilen en yüksek seviye yükselmiştir. Isıtma ve soğutma için artan enerji talebi ve hava olayları da dahil olmak üzere çeşitli faktörler bu artışa neden olmuştur. Fosil yakıta dayalı varlıkların sürekli kullanımı, yapılar için etkin enerji verimliliği politikalarının uygulanmaması nedeniyle CO₂ emisyonlarında yeteri kadar düşüş sağlanamamaktadır (URL-1).

Günümüzde sanayi, ulaşım ve binalar üç büyük sosyal enerji tüketicileridir. Özellikle bina içi ısı konfor talebinin artmasıyla birlikte ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme hizmetlerini sağlayan enerji sistemleri yapı sektöründe giderek daha fazla enerji tüketmektedir. Binaların ısı yalıtımının iyileştirilmesi, ısıtma veya soğutmada kayıpların azaltılması enerji tasarrufu sağlamanın en etkili yollarından bazılarıdır (Liu vd., 2017).

Binaların enerji davranışını iyileştirme gerekliliği, başlangıçta ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme için tüketilen enerjinin azaltılması gerekliliğinden kaynaklanmaktadır. Enerji kullanımının en önemli kısmı ısıtma için tüketilirken, soğutma talepleri hala nispeten küçük olmasına rağmen hızla artan bir eğilim göstermektedir. Bu nedenle

uygulanacak en uygun ısı yalıtımları ile büyük enerji tasarrufu sağlanacağı görülmektedir. Yalıtım malzemelerinin binaların enerji tüketimi, fosil yakıt kullanımı, sera gazı emisyonu ve inşaat sektöründe birincil enerji kullanımını önemli oranda azalttığı görülmektedir. Uygulanan termal koruma ilkeleriyle son 30 yılda yalıtım sistemleri için büyük ilerlemeler kaydedilmiştir (Papadopoulos ve Giama, 2007).

Enerji tüketiminin hızla arttığı ülkemizde binalarda ısı yalıtımı TS 825 ile zorunlu hale getirilmiştir. Yalıtım malzemesi uygulamalarında çeşitli alternatifler ve teknikler kullanılmaktadır. Alternatif çözüm arayışları sürdürülebilir malzemelerin kullanımını gündeme getirmektedir.

İnsanlık tarihinden günümüze kadar toplumların barınma ihtiyacını karşıladıkları en önemli yapı malzemelerinden ahşap ve ahşap türevli malzemeler sayısız avantajlarının yanında, yenilenebilir, CO₂ depolayan ve biyolojik olarak parçalanabilir olduklarından doğal sistemin korunumunda etkin rol oynar. Ahşap ile üretilmiş evlerin sera gazı emisyonları ve enerji tüketimi baz alan çalışmalarda çelik ve betona göre daha düşük sonuçlar verdiği görülmüştür (Jiang vd., 2018; Falk, 2009).

Ahşap malzeme Dünya’da gelişen teknolojiyle birlikte geleneksel yapı malzemelerine alternatif olarak yeni sistemlerin gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır. Bu sistemler prefabrike elamanlar olarak nitelendirilebilecek yapısal ahşap malzemeler, yüksek performans, rijitlik, büyük boyutlarda üretim olanağı ve hızlı kurulum avantajları sağladığından yapı sektöründe büyük ilgi görmektedir. Yapısal ahşap malzemelerden olan Çapraz Lamine Ahşap (CLT), tek sayıdaki katmaların birbirine dik olarak tutkallanması ve belirli bir basınç altında preslenmesiyle üretilen bir malzemedir. Bu malzeme yüksek katlı yapılarda kullanım avantajı, uygulama kolaylığı, yüksek mukavemet, termal özelliği, sürdürülebilir kaynaklı ve esnek tasarım imkânı sunmasıyla, beton ve çelik gibi yapı malzemelerine karşı avantaj sağladığını birçok uygulamada kanıtlamıştır (Santi vd., 2016).

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Ülkemizde artan nüfus ve ihtiyaçlar doğrultusunda konut sektöründe önemli bir artış görülmektedir. Enerji tüketimi ve çevresel zararların en fazla görüldüğü konut sektöründe ekolojik dengenin korunması adına kullanılan malzemeler ve yalıtım uygulamalarının önemi artmaktadır. Binalarda enerji tüketiminin azaltılması, tasarım evresinde bina enerji performans parametreleri dahilinde alınacak kararların ve doğru malzeme seçiminin

uygulanması ile mümkündür. Kendini yenileyebilen ve sürdürülebilir olan ahşap malzemelerin gelişimi ve uygulama alanları bahsedilen bu ihtiyaçlar dahilinde artmıştır. Çalışmada, mühendislik ürünü yapısal ahşap malzeme ve alternatif yalıtım malzemeleri önerileriyle oluşturulan yapı kabuğu örneklerinin, bina enerji tüketimine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, Doğu Karadeniz Bölgesi, Trabzon ili için model bir bina oluşturulmuştur. Çapraz Lamine Ahşap (CLT) ile dış kabuk sistemi oluşturulan binada, geleneksel ve farklı kalınlıklardaki alternatif yalıtım malzemeleri kullanılarak enerji performans ölçümleri hesaplanmıştır. Simülasyonda analizleri yapılan malzemeler, deneysel ölçümlerden elde edilen sonuçlara göre oluşturulmuştur. Yapılan literatür araştırmalarında, ülkemizde son yıllarda uygulanmaya başlayan CLT malzemesinin yalıtım malzemeleriyle birlikte kullanılmasının bina ısıtma-soğutma yüklerini azalttığı görülmektedir. Bu bağlamda Doğu Karadeniz kırsal mimarisinde yapılacak olan tek katlı konut binaları için ekolojik malzemelere alternatif olarak CLT malzeme kullanımının önerilmesi ve bu malzemenin bina enerji performansına etkisinin değerlendirilmesi çalışmanın ana amacıdır.

1.3. Ahşabın Tarihsel Gelişimi

Ahşap, Arapça’ da “haşep olarak tanımlanan yani odundan mal olunan eşya” anlamına gelmektedir. Sürdürülebilir yapı ürünü olan ahşap lifli, homojen, anizotrop ve yapısal özellikleri çeşitlilik gösteren doğal bir üründür (Eriç, 2010; K.A.E.A.G, 2009).

Geçmişten günümüze hızlı gelişimiyle beraber ahşap farklı türlerde, kullanım yeri, yapım sistemleri, bölgesel çeşitlilik gibi özellikleri karşılayan, yenilenebilir ve çevre dostu yapı malzemesi olarak bilinmektedir (Bilgin, 2009; Bal, 2007).

Ahşap, insanlık tarihi boyunca önemli bir rol oynamıştır. İlk insanlar ahşabı barınak, yemek pişirmek, alet, tekne ve silah yapımında kullanmıştır. Mısır piramitlerinde ahşap bulunması, Çin tapınakları ve mezarlarında ahşap kullanımı, eski toplumlar tarafından antik çağlardan beri odun kullanımını kanıtlamaktadır. Yüzyıllardır yapı malzemesi olarak kullanılan ahşap, güçlü, kullanım kolaylığı sağlayan, çok yönlü, ekolojik ve sürdürülebilir yapı ürünüdür (Rowell, 2012; Youngs, 2009).

16.-18. yy. arası yapılan ahşap yapıların aynı çağın Avrupa’sındaki örneklerinden daha ileri teknik ve anlayışta olduğu bilinmektedir. Cumhuriyet döneminde ise, ekonomik

nedenler, yasal zorluklar, nüfus artışı gibi etkenlerden dolayı ahşap yapılar yerini diğer yapım sistemlerine bırakmıştır (Erkoç, 2004).

Ahşap yapım yönteminin taşa işlenmesiyle elde edilen Dor düzenindeki ilk Yunan tapınaklarında ahşap geleneği taş ile devam ettirilmiştir. Orta çağ Avrupa'sında kagir dolgulu ve ahşap iskeletli yapılar fazlaca tercih edilmiştir. 19.yy'da demir iskeletli öğelerin ahşabın yerine kullanılmaya başlaması yeni sistemlerin alanını genişletmiştir. Yeni malzemelerden betonarme ve çeliğin tercih edilmesiyle ahşap, kullanım alanını büyük oranda kaybetmiştir (Hason, 2010).

19. yy. Kuzey Amerika'da konut ihtiyacının artması, yapı sektöründe değişikliklere neden olmuştur. Duvar, çatı, kiriş ve dikme gibi yapı elemanları standartlaştırılmıştır. Artan gerekliliklerde yenilikçi gelişmeler meydana gelmiş, belirli ölçüler dahilinde ahşap kullanan ülkelerde sistemleşmiştir. Ahşap iskelet yapım sistemi dünya genelinde artan talep doğrultusunda inşa edilmeye devam etmektedir (Özkan, 2004).

Ahşabın yapılarda strüktür olarak kullanılması 1914-1925 yıllarına dayanır. Savaş yıllarında demir ve çeliğin büyük oranda inşaat sektöründen çekilip, savaş araçlarında kullanılmasıyla ahşap malzemeye mecburi dönüş yaşanmıştır. Savaş yıllarından sonra da çelik malzemedeki yetersizlik nedeniyle ahşap yapılarda gelişim, dayanımı ve yapım sistemleri gibi çalışmalar ahşap yapı malzemesi için gelişim sürecini hızlandırmıştır. İkinci Dünya Savaşı zamanlarında hava ve iklimsel koşullara dayanımlı yapay reçine tutkalının bulunması, ahşap yapı ürünlerinin bugün ki seviyesine gelmesini sağlamıştır. Tutkal tabakalı yapı ürünleri devrim sayılmakta ve istenilen boyutlarda ahşap yapı yapılmasını sağlamaktadır (Erşen, 2000).

Birinci Dünya Savaşı öncesi ve savaş yıllarında önemli bir hammadde olan çeliğin yapı alanından ayrılması ahşabın, yapı sektöründe kullanımının önünü açıp, dikkat çekmeye başlamıştır. Bu süreç ahşap malzemenin farklı fonksiyonlarda kullanımını ve özelliklerin gelişmesine zemin oluşturmuştur. İkinci Dünya savaşından sonra ise ahşabın yapılarda asıl ilerlemesi başlamıştır (Erkoç, 2004).

Dünya'da ve Türkiye' de önemli teknolojik ilerlemeler gösteren ağaç endüstrisi yapı elemanı olarak artan bir ilgi görmektedir (Can ve Tozgöz, 2008). Sektörde yaşanan önemli gelişme ve ilerlemeler doğrultusunda fabrika ortamında seri üretim sağlanmıştır. Makineleşme ve sanayinin gelişimi, beraberinde mühendislik hesabı yapılmış detaylar ile çok yönlü gelişmeler elde edilmiştir (Batur, 2004). Romalılar tarafından ilk olarak kullanılmaya başlayan makineleşme, 20.yy'da üst noktaya gelmiştir (Çakır, 2000).

Ahşap malzemenin dikkat çeken özellikleri, yeni üretim alanları, prefabrikasyon olanakları ve kullanımının önem kazanması, İngiltere, Finlandiya, Norveç, Almanya, Fransa ve Amerika’da ahşap araştırma merkezlerinin kurulmasını sağlamıştır (Çakır, 2000).

Gelişen teknolojiyle beraber son yıllarda tutkalın ahşap yapılarda kullanılmaya başlamasıyla, farklı çeşitlerde yapı (köprü, spor salonu vb.) biçimleri oluşturulmaya başlanmıştır. Elde edilen ahşap malzemenin gösterdiği avantajlar, tasarımda özgürleşme ve çevresel etkilerdeki iyileşme gibi olumlu sonuçlar kullanım alanında yaygınlaşmaya gidileceğini göstermektedir (Odabaşı, 2000; Bilgin, 2009).

1.3.1. Ahşap Yapılar

İnşaat sektöründe ahşap en önemli yapı malzemelerinden biridir. Çevre dostu ve doğal malzeme oluşu, fiziksel ve mekanik özellikleri, ısı ve akustik yalıtım özelliği, yük taşıyıcı özelliği ve görsel özellikleri ahşabın günümüzde yapı malzemesi olarak sıklıkla tercih edilmesinin belirleyici etkenlerindendir. Küresel bağlamda, iklim değişikliği riskine karşı koymak için bina yönetimine bağlı enerji tüketimi, çevresel etkiler ve gaz emisyonlarının azaltılmasına giderek daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır. Çevre sorunları ve bunun sonucunda ortaya çıkan düzenlemeler bina yapımında sürdürülebilir ve çevre dostu malzemelerin kullanımına yönelik uygulamaları ön plana çıkarmaktadır (Breyer, 2006; Asdrubali, 2017). Ahşap tek başına kullanılmasının yanında taş ve kerpiç malzemeyle de çok uyumludur. Birçok yörede ahşap-taş, ahşap-kerpiç kullanımı yöreye özgü mimari kültürün oluşmasını sağlamıştır. Ahşap malzeme temin edilmesi kolay olan her bölgede kullanılmış, temini zor ya da az olan yerlerde ise bina cephelerinde ana yapı malzemesi olarak kullanılmıştır (Çakır, 2000).

Ahşap uygulama yöntemleri ve ahşap esaslı malzeme üretimi teknolojilerinin gelişmesi, keresteyi yüksek teknoloji bir malzemeye dönüştürmüş ve kullanım alanlarında kolaylık sağlamıştır. Hatta ahşap teknolojilerinin gelişimi, çelik ve betonla rekabet etmeye başlamıştır. Ahşap bazlı yeni ürünlerin tasarım özellikleri, ahşap yapıların daha yüksek yapılabilmesini, daha geniş açıklıklar geçebilmeyi ve her zamankinden daha çeşitli formlar oluşturabilmeyi sağlamaktadır. Tüm bu özellikler, ahşabın 21.yüzyılın inşaat malzemesi olduğunu belirtmek için yeterli zemini oluşturmaktadır (Żmijewski ve Wojtowicz-Jankowska, 2017).

Ahşap, birçok tarihi yapının inşaatında çağlar boyunca önemli bir rol oynamıştır. Coğrafi, iklimsel, ekonomik ve kültürel bağlama göre kullanımı her zaman farklı şekillerde yorumlanmaktadır. Şu anda dünya genelinde en yaygın olarak tercih edilen Çapraz Lamine Ahşap veya Platform Çerçevesi gibi paneller hızlı monte edilebilen yüksek derecede fabrika prefabrikasyonuna dayanmaktadır (Cascone vd., 2018).

1.3.2. Ahşap ve Sürdürülebilirlik

Binalar hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde en büyük enerji tüketicileri ve sera gazı yayıcılarıdır. Avrupa kıtasında, tek başına binalarda kullanılan enerji, %50'ye varan karbondioksit emisyonundan sorumludur. Bu nedenle, enerji tasarrufu, emisyon kontrolü, malzemelerin üretimi ve uygulanması, yenilenebilir kaynakların kullanımı ve inşaat malzemelerinin geri dönüşümü ve yeniden kullanımı ile ilgili acil değişiklikler yapılması gerekmektedir. Ayrıca, çevre dostu yeni yapı malzemelerinin ve uygulamalarının geliştirilmesi, artan çevresel kaygılar nedeniyle büyük önem taşımaktadır (Joseph ve Tretsiakova, 2010). Sürdürülebilirlik kavramı, yapıların ekolojik döngüsünün bir parçası olarak algılanmaktadır. Yapılar planlama, üretim, kullanım, kullanım sonrası ve yeniden kullanım evrelerini içeren bir döngünün içinde yer almaktadır. Yapıyı oluşturan malzeme bu döngünün temel elemanı olmaktadır (Seçkin, 2006).

Günümüzde, küresel ısınmanın ve buna bağlı iklim değişikliğinin üstesinden gelmek için sürdürülebilirlik ilkeleri zorunlu hale gelmiştir. Başlıca eylemler, binalardaki enerji tüketiminin en aza indirilmesi, doğal kaynakların rasyonel kullanımı ve emisyonların daha sıkı kontrol edilmesidir. Tüm bu önlemler, sürdürülebilir binalara ve inşaat faaliyetlerine uygun malzemelerin seçiminde sistematik olarak uygulanmalıdır (Joseph ve Tretsiakova, 2010).

Ahşabın en büyük özelliklerinden biri kaynağı yenilenebilir yapı malzemesi oluşudur. Ahşap sürdürülebilir ve çevresel olarak tercih edilen bir malzemedir. Çok az inşaat malzemesi ahşabın çevresel faydalarına sahiptir (Falk, 2010; Seçkin, 2006). Sürdürülebilir yapı malzemesi olan ahşap anatomik özellikleri, heterojen, dokulu, lifli ve özgün yapısıyla kendine has, işlevsel ve yenilenebilir kaynaklı doğal bir üründür. İnsanın hislerini, fikir ve davranışlarını pozitif yönde etkileyen eşsiz bir malzemedir (Usta, 2019).

CO₂ salınımı küresel ısınmanın ana nedenlerindendir. Malzemenin hangi ölçüde çevresel olduğunu belirlemek için ürünün ömrü boyunca gösterdiği etkiler, üretim,

kullanım ve geri dönüşüm gibi aşamaları bilinmelidir. Tüm bu aşamalarda ağaç gelişim sürecinden odun olarak kullanım haline getirildiğinde bile sera gazlarını çevreye bırakmaz ve karbonu depo etmektedir. Ahşap yapıların yaşam döngüleri boyunca beton, çelik veya tuğla esaslı sistemlere göre düşük CO₂ emisyonlarına neden olduğu bilinmektedir. Beton gibi enerji ve CO₂ yoğun malzemeler ahşap ile alternatif olarak kullanıldığında bile avantajlı çözümler oluşturur ve sera gazı salınımını da dengelemektedir (Güzel ve Karaman, 2015; Upton vd., 2008; Bal, 2007; Kartal, 2005).

Ahşabın doğal, sağlıklı bir ekosistemdeki faydalı rolü göz ardı edilemez. Yaşayan bir malzeme olan ahşap, atmosfere salınan atık gazların temizlenmesinde görev almaktadır. Diğer insan yapımı inşaat ürünleri sadece zararlı kirleticiler ekler. Genç bir orman büyüdüğünde tonlarca odun, 1 ton oksijen üretir ve her biri için 1.4 ton karbondioksit emer. Bir ahşap çerçeve ev, ahşaptaki 28.5 ton karbondioksitten karbonu kilitler, bu değerler bir arabanın kabaca yedi yıllık CO₂ emisyon değerine eşittir. Ayrıca olgun ormanların hasadı doğal gençliği sürdüren yeni, genç ormanların hızlı bir şekilde karbon absorbe etmesine neden olur (APA, 2005)

Ahşap, fazla işlem uygulanmadan kullanılması mümkün olan, üretim ve kullanım aşamalarında daha az enerji gerektiren, atık madde oluşturmayan, fosil yakıt kullanımı engelleyerek, çevresel kirliliğin önüne geçen bir malzemedir. Odun ürünlerinin üretimi, beton, metal, tuğla ve plastik gibi odun dışı alternatif inşaat malzemelerinden daha az fosil yakıt gerektirir. Geri dönüştürülebilir, doğaya zarar vermeden biyolojik olarak yok olma, hammadde olarak değerlendirilebilme gibi özellikleri, nefes alan, yenilenebilir, yaşayan bir malzeme olduğunu göstermektedir (Bilici, 2006; Kartal, 2005; Bergman vd., 2014; Green ve Eric Karsh, 2012; Asdrubali vd., 2017).

Odun ürünlerinin ahşap olmayan alternatiflere göre birçok çevresel avantajı, bu değerlerin belgelenmesi ve duyurulması, iklim değişikliği etkileri göz önüne alındığında ahşabın gelecekteki rekabet edebilirliğine yardımcı olacaktır (Ritter vd., 2011). Dünyadaki çalışmalar, çevre dostu ve güvenilir malzeme olan ahşabı uygulayan sistemler ve teknolojiler geliştirmek için çalışıldığını göstermektedir. Ahşap evler inşa etmek, çevrenin ekolojik durumunu bir bütün olarak iyileştirmeye ve nüfus için rahat yaşam koşulları sağlamaya destek olacaktır (Slavin, 2019).

1.4. Geleneksel Ahşap Yapılar

Geleneksel ahşap yapılar bulunduğu bölgenin iklimsel, topoğrafik, malzemeye erişilebilirlik ve kültürel koşullara bağlı olarak şekillenmektedir. Usta çırak ilişkisine dayanan, geleneksel yapım yöntemleri kullanılarak üretilen ahşap yapılar zaman içinde gelişmiş ve özgün eserler ortaya çıkarmıştır. Geleneksel yapım sistemi olarak ahşap yığma ve iskelet sistemi benzer özellikler göstererek bölgenin imkanları dahilinde kullanılmıştır (Karaman, 2014).

Kuban'a göre; Türkiye'de yaygın bir yere sahip ahşap yapı malzemesi, genel olarak Kuzey Anadolu'nun en doğu ucundan, Marmara bölgesine, Batı Anadolu'da Bursa ve Kütahya illerinden büyük çevre şeridi sınır olan bölgelerde kullanılmıştır. İstanbul'un ahşap sivil mimari geleneğini de kökleri Kocaeli, Kastamonu yöresi gibi kuzey batının yapı geleneğine bağlamak mümkündür (Kuban, 1966).

Anadolu'da önemli bir yer edinen ahşap yapı, geleneksel türk mimarisinde kullanılan değerli bir yapı ürünüdür. Osmanlılar döneminde Anadolu'da yapılan evlerin çoğunluğu ahşaptır. Anadolu'da bir yüzyıl öncesine kadar yaygın olarak kullanılan ahşap yapılar, bugün uzanan süreç içinde yaygın kullanımı kaybetmiştir. Türkiye'de son dönemlerde çok az sayıda ahşap yapı üretimi yapılmış ve ahşap yapılar yerini betonarme karkas yapılara bırakmıştır. Buna karşın Amerika, Kanada, İngiltere, Japonya ve Finlandiya gibi birçok gelişmiş ülkede ahşap yapı teknolojisi benimsenmiş ve halen kullanılmaktadır (Erkoç, 2004).

Yapısal, fonksiyonel ve görsel olarak çeşitli yapım olanakları bulunan ahşap, ustaların elinde farklı yorumlar kazanmıştır. Geleneksel sivil mimarimizde önemli bir yere sahip ahşap yapıların bir kısmı günümüze kalmıştır. Özenli korumalar sonucunda günümüze kalan bu yapıların önemli çoğunluğu Osmanlı dönemine aittir (Perker ve Akıncıtürk, 2011).

Uygur dönemindeki evlerden, Karahanlı, Gazneli, Selçuklu dönemine ait dini ve sivil mimari yapılarında da ahşap yoğun olarak kullanılmıştır. Orta Asya'da yoğun ilgi gören ahşap, Anadolu'ya da gelmiş ve cami yapılarında kullanılmıştır. Ahşabın üretim, ulaşım ve uygulama kolaylığı tercih edilmesi, yapılarda taşıyıcı, döşeme, çatı ve tasarımda yoğun olarak inşa edilmesini sağlamıştır (Karpuz, 2001).

Anadolu'nun farklı alanlarında, iklim, topoğrafya, kullanılan malzeme ve örf-adet gibi özelliklerin biçimlendirdiği geleneksel ahşap türk evleri görülmektedir. Safranbolu,

Kastamonu, Sinop ve Amasya'daki evler Kuzey Anadolu evleri olarak sınıflandırılmaktadır. Bu bölge yağış alan ve yeşil bitki örtüsüne sahip bir alandır (Oral, 2019). Safranbolu ve çevresindeki bölgenin günümüzde bile ormanlık bir alanda bulunması, ahşabın bol miktarda kullanımını sağlamıştır (Özköse, 2001).

Ahşap malzemeyle yapı, Türkiye'de geçmişten günümüze önemli bir yerleşim alanına sahiptir, Kuzey Anadolu'nun en doğu ucundan, Marmara bölgesine, Batı Anadolu'da Bursa ve Kütahya illerinden Manisa ve kısmen Muğla'ya geçerek, bütün Batı Orta Toroslarda ve sınır olan alanlarda geleneksel ahşap malzeme kullanılmıştır (Kuban, 1966).

1.4.1. Doğu Karadeniz Bölgesi Geleneksel Ahşap Yapıları

Doğu Karadeniz mimarisi, genel olarak doğaya uyumlu ahşap evlerden oluşan yapı çeşitleriyle dolu bir alandır. Benzer iklim, topoğrafya ve geleneksel yapı araçlarının varlığı, Doğu Karadeniz alanında aynı mimari özelliklerin varlığını göstermektedir. Fakat, kırsal kesiminde sahil bandından iç kısımlara ve yükseklerle çıkıldıkça konstrüksiyon ve yapısal özelliklerinde farklılıklara rastlanabildiği görülmektedir. Bölge halkı ve yörenin ustaları, çevresel koşulun zor imkanlarına rağmen, deneyim ve yetenekleriyle çeşitlendirdikleri uygulamalarla evlerini yapmışlardır. Yapım sürecinin bütün aşamalarını yerel imkanlarla sağlayan, sürdürülebilir, doğa dostu yapılar elde etmişlerdir (Sümerkan, 1993).

Geleneksel yapı ürünlerinden ahşap ve taş, geleneksel türk mimarisinde en çok tercih edilen yapı malzemeleridir. Genel olarak taş, temel ve zemin kat duvarlarında, ahşap ise üst kat duvarlarında ve yapı elemanlarında kullanılmıştır. Doğu Karadeniz bölgesi, Trabzon ve Rize illerinde geleneksel mimari izlere sahip yapıların sıklıkla görülmesinin yanında, benzer özellikleri sağlayan yeni yapılarda da bu izlere rastlanmaktadır (Aydın ve Alemdağ, 2014). Yapı teknikleri iklim, topoğrafya, bölgesel özellikler, yerleşim gereklilikleri, yaşam biçimi, gelenekler, ekonomik, sosyal, kültürel ve tarihsel ilişkiler doğrultusunda gelişim göstererek ortaya çıkmıştır. Doğu Karadeniz evi; Doğu Anadolu'dan Balkanlara kadar büyük bir alana yayılmış, mekân bütünlüğü açısından aynı ihtiyaçlara cevap veren, ancak yapı bileşenlerinde bazen görsel değişikliklerin ortaya çıktığı, geleneksel Türk evlerinin bu alandaki kendine özgü örnekleridir (Başkan, 2008; Batur ve Gür, 2005).

Doğu Karadeniz'de geleneksel yapı anlayışı özgün ve farklı zenginliklere sahiptir. Bölgede ahşap ve taş tek başına kullanılırken, beraberinde uygulama yapılabilir. Yapı ustaları Ordu'da, Giresun'da, Sürmene'de, Artvin'de, Trabzon'da taşı ve ahşabı aynı işçilikle kullanmışlardır. Tirebolu'da, Fındıklı'da, Bolaman'da, Akçaabat'ta, Ardanuç'ta yaşayan insanların farklı ihtiyaçları doğrultusunda Karadeniz'de çeşitli sivil mimari örnekleri ortaya çıkmıştır. 19.yy. sonları 20.yy. başlarında, deniz ticaretinde kazançlar doğrultusunda zenginleşen sahil kentlerinde, gelişen imkanlar ve kagir yapı malzemeleriyle, 'Dersaadet'in yabancı, Levanten köşk ve konaklarını anımsatan yapılar elde edilmiştir (Başkan, 2008).

Doğu Karadeniz'de en küçük yapılarda bile taş ve ahşap ustaları ayırdır ve bölgede en çok kullanılan malzemeler taş ve ahşap olduğu için yapım tekniklerini bu ürünler belirler. Ahşap uygulamalarda teknik ve görsel olarak kendine has, özgün muazzam sistemler bulunmaktadır. Taş uygulamalarında ise böyle detaylar yoktur. İnşaatta duvar kısmı bittikten sonra hızlıca çeşitli boyutlardaki ağaçlar çakılır (Çetinor,1986).

Türkiye'nin orman varlığı konusunda en zengin alanı Doğu Karadeniz, ağaç malzemenin en fazla kullanıldığı bölgedir. Çoğunlukla kestane, ardıç, ladin, karaağaç ve ceviz ağacı kerestesi yapılarda tercih edilirken, son dönemde ormanlardaki azalmadan dolayı ladin türü çoğunlukla kullanılmaktadır. Yapım sistemleri dışında yapı elemanı olarak da çok fazla şekilde ahşap kullanımı mevcuttur (Başkan, 2008).

1.5. Ahşap Yapım Sistemleri

Yapı üretiminde teknolojik gelişmeler, değişen ihtiyaçlar ve artan ürün çeşitliliğine bağlı olarak yapım tekniklerinde farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Bu sürecin gelişiminde ilkel, geleneksel ve endüstriyel yapım teknikleri olmak üzere üç farklı sınıflandırma yapılmaktadır. Bahsedilen yapım teknikleri kullanılarak yapılan ahşap yapım sistemleri, ahşap yığma sistem, ahşap karkas sistem ve ahşap panel sistem olarak üç şekilde incelenmektedir (Bostancıoğlu ve Düzgün, 2004; Togay, 2002; Halıcıoğlu, 1999).

Çalışma alanımız olan Karadeniz bölgesi ahşap yapım sistemlerinden ahşap yığma ve karkas sistemin yoğun olarak kullanıldığı, kendine özgü yapım tekniklerinin zaman içinde gelişim gösterdiği ve bu yapım sistemleriyle ortaya çıkan özgün yapılara sahip bir bölgedir.

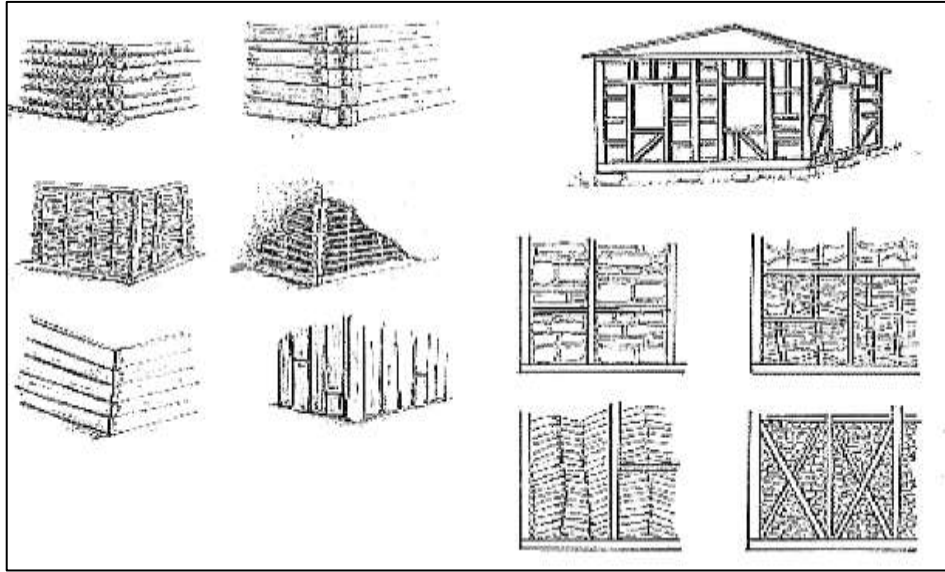
1.5.1. Ahşap Yığma sistemler

Ahşap yığma sistemler, ağaç malzemenin üst üste getirilmesi ve köşelerinin geçme yaparak birleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. Kütük ev olarak da adlandırılan bu sistemde üst üste oluşturulmuş duvarlar taşıyıcı görev üstlenmektedir. En yaygın uygulama şekli yüzeyin temizlenerek kaplama malzemesine ihtiyaç duymadan kütüklerin birbirine geçirilmesiyle yapılmaktadır (Meral, 2008). Yontulmuş kütük yığmada ahşaplar üst üste getirilerek oluşturulan sistemde yapının köşeleri “karaboğaz” denilen bir teknikle birleştirilmektedir. Ahşabın yoğun olduğu ve yapımda kullanılacak aletlerin az olduğu geçici yerleşimlerin yapılacağı yerlerde tercih edilmektedir (Çorapçıoğlu, 2008) (Şekil 1).



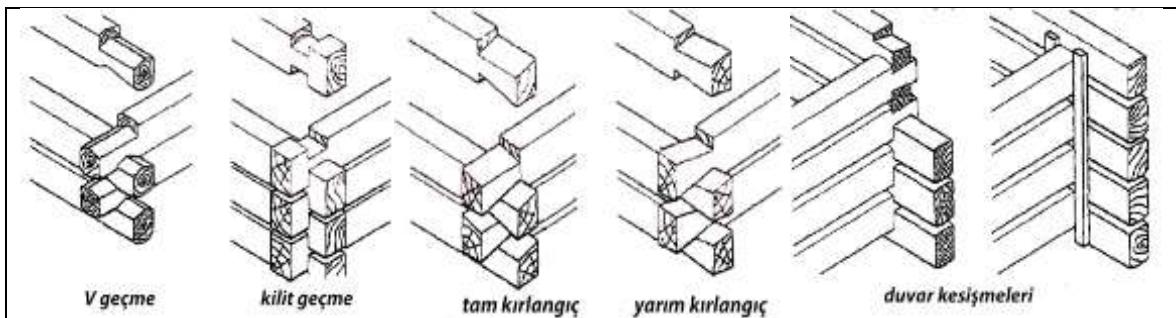
Şekil 1. “Karaboğaz” tekniği (Çorapçıoğlu, 2008)

Çorapçıoğlu’na göre, yığma sistemlerde ahşabın yapılış şekli ve iskelet sistemlerde dolgu malzemeleri duvar tiplerinde farklılıklar oluşturmaktadır (Şekil 2) (Çorapçıoğlu, 2008).



Şekil 2. Ahşap duvarlarda yapı sistemi, dolgu malzemesi, kaplama ve sıva şekline göre duvar tipleri (Çorapçıoğlu, 2008)

Doğu Karadeniz bölgesinde yoğun olarak tercih edilen ahşap yığma sistem bodrum seviyesine kadar taş temel üzerine inşa edilir. Ahşap elemanlar birleştirme tekniklerinin yanında geçme noktalarından 20-30 cm uzun bırakılarak üst üste oturtulmaktadır. Duvarlar çivisiz olarak sadece geçme tekniği kullanılarak yapılmaktadır. Şekil 3’de duvar köşe birleştirme örnekleri verilmektedir. Duvar ve pencere için oluşturulan boşluklar dikey taşıyıcı elemanlar eklenerek güçlendirilmektedir (Güler ve Bilge, 2013). Ağacın fazla ve kolay ulaşılabilir olduğu çoğunlukla dağlık yerlerde, yayla evlerinde, samanlık ve ahır gibi alanlarda tercih edilen bir yapım sistemidir. Ahşap birleştirme teknikleri ile el yordamıyla, dış duvarların birleşimi dışarıya doğru çıkıntılı ya da çıkıntı vermeden yapılmaktadır. Duvar ebatları çoğu malzemeye göre kalınlık olarak ince olsa da ısıyı yapı içinde korumaktadır (Duman ve Ökten, 1981) (Şekil 3).



Şekil 3. Duvar birleştirme ve kesişim örnekleri (Avlar, 1998)

Doğu Karadeniz’de bu yapım sistemi yaylalarda ve ahşap yapı malzemesinin yaygın olduğu iç kesimlerde çoğunlukla görülmektedir. Günümüze kadar gelebilmiş örneklerin yaygın olarak tercih edildiği kullanışlı bir yapım sistemi olduğu görülmektedir (Özgüner, 1970)(Şekik 4).



Şekil 4. Ahşap yığma sistemle inşa edilmiş bir yapı (Güler ve Bilge, 2013)

Eski zamanlardan bu yana geleneksel bir yapım sistemi olarak kullanılan ahşap yığma sistem İskandinavya, Rusya, Sibirya, İsviçre, Kanada, A.B.D.'nin kuzeyi ve Japonya'da benzer özellikler göstermiştir. Bölgesel olarak değerlendirme yapıldığında ise kimi yerlerde yöresel yapım tekniklerinde farklılıklar görülmektedir (Bostancıoğlu ve Birer, 2004). Bu sistem günümüzde gelişmiş olarak uygulanabilmektedir. Artan talep doğrultusunda makinalı olarak ön üretimi yapılan yığma sistemle üç kata kadar farklı işlevlerde yapı elde edilebilmektedir (Tunçkol, 2012).

1.5.2. Ahşap Karkas Sistem

Ahşap karkas sistem yöresel olarak “çatma”, “iskelet” ve “karkas” sistemler olarak adlandırılabilir. Bu yapım sisteminde ahşap yığma sistemin tersine, yapı yükü düşey olarak dikme ve kirişler aracılığıyla zeminden yükseltilmiş taş duvarlara aktarılmaktadır. Taşıyıcı sisteme de yardımcı olan dolgu malzemelerine göre ahşap karkas sistemler üçe ayrılmaktadır (Eruzun, 1981).

- Blok Ahşap Dolma: Dolgu malzemesi 5-6 cm kalınlığında ve 30-40 cm genişliğinde ahşaptan elde edilmektedir. Dolgu malzemesi ana taşıyıcı ile ahşabın üst üste dizilmesiyle oluşturulmaktadır. Doğu Karadeniz yöresinde yatay kullanılan blok ahşapların düşey olarak da kullanıldığı örnekler mevcuttur (Eruzun, 1981) (Şekil 5).



Şekil 5. Blok dolma tekniğiyle yapılan yapı örneği (Batur ve Gür, 2005)

- Göz Dolma: Göz dolmada taşıyıcı dikmeler küçük kesitli olup, dikme aralıkları yaklaştırılarak fazla sayıda kullanılmıştır. Aralıkların sıklaştırılması doğa koşulları ve çevresel etkiler karşısında çoğunlukları taş kırıklarından oluşturulan dolgu malzemelerinin yüzeyde korunmasını sağlamaktadır. Düşey taşıyıcı aralıkları, 15-30 cm arasında yatay elemanların dar olarak bölünmesiyle, kareye benzer dikdörtgen cephe yüzeyinin oluşmasını sağlamaktadır. “Göz” adı verilen bu alanlarda dolgu malzemesi olarak kullanılan taş kırıklarının yanında bölge civarından alınıp yontulan sel taşları tek ve blok halinde konulmaktadır. Bağlayıcı olarak kil ve/veya kil + kireç kullanılmaktadır (Sümerkan, 1990) (Şekil 6).



Şekil 6. Göz dolma tekniğiyle yapılan yapı örneği (E. Lakot Alemdağ, Arşiv)

- Muskalı Dolma: Göz dolmaya benzeyen sistemde, bu kez dikmeler arasındaki çapraz elemanlar 45° 'lik açılarla bölünmektedir. Bağlantı elemanı olarak çivi ya da benzeri ürünler kullanılabilir. Çaprazlamalar ikinci payanda görevi görürken, ortaya çıkan üçgen alanlarda dolgu malzemesi olarak küçük dere taşları kireç harcıyla birleştirilip sıvanarak kullanımı cephede bütünlüğü oluşturan etkenlerdendir (Çorapçioğlu vd., 2008) (Şekil 7).



Şekil 7. Muskalı dolma tekniğiyle yapılan yapı örneği (E. Lakot Alemdağ, Arşiv)

Bu sistemde dış duvar yüzeylerinin bağdadi olarak sıvanması ile “çakatura” sistem elde edilmektedir. Dış duvar yüzeyi, bağdadi çitalarıyla veya çitalar kullanılmadan sıva yapılmaktadır. Muskalı sisteme göre sıva altındaki bölüntüler daha özensizdir (Eruzun, 1997; Başkan, 2008) (Şekil 8).



Şekil 8. Bağdadi ile yapılmış “çakatura” sistemler (M. R. Sümerkan, Arşiv)

1.5.3. Karma Sistem

Ahşap yapım sistemlerinin en az ikisinin beraber kullanıldığı sisteme karma sistem denilmektedir. Karadeniz’ de oldukça sık rastlanan karma sistemde usta, elindeki malzemenin özelliğine bağlı olarak farklı yapım teknikleri bir arada kullanmaktadır. Temel ya da bodrum katın duvarları kagir yığma sistemle yapılıp, üst katlara çıkıldıkça ahşap yığma ve karkas sistemler kullanılmaktadır (Demirrenk ve Erarslan, 2018) (Şekil 9).



Şekil 9. Karma sistemle yapılmış yapı örneği (E. Lakot Alemdağ, Arşiv)

1.5.4. Ahşap Panel Sistem

Panel sistemler iskelet sistemlerin geliştirilmesi sırasında bulunan, prefabrik elamanlar olarak üretilip, yerinde montajı sağlanan sistemlerdir. Yük taşıyıcı ve yük taşıyıcı olmayan panel sistemler iç yüzeyde absetli çimento levhaların, dış yüzeyde ise bakır oluklu levhaların kullanımı ile oluşturulmuştur. Daha sonra gelişim uygulamalarıyla, örtücü malzeme olarak OSB kullanımı yaygınlaşmıştır. Bilgisayar ortamında hazırlanan ahşap paneller, duvar, döşeme ve çatı elemanları olarak fabrika ortamında üretilmektedir. Üretilen elemanlar paketlenildikten sonra şantiye ortamına taşınarak montaj işlemi gerçekleştirilmektedir. Zemin kat beton üzerine bağlantı elemanları yardımıyla sabitlendikten sonra diğer yapı elemanlarının birleşimi sağlanmaktadır (Örs ve Togay, 2003; Togay, 2002; Meral, 2008) (Şekil 10).



Şekil 10. Ahşap panel sistem yapı örneği (URL-2)

Ahşap panel sistemlerin yapılarda kullanımı maliyetin azalması, hızlı ve güvenli yapılar inşa edilme avantajları sağlamaktadır. Ahşap malzeme bu sistemlerde daha verimli ve geniş bir yelpazede kullanılabilir. Ahşap duvar, döşeme ve çatı elemanları bloklar halinde üretilmekte böylelikle zamandan tasarruf sağlanmaktadır. Ahşap yapılar çatı ve döşeme diyaframları ve perde duvarlar ile yatay yüklere karşı direnebilmektedirler. Yatay yüklere karşı dik duran duvarlar kuvvet toplayıp bu kuvveti yatay diyaframlara (çatı ve döşeme) dağıtmakta ve temele ulaşınca kadar kuvvet aktarımı devam ederken bu özellikleri, deprem ve rüzgâr kuvvetlerine karşı yüksek dayanım göstermesine de neden olmaktadır. Kuvvet aktarımları bağlantı elemanları ile sağlanmaktadır (Bredel, 2003; Salenikovich, 2000; Silva ve Gesualdo, 2005). Ahşap duvar panellerde yapı elemanları

arasında ısı kayıplarını engellemek için taşıyıcı özelliği bulunmayan yalıtım malzemeleri kullanılmaktadır. Dünyada üretim avantajları ve yapısal özellikleri nedeniyle çok katlı prefabrik ahşap yapı elemanları artan bir talep görmektedir (Şilih, 2012).

1.6. Yapısal Ahşap Malzemeler

Günümüzde oduna dayalı yeni ürünler geliştirilmekte, bilinen ürünlerin nitelikleri iyileştirilmektedir. Özellikle levha ürünleri ile kompozit malzemelerdeki yeni gelişmeler dikkat çekmektedir (Karayılmazlar vd., 2007).

Yapısal ahşap malzemeler tomruktan veya küçük kereste parçalarının yapıştırma yöntemiyle laminasyon haline dönüştürülmesiyle daha büyük ahşap elemanların elde edilmesi şeklinde oluşturulur. Birçok farklı yapısal uygulamalarda kullanılabilirler. Örneğin, ahşap direkler, ahşap kazıklar ve kafes kirişler, ahşap I kirişler ve kutu kirişleri gibi fabrikasyon bileşenleri ile diğer ahşap yapı panelleri, yapısal kompozit kerestelerdir. Bu ürünler yeni teknolojinin sonucudur ve bir kısmı son zamanlarda ahşap endüstrisindeki gelişmeler doğrultusunda farklı türler ve daha küçük, işlevi az ağaçlardan yararlanarak ekonomik tasarruflar sağlamaktadır (Fridley vd., 2006).

Yapısal ahşap malzemeler olarak bilinen ve günümüzde artan bir talep gören LVL (lamine ahşap kaplama), PSL (paralel şerit ahşap kaplama), LSL (lamine şerit ahşap), OSB (yönlendirilmiş yonga ahşap), Glulam (yapıştırılmış ahşap yapı elemanı) ve CLT (çapraz lamine ahşap) alt başlıklarda detaylı olarak açıklanmaktadır.

1.6.1. LVL (Lamine Ahşap Kaplama)

Lamine kaplama ahşap, istenilen sayıda ince katmanların yapıştırılmasıyla elde edilen mukavemeti yüksek bir malzemedir (Şekil 11). Genel olarak başlıklar, kirişler, lento, kenar oluşturma gibi birçok kullanım alanı bulunmaktadır. 1940'larda LVL'de yapılan çalışmalar ile uçak yapıları için sağlam parçalar elde edilmiştir. 1970'lerde LVL üzerine yapılan araştırmalar ile 12,7 mm'ye kadar kaplamaların işlem değişkenlerinin etkileri anlaşılmaya çalışılmıştır. 1990'larda LVL üretimi için 3,2-2,5 mm kalınlığında kaplama kullanılıp, sıcak preslenmiş fenol formaldehit yapıştırıcı ile 2,4-18,3 m veya daha büyük levhalar yapılmıştır. LVL levhaları genellikle 0,6 ila 1,2 m arasında üretilir.

Kesitleri 38 mm kalınlığındadır. İstenen uzunlukta kesilmiş levha ile büyük boyutlar oluşturmak için presler kullanılabilir. Çeşitli kalınlıkta kereste fabrikalarında veya tesisinde üretilir. LVL konut yapımında kerestenin kullanılabileceği hemen hemen her alanda kullanılabilmektedir (Wood Handbook, 2010; Moody ve Liu, 1999).

Tipik olarak, LVL sıcak presleri 600 ila 1200 mm genişliğindedir, 24 metreden fazla uzunluklarda ve 35 ila 75 mm arasında değişen kalınlıklarda 1200 mm derinliğe sahip kiriş veya kolon elemanlarının üretimine izin verir. Kontrplak sıcak presinde üretilen yapısal LVL, maksimum uzunluğu 2700 mm'dir (EWPA, 2018).



Şekil 11. LVL (Lamine Ahşap Kaplama) (URL-3)

Tipik olarak, yapısal LVL kiriş, gergi veya kolon elemanı olarak kullanılır ve bu nedenle tüm kaplamaların tane yönü, yayılma yönündeki mukavemeti ve sertliği en üst düzeye çıkarmak için genellikle boyuna yönde yönlendirilir. LVL ürünleri, konut, ticari ve endüstriyel bina bileşenlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. İnşaat malzemesi olarak kullanılmasının çekici bir özelliği, çok sayıda basit veya karmaşık şekillerde kolayca çalışılabilmesi ve geniş kolonsuz alanları kapsayan yüksek verimli ve estetik açıdan hoşagiden yapısal sistemler üretilmesidir. LVL yapıştırılmış ahşap ve CLT ahşap paneller kullanılarak çok katlı binaların inşası için yeni fırsatlar ve kayıtlar oluşturulmaktadır. Geleneksel ahşabın aksine, LVL teknolojisi mikroorganizmalardan etkilenmez, rutubet nedeniyle deforme olmaz ve kimyasal saldırganlığa karşı dirençlidir (EWPA, 2018).

1.6.2. PSL (Paralel Şerit Ahşap Kaplama)

İlk olarak 1980'lerde üretilerek kullanılmaya başlanmıştır. PSL, tabakalı yonga ahşaba benzer bir malzemedir (Şekil 12). Aralarındaki fark üretim şeklinden ve kullanılan boyutları ile yerleştirme şekillerinden kaynaklanmaktadır. PSL malzemelerin üretiminde öncelikle soyulan tomruklardan ince levhalar elde edilir. Bu levhalar fabrika ortamında kurutulduktan sonra dilimleme makinesine yerleştirilir ve yongalara yapıştırıcı uygulanarak birbirine paralel olacak şekilde düzene sokulur. Sonra preslenerek masif paneller haline getirilir. İskelet sistemi yapımında kolon ve kiriş kullanıma çok uygun bir malzemedir. Ayrıca hafif iskelet yapılarda kiriş, boyunduruk ve lentoda kullanılmaktadır. Konutta yaygın olarak kolon, dikme, ana kiriş, kasnak kirişi, tali kiriş, konsol ve balkon tabliyesinde kullanılmaktadır (Öztank, 2004).



Şekil 12. PSL (Paralel Şerit Ahşap Kaplama) (URL-4)

PSL, 3 mm kalınlığında ve 19 mm genişliğinde kesilmiş şerit kaplamalardan üretilir. Bu şerit kaplamaların boyu en az 0,6 m uzunlukta olmak zorundadır. Üretim sürecinde kontrplak ve LVL üretiminden arta kalan malzemelerden de yararlanılabilir. Yaygın olarak kullanılan türleri Douglas göknar, güney çamlar, batı baldıran otu ve sarı kavaktır. Ancak kısıtlama yoktur, diğer türlerin kullanımı da yapılabilir. Yongalar su geçirmez bir yapısal yapıştırıcı ile kaplanır, uygun yönlendirme ve dağıtım sağlamak için özel ekipman kullanarak bir baskı makinesine yönlendirilir. Presleme işlemi sonucunda malzemenin

yoğunlaştırılmasında yapıştırıcı mikrodalga teknolojisini kullanarak iyileştirilir (Wood Handbook, 2010; Shmulsky ve Jones, 2011).

1.6.3. LSL (Lamine Şerit Ahşap)

LSL'nin üretimi OSB üretimine benzerdir. OSB gibi büyük boyutlu yongalardan elde edilmektedir. LSL yongalarının boyutları OSB yongalarından daha uzun, PSL yongalarından kısadır. Yongaların uzunluğu ve son ürünün boyuna paralel olarak yönlendirilmiş olmaları LSL'nin uzunluk yönünden dirençli olmasını sağlar. LSL'nin üretiminde kullanılan tomrukların LVL ve PSL tomrukları gibi soyulabilir olmasına ihtiyaç yoktur. Üretiminde kullanılan şerit yongaların uzunluğu 300 mm civarındadır. Yongaların kalınlığı ise 0,7-1,2 mm civarındadır. Üretiminde genelde hızlı gelişen kavak ve söğüt gibi ağaç tomrukları kullanılır. LSL, yüksek kaliteli kereste gerektiren çeşitli uygulamalar için satılmaktadır. Farklı seviyeler yapısal olarak derecelendirilmiş malzemenin sağlam kesilmiş boyut kereste ile rekabet edebilmesi için mevcuttur. Ayrıca kalıpta, mobilya ve diğer ikincil ürünler kullanılmak üzere yapısal olmayan dereceli malzeme mevcuttur (Shmulsky ve Jones, 2011; APA, 2007) (Şekil 13).



Şekil 13. LSL (Lamine Şerit Ahşap) (URL-5)

1.6.4. Ahşap I-Kirişler

Ahşap I-Kirişleri 1920’li yıllarda ilk olarak uçak sanayisinde Kuzey Amerika’da kullanılmıştır. Yüksek performans özelliklerinden dolayı 1930’larda kompozit I Kirişler Avrupa’da bina yapımında uygulanmaya başlanmıştır. Kirişlerin şekilleri I şekline benzediği için I-Kirişi olarak isimlendirilmektedir. 1960’lı yıllardan günümüze farklı uygulamalar için çeşitli ölçülerde tercih edilmektedir (McNatt, 1980; Leichti vd., 1990) (Şekil 14).



Şekil 14. Ahşap I-Kiriş örnekleri (URL-6 ve URL-7)

Son yıllarda geliştirilmiş üretim teknikleriyle endüstri içinde önemli bir yere gelmiş olan I-Kirişler, zeminde daha geniş ve uzun açıklıkları geçmek için kerestenin yerini alan yüksek yük taşıma kapasitesine sahip olup döşeme ve çatı uygulamalarında, ticari ve konut binalarında kullanılmaktadır. Önemli miktarda malzeme tasarrufu sağlayan ve flanş olarak adlandırılan yatay ve dikey elemanların birleştirilmesiyle oluşturulan ahşap I-Kirişler OSB, kontrplak ve küçük boyutlu kerestelerden elde edilmektedir (Moody ve Liu, 1999).

1.6.5. GLULAM (Yapıştırılmış Ahşap Yapı Elemanı)

Yapıştırılmış lamine ahşap (glulam), en eski yapısal ahşap üründür. Glulam, iki veya daha fazlasından oluşan gerilim dereceli ürün yapıştırılmasıyla, uygun şekilde seçilmiş ve hazırlanmış odun parçaları düz veya kavisli form, esas olarak tüm parçaların eksene paralel olarak lamine edilmesiyle oluşturulur. Maksimum laminasyon kalınlığı 50 mm ve laminasyonlar tipik olarak 25 veya 50 mm kalın kerestelerdir. Keresteyi birleştirerek

glulam'da büyük yapısal elemanların üretimi mümkündür. İstenildiğinde 30 m uzunluğa kadar düz elemanlar 43 m'ye kadar ekleme yapılarak elde edilebilmektedir. Böylece glulam küçük ağaçlardan büyük kereste üretme potansiyeli gösterir (Moody ve Liu, 1999) (Şekil 15).



Şekil 15. Glulam (Yapıştırılmış Ahşap Yapı Elemanı) (URL-8)

Glulam, neme dayanıklı yapıştırıcılarla birbirine bağlanmış ahşap laminasyonlardan veya "lamlardan" oluşan gerilmeli tasarlanmış ahşap kirişlerdir. Glulam, konut yapımında basit kiriş ve başlıklardan, 500 metreden daha uzun bir alana yayılmış kubbeli çatılar için yükselen karmaşık kemerlere ve büyük açıklıklı köprülere kadar projeler için üstün bir seçenek haline gelmiştir (APA, 2017) (Şekil 16).



Şekil 16. Glulam ile yapılmış köprü ve kavisli çatı (APA, 2017)

Lamine ahşap kiriş sistemiyle kolon, kiriş, kemer, makas gibi düz, kavisli ve eğrisel olmak üzere değişik formlarda malzemeler üretilebilir (Şekil 17). Bu kirişler ile büyük açıklıklar, ağır yükler geçilebildiği gibi yük taşıma kapasiteleri mükemmeldir. Glulam, uzun düz kirişlerden karmaşık kavisli kemer konfigürasyonlarına kadar hemen hemen istenen her şekilde ve boyutta üretilebildiği için, sanatsal kavramları yapıda ifade etme imkânı sağlamaktadır. Glulam birçok mevcut ağaç türüyle üretilebilmektedir. Genellikle Glulam üretimi için çam, göknar, ladin, alaska sedir ve dougles göknar gibi ağaç türleri kullanılmaktadır. Üretim boyutlarında bir sınırlama yoktur. Büyük montajlar için fabrikada üretilip, şantiyede birleştirilirler. Enine kesit özelliği verimli kullanılmasını sağlamaktadır (Fridley vd., 2006; Kasal vd., 2015).



Şekil 17. Glulam strüktür örnekleri (URL-8)

Tutkallı lamine ahşap (glulam) gibi işlenmiş ahşap ürünler, doğal kereste kullanımını doğal sınırlamaların ötesinde getirmek için geliştirilmiştir. Yapısal çelik veya betonla karşılaştırıldığında, daha hafif, güçlü, ekonomik ve nispeten daha büyük mukavemet ve sertliğe sahip yapı üretilebilir. Çoğu yapısal uygulamada Glulam'ın ömrü neredeyse sınırsız olarak kabul edilebilir. Modern fenolik sentetik reçine yapıştırıcılarının kullanılması, laminasyonlar arasındaki bağ için sınırsız bir ömür sağlar. Sınırsız hizmet ömrüne yönelik asıl tehlike, nem içeriğinin uzun süre %22-%25'in üzerine çıkmasıdır. Bununla birlikte, sağlam bakım prosedürleri, nem tutucularından kaçınılması ve uygulanabilir olan havalandırmanın sağlanması ile glulamın olumsuz etkilenmesi önlenabilmektedir. Glulam yangın dayanımı olarak yüksek bir performansa sahiptir (Xiao vd., 2008).

1.6.6. CLT (Çapraz Lamine Ahşap)

Amerikan Ulusal Standardı (APA) tarafından tanımlandığı gibi, “Xlam” ya da “masif kereste” olarak da bilinen “Çapraz Lamine Ahşap” (CLT), ortogonal olarak en az üç adet kereste katmanından oluşturulmuş prefabrik masif ahşap paneldir. Başka bir ifadeyle lamine edilmiş yapısal kompozit kereste (SCL) boylamasına ve enine katmanlarının, katı bir dikdörtgen oluşturmak üzere yapısal yapıştırıcılar ile yapıştırılmasıyla oluşturulan düz yüzeyler, çatı, zemin ve duvar uygulamalarında yapısal ahşap malzeme olarak kullanılmaktadır (ANSI/APA 2012) (Şekil 18).



Şekil 18. Çapraz Lamine Ahşap (CLT) (APA, 2016)

1990’larda inşaat malzemesi olarak Avrupa’da üretilmiş olan CLT, bitişik katmanlara dik olarak yönlendirilmiş birden fazla ahşap plaka katmanından oluşmaktadır (Şekil 19). Orman kaynaklarımızı daha iyi kullanmamıza katkıda bulunan, katma değeri yüksek bir uygulama için küçük çaplı ve düşük değerli kereste kullanma fırsatını sunan bir inşaat teknolojisidir. 1998’den beri CLT için çeşitli ulusal ve Avrupa teknik onayları da giderek artmaktadır. Son yıllarda katlanarak artan üretim talebi ve çok katlı yapıların inşasında CLT kullanımının tercih edilmesi, ahşap konstrüksiyonun çelik ve betona göre gelişimine yönelik ilerlemelere katkı sağlamıştır (Grasser, 2015; Laguarda, 2017; Mestek vd., 2010). Beraberinde Avrupa’da CLT, çok katlı binalar için belirlenen segmentler dahilinde çelik, tuğla ve betonla başarılı bir şekilde rekabet etmektedir (ANSI / APA PRG 320-2012).

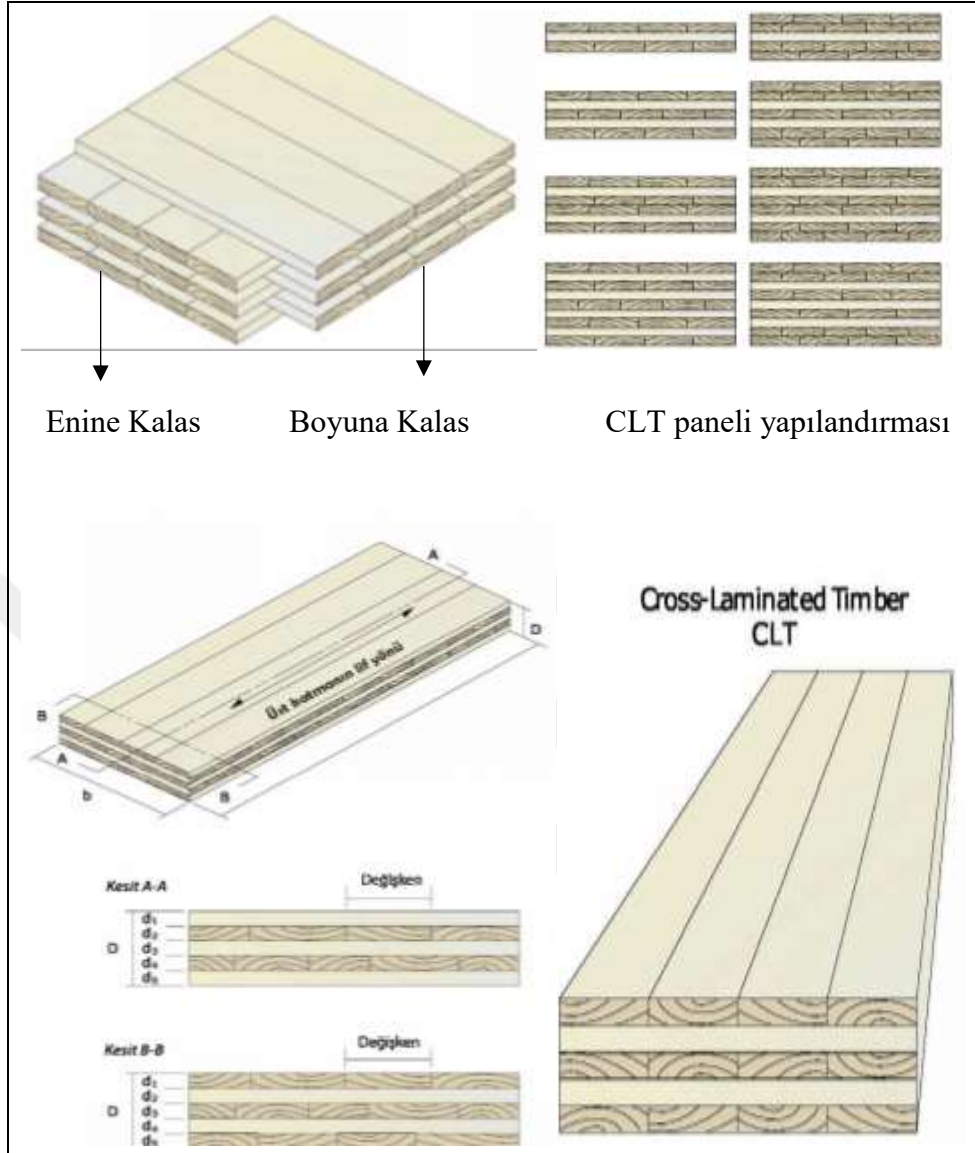


Şekil 19. Çapraz lamine kerestenin görseli (Kuulin vd., 2011)

Avrupa'daki icadından bu yana geçen sürede, çapraz lamine ahşap (CLT), yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesi haline gelmiş ve küresel olarak dikkat çekmeye başlamıştır. CLT endüstrisi, Avrupa inşaat pazarındaki güçlü ve sağlam konumu nedeniyle, yatırımcılar tarafından yeni pazara giriş ve büyüme fırsatı olarak görülmektedir. Amerika Birleşik Devleti, Avustralya, Yeni Zelanda, Japonya ve Kuzey Amerika gibi dünyanın diğer bölgelerindeki ahşap inşaat sektöründe CLT'nin potansiyeli dikkat çekmekte ve ilgi artmaktadır (Grasser, 2015).

1.6.6.1. Üretim Teknolojileri

CLT paneller genellikle 3, 5, 7 veya daha fazla tabakadan oluşup, lif yönleri birbirine çapraz olacak biçimde 90° açıyla yerleştirilmiştir. Birbirlerine geniş yüzeylerinden ve bazı durumlarda dar yüzeylerinden de tutkal ile en az $0,6 \text{ N} / \text{mm}^2$ basınçla yapıştırılmış, mukavemetli, boyutsal kararlılığa sahip ve rijit elemanlardır. Çapraz lamine ahşabın tutkallı lamine ahşaptan farkı, tabakaların yönleri birbirine zıt olacak şekilde yerleştirilmesidir. Tutkallı lamine ahşapta keresteler lifleri birbirlerine paralel olacak şekilde bir araya getirilerek yapıştırılır (Şekil 20). Levhalar yapısal yapıştırıcı kullanılarak parmak ekleme ile birleştirilmektedir (Vatanen, 2017; Glass, 2013; Gagnon, 2013). Kalınlığı teknik nedenlerden dolayı genellikle yaklaşık 500 mm ile sınırlıdır. Çoğu 16-20 metreye kadar uzunluk ve 3-4,8 metreye kadar genişliğe sahiptir. Tek ahşap şeritlerin genişliği genellikle 80-240 mm arasında değişir, kalınlık 10-40 mm arasındadır. Duvar, çatı, döşeme gibi yapı elemanlarında kullanılıp, düzlem içi ve dışı yükleri taşıyabilir (Glass, 2013).

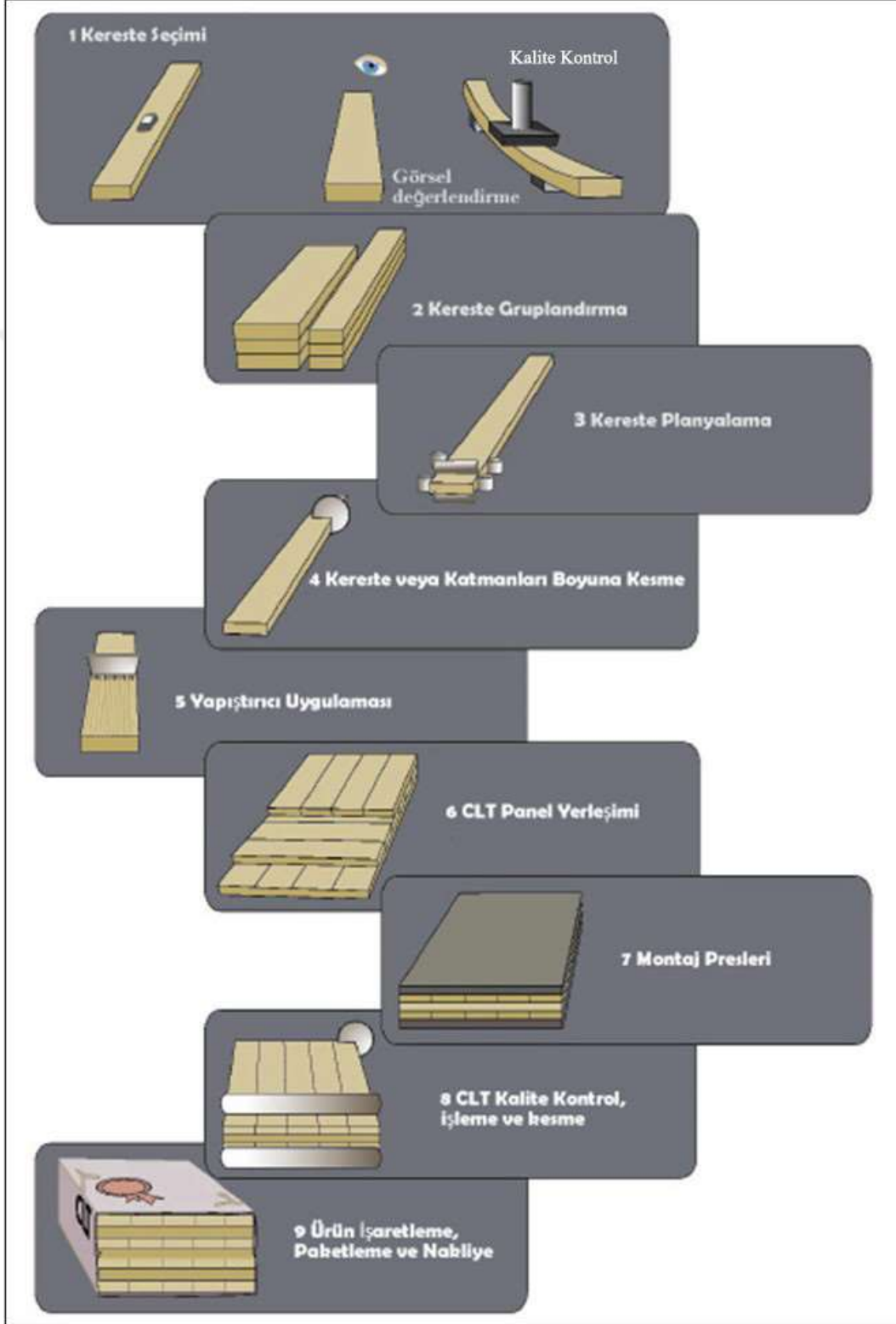


Şekil 20. CLT paneli kesitleri ve liflerin yönü örneği (Gagnon vd., 2013)

Şekil 21’de aşağıdaki dokuz temel ögeyi içeren tipik CLT üretiminin şematik olarak gösterimi verilmektedir (Yeh vd., 2013) Adımlar:

1. Kereste seçimi
2. Kereste gruplaması
3. Kereste planyalama (yüzeyleri düzeltme)
4. Kereste veya katmanları boyuna kesme
5. Yapıştırıcı uygulaması
6. CLT panel yerleşimi
7. Montaj presleri

8. CLT kalite kontrol, işleme ve kesme
9. Ürün işaretleme, paketlenme ve nakliye

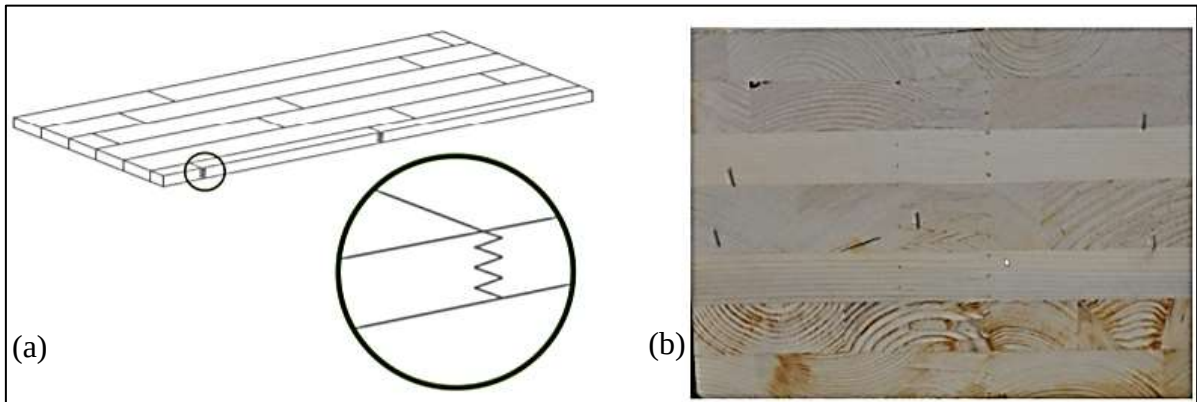


Şekil 21. CLT üretim aşamalarının şematik gösterimi

Başarılı bir CLT üretim sürecinin anahtarı kereste kalitesinde tutarlılık ve yapışkan bağın kalitesini etkileyen parametrelerdir. Tesis içi kalite kontrol testleriyle CLT ürünlerinin amaçlanan uygulamalara uygunluğu sağlanmaktadır. Kerestenin nem içeriği fırınlanma ile kurutulmaktadır. Uygun nem içeriği boyutsal değişimi ve yüzey çatlamlarını önlemektedir (Gagnon, 2013). CLT üretiminde kullanılan kerestelerin rutubet miktarı üretim sırasında $12\pm 3\%$ aralığında olmalıdır. Eğer üretimde yapısal kompozit kereste kullanılacaksa, bu ürünlerin rutubet miktarı $8\pm 3\%$ aralığında olmalıdır (Ansi/Apa, 2012).

Üretim hattında ilk istiflenecek keresteler besleme istasyonuna girer. Sonra istiflenmeden, her bir tabakanın ölçülendirilmesi yapılır. Bir kereste gerekli özellikleri ve rutubeti karşılamıyorsa, üretim akışı dışında sıralanır. Daha sonra görsel veya makine ile derecelendirme yapılmaktadır. Görsel derecelendirme yapılıyorsa bir operatör yardımıyla ahşap kusurları ve arızaları, daha sonra bir testere ile tanınacak ve kesilecek bir şekilde işaretlenmektedir. Makinede derecelendirilirse, teknik özellikleri karşılamayan lameller üretim sisteminden atılır (Grasser, 2015).

Düzeltme testeresinden sonra lameller rastgele uzunluktadır. Bu nedenle, lameller paralel ve uzunlamasına CLT katmanları için istenen uzunlukta birleştirilmektedir. Lamelleri boyuna yönde bağlamak için kullanılan bu yönteme “parmak birleştirme” denmektedir (Brandner, 2013) (Şekil 22).

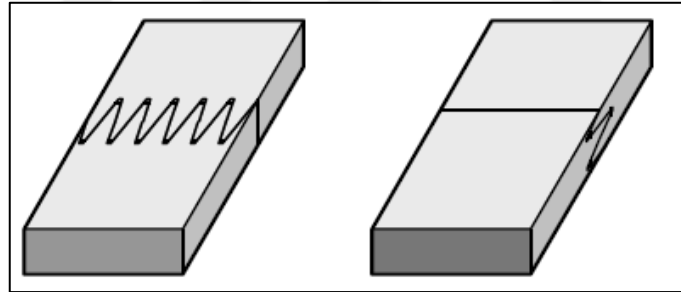


Şekil 22. Tek katmanlı panoda laminasyon ölçeğinde parmak birleştirme(a), Genel parmak birleştirme = panelin tüm kalınlığı boyunca parmak eklemi(b) (StoraEnso, 2014)

Jokerst'e (1981) göre, parmak birleştirme lamellerinin üretimi aşağıdaki gibidir:

1. Ürün seçimi ve hazırlanması
2. Ortak profil oluşumu
3. Yapıştırıcı uygulaması
4. Derz montajı
5. Yapıştırıcının kuruması

Profil geometrisi, parmak birleştirme için oluşturulacak yapışma yüzeyini artırmak için önemlidir. Avrupa'da, CLT üretimi için 15-20 mm uzunluğunda parmak birleştirme kullanılır. Avrupa'daki CLT üreticileri iki tür parmak ekleminden yararlanmaktadır. Bunlar geleneksel dikey glulam ve yatay derzlerin üretiminde de kullanılan derzlerdir. Dikey parmak birleştirmelerin aksine, yatay parmak birleştirme lamel yüzünde tanımlanması daha zordur ve bu nedenle bitmiş CLT panellerinin dış katmanlarında tercih edilmektedir. Ayrıca, bina fiziği için yatay bağlantılar da hava sızdırmazlığı gibi etkilerden dolayı avantajlı olabilmektedir. Şekil 23 'de dikey ve yatay parmak birleştirme görülmektedir (Brandner, 2013).

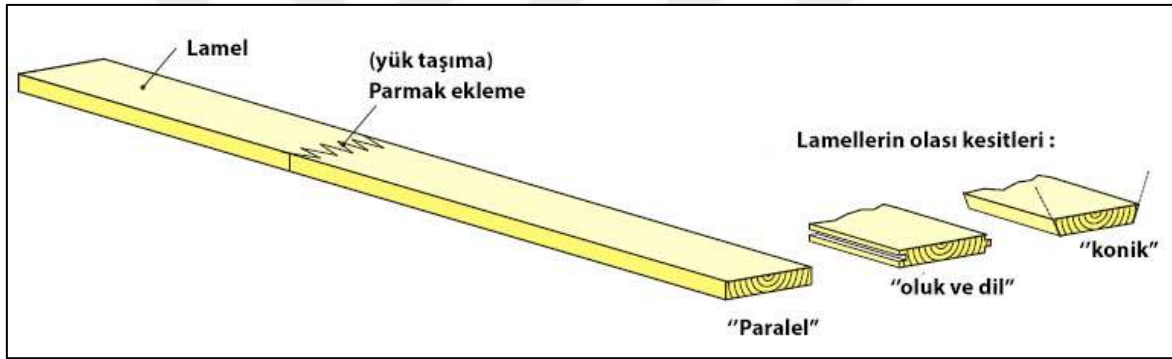


Şekil 23. Dikey ve yatay parmak birleştirme (Brandner, 2013).

Parmak birleştirme aşamasından sonra yapılan planya işlemi iyileştirilmiş yapıştırma için oksidasyonu azaltmak amacıyla ahşap yüzeyin etkinleştirilmesine veya yenilenmesine yardımcı olmaktadır. Çok ince bir yüzey tabakasının çıkarılması daha iyi yapışma sağlamaktadır. Kereste planyalanması optimum yapıştırma sağlamak için gerekli hassasiyete ulaşmamızı olanak tanımaktadır. Çoğu durumda, dört tarafı da planyalamak boyutsal bütünlüğü sağlamak için gereklidir. Bununla birlikte, bazı durumlarda, genişlik toleransı varsa sadece yüz ve sırt planyalaması yeterli olarak kabul edilebilir ve kereste kenarları yapıştırılmaz. Genel olarak, kalınlıktan 2,5 mm ve genişlikten 3,8 mm önerilmektedir (Julien, 2010; Yeh vd., 2013). Planyalama işleminden sonra CLT için

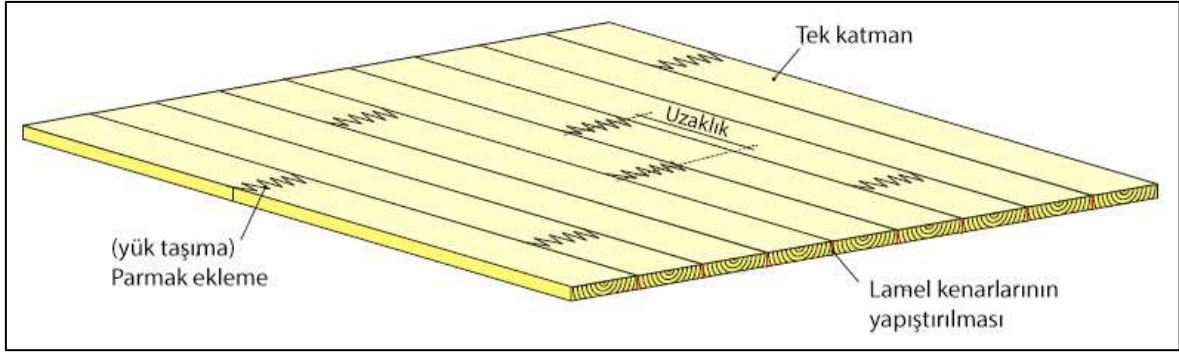
kullanılacak kereste presin boyutu, uzunluğu ve laminasyon özelliklerine bağlı olarak istenilen uzunluklarda kesilmektedir. Keresteler boyuna tabakalar için kullanılacaksa, parmak birleştirme yapılan kerestelerin uzunluğu, presin uzunluğu kadar, enine tabakalar kullanılacaksa, kerestenin boyutu presin genişliği kadar kesilmektedir (Yeh vd., 2013).

Parmak eklemlerinin ve lamellerin yapıştırılması için, sırasıyla yük taşıma için onaylanmış yapıştırıcılar kullanılmalıdır. Dikkate alınması gereken faktörler, yapıştırıcının mekanik ve fiziksel özellikleri, hızlı sertleşme yöntemi, maliyeti ve bazı durumlarda da rengidir. Genellikle polikondensat (PU), fenolik ve melamin reçine bazlı yapıştırıcılar uygulanmaktadır. Şekil 24’de görüldüğü gibi bir sonraki üretim adımında dört tarafta da lameller (levhalar ve parmak eklemleri) planyalanır. Kenarlar paralel, profilli (oluk ve dil) veya konik bir forma oluşturulabilir (Augustin, 2008).

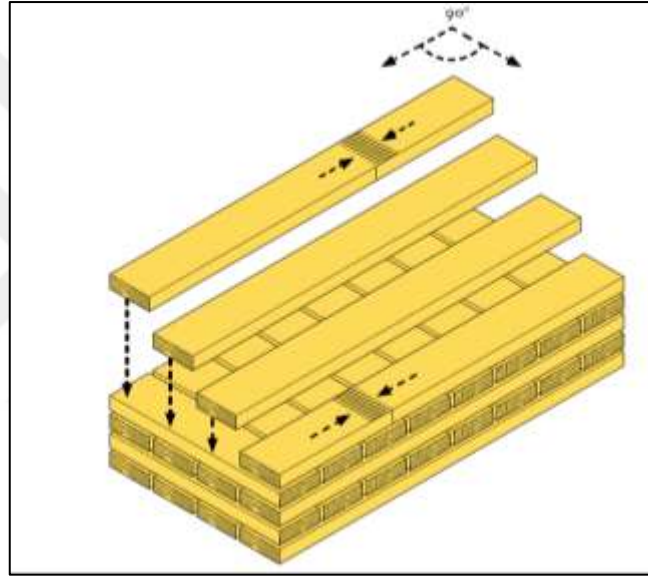


Şekil 24. Paralel, profilli veya konik kenarlı lameller (Augustin, 2008)

CLT katman oluşumu çeşitli şekillerde gerçekleştirilir ve üretim hattı tasarımı ve kapasitesine göre değişmektedir. Örneğin Avrupa’da bantlı konveyörler veya vakumlu kaldırma cihazları kullanılmaktadır. Düşük kapasiteli tesislerde, CLT düzenleri, insan operatörler tarafından da yapılabilir. Birleştirme tekniği, bitişik katmanların dik olarak uygulandığı kontrplak üretimiyle karşılaştırılabilir. Üretiminde yapısal tutkal çeşitlerinden fenol-resorsinol formaldehit (PRF), emülsiyon polimer izosiyanatlar (EPI) ve poliüretan (PUR) gibi tutkallar kullanılmaktadır (Yeh vd., 2013). Her katman arasında yapışkan yayılır. Parmak birleştirme ve kenar yapıştırmada olduğu gibi, MUF veya PUR yapıştırıcı sistemleri sıklıkla kullanılır. Yapıştırıcı uygulamaları genelde mekanik olarak kullanılmaktadır (Brandner, 2013) (Şekil 25-26).



şekil 25. Kenarları yapıştırılmış tek kat CLT paneli (Augustin, 2008).



şekil 26. 5 katmanlı CLT birleşimi (Thistleton, 2018)

Katmanlar arasında oluşabilecek boşlukları ortadan kaldırmak için presleme işlemi hem yüzeyden hem de kenar kısımlardan yapılmaktadır. Yapışkan bir kez uygulandığında, tertibat hidrolik (daha yaygın), vakum presleri ve basıncılı hava kullanılarak panel kalınlığı ve kullanılan yapıştırıcı üzerinde preslenmektedir. Pres aşamasında ortam sıcaklığının 15 C' den yüksek olması önerilmektedir. Çünkü bazı yapıştırıcıların düşük sıcaklıklarda sertleşmesi daha uzun sürmektedir. Monte edilen paneller genellikle pürüzsüz bir yüzey için planyalanır ve bu ürünler için tasarlanmış endüstriyel zımpara makinesi ile 0,1 mm toleransla zımparalanmaktadır. CNC (Bilgisayar Sayısal Kontrollü) yüksek hassasiyetli makineleri yardımıyla panellerin ek yerleri kesilmekte, pencereler, kapılar ve servis kanalları için açıklıklar yapılmaktadır. Son aşamasında ise ürün işaretleme, paketleme ve

nakliye işlemleri gerçekleştirilmektedir. Depolama sürecinde rutubet değişimi engellenecek şekilde ambalajlama yapılmalıdır (Gagnon ve Crespell, 2010; Gagnon vd., 2013).

CLT birçok uygulamada beton, duvar ve çeliğe uygulanabilir bir alternatiftir. Çeşitli bina tiplerinde kullanılan diğer malzemelerle karşılaştırıldığında maliyeti düşüktür. Hem yanal hem de dikey yüke dayanıklı sistem olarak tüm bina için veya çatı, zemin ve duvar gibi belirli elemanlar için kullanılabilir. Hafifliği, tasarım esnekliği ve diğer özellikleri, yumuşak zeminler veya komşu binalara yakınlık gibi farklı türdeki projelere, tasarımlara ve saha koşullarına uyarlanabilir olmasını sağlar. Prefabrik oluşu; kapılar, pencereler, merdivenler ve servis kanalları için önceden kesilmiş açıklıklar, üretici tarafından hızlıca şantiyeye gönderilerek inşaat sürelerinden tasarruf edilir (Evans, 2013). Ayrıca prefabrik olduğu için, hızlı ve kolay üretilmesi, maliyet tasarrufu sağlar. CLT temel olarak beton ve çelik rekabet etmemize izin veren konforlu bir malzemedir. Deprem dayanımı yüksektir. Yapılan bir çalışmada, CLT depo binası olarak Japonya'da, sarsma tablası üzerinde test edilmiş ve 14 farklı deneysel çalışmadan sonra ayakta kaldığı gözlemlenmiştir (Khan, 2017). CLT panellerin bütün işlemleri fabrikada gerçekleştirilmektedir. Üretimi tamamlanan CLT panellerin projede ön görülen detaylarının (mertek yuvaları, elektrik ve su kanalları, kapı ve pencere boşlukları) uygulanması için CNC makineleri kullanılmaktadır (APA, 2015).

CLT plakaların yapısal hafifliği, yangın güvenliği, yüksek mukavemet, ısı ve ses yalıtımı ile ayırt edilir. Sunulan ahşap yapıların montaj hızı, diğer inşaat teknolojilerine göre oldukça yüksektir ve bitmiş blokları ve modülleri çalışma sahasına taşıma teknik kabiliyetinden kaynaklanmaktadır. Modern ekipmanlar, 24 m uzunluğa ve 3,5 m genişliğe sahip CLT paneller üretme yeteneğine sahiptir ve bu da binanın tüm katının bina zarfını tek seferde monte etmeyi mümkün kılar (Slavin, 2019) (Şekil 27).

Ahşap konstrüksiyonda sistematik işlem nedeniyle CNC destekli üretim yöntemleri giderek daha fazla kullanılmaktadır. Yüksek prefabrikasyon derecesi, şantiye ortamında montaj süresini kısaltır, maliyetleri azaltır ve kaliteyi artırmaktadır. Geniş formatlı unsurlara sahip CLT bina tekniği, pazarda kendini kanıtlamıştır. Uygulama sırasında gelişmiş cihazlar, hızlı, güvenli, yüksek hassasiyetli montaj ve ayarlama yapılabilme imkanlarının yanında kolay sökme ve uzun süreli hava sızdırmazlığı sağlamaktadır. Uygulamalar proje simülasyon modelleri ve laboratuvarlara dayanmaktadır (Kraler, 2014).



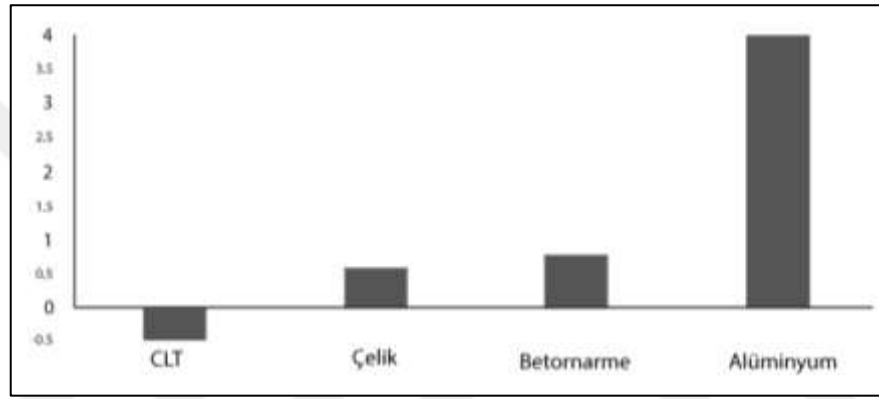
Şekil 27. CLT binasının yerinde uygulanması ve montaj işlemi (Lukacs vd., 2019)

1.6.6.2. Avantajlar

Binaların, insan ve çevre sağlığı üzerinde önemli bir etkisi vardır. Bina üretiminde kullanılan kaynakların sürdürülebilir olması, az atık çıkarmaları, daha az sera gazı salgılamaları, üretimlerinde daha az su ve enerji kullanılması, insan sağlığı ve çevre üzerindeki etkilerinin az olması günümüzde öne çıkan en önemli unsurlardır. Karbon ayak izlerine ilişkin halk bilincinin artması, sürdürülebilir inşaat talebinde ve yüksek katlı yapılarda ahşap kullanımında artışa neden olmuştur. CLT çelik, beton ve duvar gibi geleneksel yapı malzemelerine sürdürülebilir “yeşil” bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Yüksek mukavemet, boyutsal sabitlik ve tasarım esnekliği sunmasının yanı sıra, birçok bina tipinde, beton, duvar ve çelik gibi geleneksel yapı malzemelerine karşı oldukça avantajlı bir alternatif olduğunu birçok uygulamada kanıtlamıştır. CLT panelleri inşa edilecek yapılara göre üretilip monte edildiğinden, inşaat süresini azaltmaktadır (Tannert ve Eng, 2019; Stauder, 2013). CLT, ahşapla inşa edilen yapıların imkanlarını artırmakla beraber birbirine yapıştırılmış kereste ile üretilmiş çok katmanlı panellerdir ve sertliği, stabilitesi ve arzu edilen mekanik özellikleri sağlamaktadır. Yirmi yıldan daha uzun bir süre önce piyasaya sürülmüştür. CLT nin başarılı bir şekilde Kanada pazarına girişi Kuzeyde Amerika ve ABD potansiyeli olduğunu göstermektedir (Laguarda Mallo, 2017).

Sürdürülebilir şekilde yönetilen ormanlardan ahşap kullanılarak üretilen CLT, enerji verimliliğine ek olarak bir dizi çevresel fayda sağlamaktadır. Yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) çalışmaları ayrıca ahşabın enerji, hava kirliliği ve su kirliliği açısından çelik ve betondan daha iyi performans sergilediğini göstermektedir. Ahşap ayrıca daha hafif bir karbon ayak izine sahiptir, çünkü ahşap ürünleri büyürken ağaçların emdiği

karbonu depolamaya devam ederken ahşap üretimi daha az enerji gerektirir ve daha az sera gazı emisyonu sağlamaktadır. Karbon depolama, tipik olarak uzun süreler boyunca yerinde kalan ahşap yapısal bileşenlerin önemli bir özelliğidir (Laguarda, 2017, Evans, 2013). CLT karbon emisyonlarında ve enerji tüketiminde azalma sağlamak için yüksek potansiyelli bir seçenektir. CLT yapı sistemleri, daha fazla enerji harcayan malzemelere kıyasla çevre dostudur. CLT ile yapılan konut binalarının, karbon emisyonlarında ve enerji tüketiminde önemli düşüşler sağlamaya yardımcı olmak için yenilikçi bir fikir olduğu düşünülmektedir (Cho, 2019) (Şekil 28).

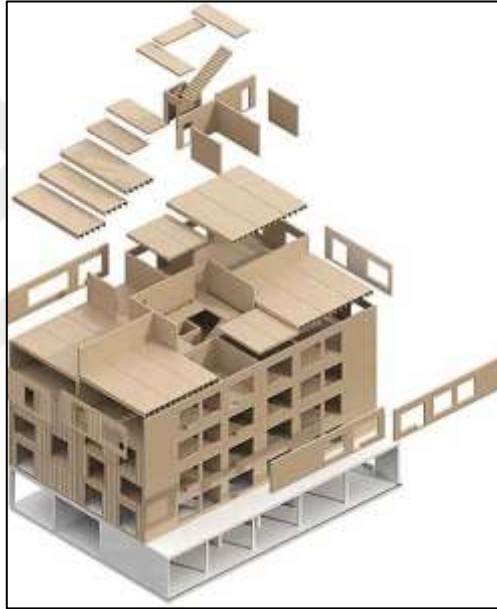


Şekil 28. Üretim sırasında çeşitli inşaat yöntemlerinde enerji tüketiminin (GJ / m²) karşılaştırılması (Lukacs vd., 2019)

Yapım sistemleri açısından, hafif çerçeve ile “ağır” yapı arasındaki fark önemlidir. CLT, hafif çerçeve konstrüksiyonunun yerini almak için değil, hafif çerçeve konstrüksiyonunun uygun olmadığı bina uygulamalarında beton ve çelik gibi “ağır” inşaat malzemelerine alternatif olarak geliştirilmiştir. Bir CLT binası, hafif çerçeveli bir binadan daha fazla toplam ağaç gerektirebilir ancak potansiyel olarak uygulanabilir olduğu binalarda çelik veya betonla karşılaştırıldığında, yenilenebilirlik, karbon dengelemeleri, düşük enerji ve operasyonel enerji verimliliği gibi avantajlar CLT’yi çevresel olarak tercih edilebilir bir seçim haline getirmektedir (Evans, 2013).

CLT birçok olumlu özellik sunan yenilikçi, yüksek performanslı bir yapı malzemesidir. Yenilenebilirlik, yüksek yapısal kararlılık, hava koşulları ve neme karşı direnç, düşük termal iletkenlik, bina ömrü boyunca karbonun depolanması, yangına dayanıklılık ve yeniden kullanım imkânı sağlamaktadır. Sürdürülebilir şekilde yönetilen ormanlardan gelen yumuşak ağaçlar, diğer katı inşaat yöntemleri ile karşılaştırıldığında

CLT parçalarının üretimi ve işlenmesi çok az enerji gerektirmektedir. Sürdürülebilir ve betonla rekabet edebilen uygun maliyetli yapısal kereste çözümü sunar. Betona kıyasla imalat ve nakliyesi kolaydır (Chen, 2012; Mestek, 2011). Yeni nesil ahşap yapılar büyük ölçüde fabrikada hazırlanmış prefabrik yapı bileşenlerinden oluşmaktadır. Hızlı montaj için sahaya getirildiğinden zamandan tasarruf etmenin yanı sıra inşaat için ekonomik ve enerji tüketiminden fayda sağlanmaktadır (Ramage, 2017) (Şekil 29). Ayrıca, CLT panelleri her proje için özel olarak üretildiğinden, neredeyse hiç şantiye atığı yoktur ve üreticiler merdivenler, diğer mimari elemanlar ve biyoyakıt olarak herhangi bir imalat hurdasını yeniden kullanabilirler (Evans, 2013).



Şekil 29. Çok katlı binalar için tipik bir uygulama (StoraEnso, 2018)

CLT yapılarına olan ilgi ve talebin artmasıyla yapılan çalışma ve araştırmalar bu malzemenin iyi sismik ve yapısal performans gösterdiğini doğrulamaktadır. CLT panelleri giderek avantaj ve farklılıklarıyla dünyanın dört bir yanındaki çok katlı binalarda, hatta kuzeyde, duvar, zemin ve çatı montajlarında kullanılmaktadır. Avrupa'da, şu anki Avrupa Birliği Deprem Yönetmeliği (Eurocode8) sismik tasarım, kapasiteye dayalı tasarım kurallarını içerecek şekilde kapsamlı bir incelemeye tabi tutulmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde, esneklik temelli bir sismik tasarım anlayışını onaylayan çalışmalar devam etmektedir (Tannert ve Eng, 2019).

Dünyada yapılan araştırma çalışmalarına ve Vancouver'daki FPInnovations'de CLT duvar panellerinde yapılan bir dizi yarı statik testin sonuçlarına dayanarak, CLT duvar panelleri etkili bir yanal yüke dirençli sistem olabilir. Duvarları zeminlere bağlamak için çelik dirseklerle çiviler veya ince vidalar kullanıldığında yeterli sismik performans gösterebilirler. Duvarların her iki ucunda çivili tırnakların kullanılması sismik performanslarını daha da artırma eğilimi göstermiştir (Popovski ve Karacabeyli 2012).

CLT ile inşa edilenler de dahil olmak üzere ağır ahşap yapılarıdaki bağlantılar, yapıya mukavemet, sertlik, stabilite ve süneklik sağlamada önemli bir rol oynamaktadır. Güçlü depremleri ve kasırgaları takip eden afet sonrası araştırmalar, diğer nedenlerin yanı sıra, genellikle yetersiz tasarlanmış veya yanlış takılmış bağlantılar sebebiyle yapısal arızaların meydana geldiğini göstermektedir. Bağlantıların verimli tasarımı ve imalatı genellikle çelik veya beton gibi diğer yapısal uygulamalarla rekabet ederken ahşap binaların başarı seviyesini belirlemektedir. Özellikle CLT'nin tek başına, çelik veya beton bileşenlerle birlikte kullanılabildiği çok katlı ağır ahşap yapılar ve hibrid binalar için bağlantı tasarımları önemlidir (Mohammad, 2013).

Avrupa'daki CLT yangın güvenliği tasarımı, diğer tüm yapı ürünlerinde olduğu gibi yapı ürünleri yönetmeliği ve temel gereksinimleri tarafından yönetilmektedir. Bu gerekliliklerin tüm Avrupa ülkelerinde kullanılması zorunludur. Bunlar inşaat ürünlerinin yangına reaksiyonu, inşaat elemanlarının yangına dayanıklılığı ve yapısal Eurocodes sınıflandırma sistemlerini içerir. CLT'nin Avrupa sınıflandırma sistemine göre ateşle reaksiyon performansı belirlenmiştir. Kimyasal işlemlerle daha yüksek sınıflara ulaşılabilir, ancak yangına tepki performansının dayanıklılığının yeni bir Avrupa sistemine göre yerine getirilmesi gerekir (Östman, 2018).

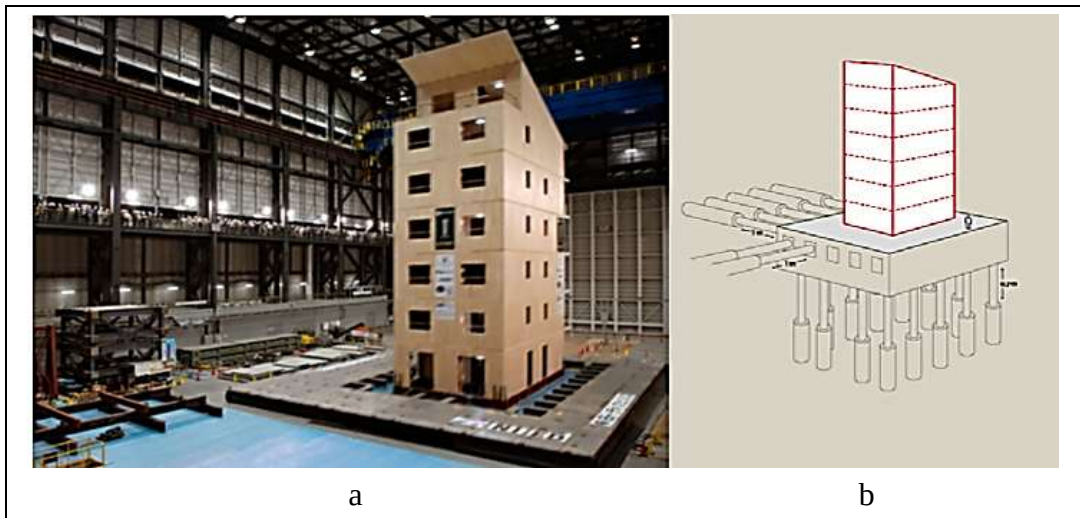
Geleneksel ahşap esaslı yapı malzemelerine kıyasla, CLT, deneysel yangına dayanıklılık testi ve kömürleşme oranı çalışmalarına göre şartlı olarak yangına dayanıklıdır. CLT 'nin yangına dayanıklılık kabiliyeti, ısıya maruz kalma sırasında kömürleşmiş bir tabaka oluştuğu ve panelin kalan yapısını korumak için bir yalıtım işlevi gördüğü “kömürleşme” ile elde edilebilir (Şekil 30). Ayrıca CLT diğer ahşap malzemelere göre fiziksel ve mekanik özellikler bakımından birçok avantaja sahiptir. Kontrplağa kıyasla, CLT deformasyonlara daha az eğilimlidir çünkü alternatif kereste tabakaları hem tanecik hem de dik yönde paneli kuvvetli kılar. CLT ayrıca masif ahşaba kıyasla daha fazla kıvamdadır, çünkü boyut ve şekilde tekdüze kereste katmanlarından yapılmıştır (Schmid vd., 2019; Barber, 2018; Frangi, 2009).



Şekil 30. CLT yangın anında üst yüzeyindeki kömürleşme (Store Enso, 2017)

CLT ağır kereste olarak sınıflandırılır. Yük dayanımı yüksektir ve yanal kuvvete direnç kabiliyetleri sağlamaktadır. CLT deprem olayı sırasında daha büyük bir atalet kuvveti oluşturur. Sismik bir olay sırasında dikey ve yanal yüklere karşı büyük direnç ve enerji yayılımı sağlamaktadır (Nguyen, 2017). CLT üzerinde yapılan deneysel testler, 1995'teki Kobe depremi gibi olumlu sonuçlar ve gerçek hayat olayları, bu binaların hayati olarak ciddi kuvvetlere dayanabileceğini göstermiştir (Ceccotti vd. 2013).

Japonya'da yapılan 7 katlı CLT bina simülasyonunda dünyanın en büyük sallanma masası deneyinde Richter ölçeğinde 7.2 büyüklüğünde şiddete maruz bırakılmıştır. Deprem masası beş silindir tarafından çalkalanmış x ve y yönlerinde sırasıyla, 14 silindir dikey olarak kullanılmıştır (Şekil 31). Test edilen örnek bina 7,50 m genişlik, 13,50 m derinlik ve 23,50 m yüksekliğinde tamamen CLT'den yapılmıştır. Sonuç olarak bina kalıcı deformasyon olmadan gelen yüklere dayanmakta ve deneyden sonra bile tamamen kullanılabilir (Mestek, 2010).



Şekil 31. Test tablası (a), x ve y yönlerinde uygulanan kuvvet (b)

1.6.6.3. CLT Uygulama Alanları

CLT büyük ölçekli ve birbirlerine dik açı ile yönlendirilmiş kerestelerin yapıştırılıp preslenmesiyle elde edilen ve çok katlı kereste katmanlarından oluşan ahşap paneldir. Paneller oldukça yüksek dayanıma, rijitliğe ve boyutsal stabiliteye sahip elemanlar olmasının yanında tasarım esnekliğine ve düşük çevresel etkilere sahip duvar elemanıdır. Bu nedenlerden dolayı CLT çok katlı binalarda çatı, döşeme ve duvar paneli olarak kullanılabilmekte ve diğer geleneksel yapı malzemelerine alternatif bir ürün olmaktadır (APA, 2015). Ayrıca, ofis binaları, yüksek katlı apartman, okul, köprü uygulamaları, sergi mekanları, spor salonu, tiyatro, ticari binalar ve rüzgâr türbün kuleleri olarak çeşitli yapı sistemlerinde kullanılmaktadır (Laguarda Mallo, 2017, Asdrubali vd., 2017) (Şekil 32).



Şekil 32. CLT yapı elemanları çeşitleri (Mayo, 2016)

Britanya Kolumbia Üniversitesi'nin yeryüzü bilimleri binası, Dünya, Okyanus ve Atmosfer Bölümü, İstatistik Bölümü, Pasifik Matematik Bilimleri Enstitüsü ve Dünya Pasifik Müzesi'ne ev sahipliği yapmaktadır. Dünyada türünün ilk örneklerinden biri olan serbest yüzer konsollu masif ahşap merdivene sahiptir. 2012 yılında yapımı tamamlanmış olan fakülte binası, betonarme kadar güçlü ahşap yapı malzemesi CLT kullanılarak inşa edilmiştir. Yaklaşık 1.300 m³'den fazla CLT kullanılarak yapımı tamamlanmıştır (URL-9) (Şekil 33).



Şekil 33. Yeryüzü Bilimleri binası, Kanada (URL-9)

İngiltere'nin Kuzey Batı bölgesi Oldham' da bulunan Maggie's Kanserle Mücadele Merkezi ahşabın huzur veren sağlıklı doğasından ilham alınarak ahşap yapı malzemesi CLT ile inşa edilmiştir. Amerikan lale ağacından inşa edilen bina, ince sütunlar üzerinde desteklenir ve daha düşük seviyeli bir bahçenin üzerinde asılı kalır. Bu tenha ortamda ağaçlar ve diğer bitki örtüsüyle çerçevelenmiş 'açık hava odaları' sunulmaktadır. Yapının merkezi olarak konumlandırılmış asimetrik bir delik, tek bir huş ağacının yapıyı delmesini sağlar ve üst katlardan doğal manzaraların görülmesini sağlamaktadır (URL-10) (Şekil 34).



Şekil 34. Maggie's kanserle mücadele merkezi, İngiltere (URL-10)

2016 Londra Tasarım Festivali kapsamında yapılan gülümseme adlı proje 3.5 m yüksekliğinde, 4.5 m genişliğinde ve 34 m uzunluğunda kavisli, boru şeklinde CLT' den yapılmıştır. Çift konsolunun yanı sıra, ana giriş kapısı tam merkeze, gerilmelerin en yüksek olduğu yere konulmuştur. Özünde, 15 m yüksekliğinde iki dirseği bulunmaktadır ve yapı

dikey olarak çevrildiğinde ve bir ucuna 60 ziyaretçi ağırlığını eklediğinde, beş katlı bir binanın stabilize çekirdeğine eşdeğerdir. Lale ağacından yapılmış olan Gülücük, kavisli dikdörtgen şeklinde bir borudur ve dünyanın ilk sert ağaçtan yapılmış olan mega borusudur (URL-11) (Şekil 35).



Şekil 35. Mega Tüp, “Gülümseme”, Londra (URL-11)

Avusturya’ da yapılan tarım merkezi projesinde, dikdörtgen ahşap direklerden yapılmış dikey olarak yapılandırılmış bir ahşap cephe, sağlam yapıyı kaplayarak derinlik hissi vermektedir. Tarım merkezine, iki katlı bir fuaye ile erişilmektedir. Federal Makine Sendikası zemin katta ve Ziraat Odası birinci katta bulunmaktadır. Bu bina için 169 m³ CLT kullanılmıştır (Stone Enso, 2018) (Şekil 36).



Şekil 36. Tarım merkezi Maishofen, Avusturya (Stone Enso, 2018)

Londra Tasarım festivali için üretilen ‘Sonsuz Merdiven’ 11.4 ton yıkanmamış, sürdürülebilir lale ağacından elde edilen CLT yapısıdır. ‘Sonsuzluk merdiveni’ içindeki

tüm panellerin birleşik uzunluğu 436 m olup, toplam 187 adımdan oluşmaktadır. En yüksek noktaya kadar en kısa yol 48 basamaktan oluşan bir yürüyüş alanı oluşturmaktadır. Yapının bir seferde 93 kişiye kadar kullanılabileceği tahmin edilmektedir (URL-12) (Şekil 37).



Şekil 37. CLT'den üretilmiş merdiven “Sonsuz merdiveni” (URL-12)

Avustralya, Sydney'deki ilk ahşap ofis binası CLT ile inşa edilmiştir. Ofis binası olarak adlandırılan International House Sydney, prestijli Athenaenm ve Avrupa Uluslararası Mimarlık Tasarım Merkezi ödölünü kazanmıştır. Lendlease tarafından inşa edilmiş ve yaklaşık 8000 m²'lik 7 katlı ofisin ana yapısal bileşenleri, 2000 m³'den fazla CLT' den yapılmıştır (URL-13) (Şekil 38).



Şekil 38. Ofis binası, Avustralya (URL-13)

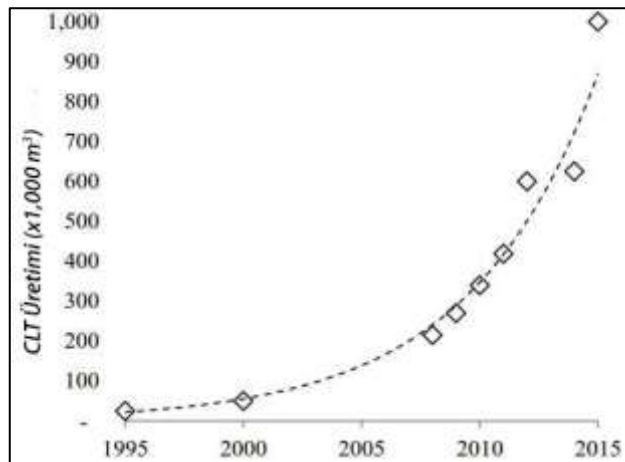
Kopenhag'da yapılan Parish Center, projenin karbon ayak izini azaltmak için öncelikle çapraz lamine ahşaptan yapılmış çağdaş bir topluluk merkezi ve ibadet yeridir.

Yenilenebilir ve dayanıklı özellikleri için seçilen CLT, iç mekâna sıcaklık hissi vermek için bina boyunca açıkta bırakılmıştır. Proje, daha önce toplumdan kopmuş hisseden şehir meydanı ve kilise arasında yeni bir bağlantı sağlarken bir toplama alanı görevi görmektedir (Şekil 39).



Şekil 39. Toplum merkezi, Kopenhag (Wank, 2018)

CLT 20 yıldan fazla bir süredir Avrupa'da çok katlı yapılar için gelişim gösteren popüler bir malzemedir. Son 20 yılda üretim ve kullanımına ilişkin artışı Şekil 40' da görülmektedir. Ayrıca Kuzey Amerika'da CLT' nin ivme kazanması, kapsamlı araştırmalar ile bina kodlarında uluslararası kabul ve düzenlemelerin geliştirilmesi, yenilikçi tasarımlar ve yüksek katlı CLT binalarının sayılarının artması, alternatif malzemeler ile karşılaştırıldığında büyük avantaj sağlamaktadır (Gijzen, 2017).



Şekil 40. Son 20 yılda CLT üretimi ve kullanımındaki artış (Mohammad, 2013)

CLT' nin dünyadaki gelişiminin yanında, ülkemizde de hızla artan ve çeşitlenen uygulama alanına sahiptir. Türkiye'de gün geçtikçe üretimi artmakta ve uygulama alanları çeşitlenmektedir.

İstanbul Beykoz' da 2017 yılında yapımı tamamlanan Riva evi, tek katlı konut olarak tasarlanmıştır. Ahşap yapım sistemlerinin işlem detaylarının yanında, CLT yapı elemanları çatı, döşeme, duvar ve kiriş farklı bir işleme ihtiyaç duymadan direk uygulama imkânı sağladığı için cazip bir alternatif oluşturup, yapım sisteminde tercih edilmiştir. CLT paneller istenilen ebatlarda üretilerek, statik, elektrik, tesisat ve mekanik gibi sistem detayları ve tüm parçalar özel olarak tasarlanmıştır (Şekil 41).



Şekil 41. Riva evi tek katlı konut, İstanbul (URL-15)

Rixos Tekirova oteli CLT sistem ile 3 kat olarak inşaa edilmiş olup, 2 bloktan ve her blokta 13 odadan oluşmaktadır. Blokların oturma alanı 709 m²'dir (Şekil 42).



Şekil 42. Rixos Tekirova otel, Antalya (URL-16)

Bursa’da uygulamaya geçirilen dağ evi projesi CLT yapı malzemesi kullanılarak üretilmiştir. Proje Yalova’da bulunan fabrikada imal edilip şantiye ortamında montajı tamamlanmıştır (Şekil 43).



Şekil 43. Dağ evi, Bursa (URL-17)

1.6.6.4. CLT Kullanılarak Yapılan Yüksek Katlı Ahşap Binalar

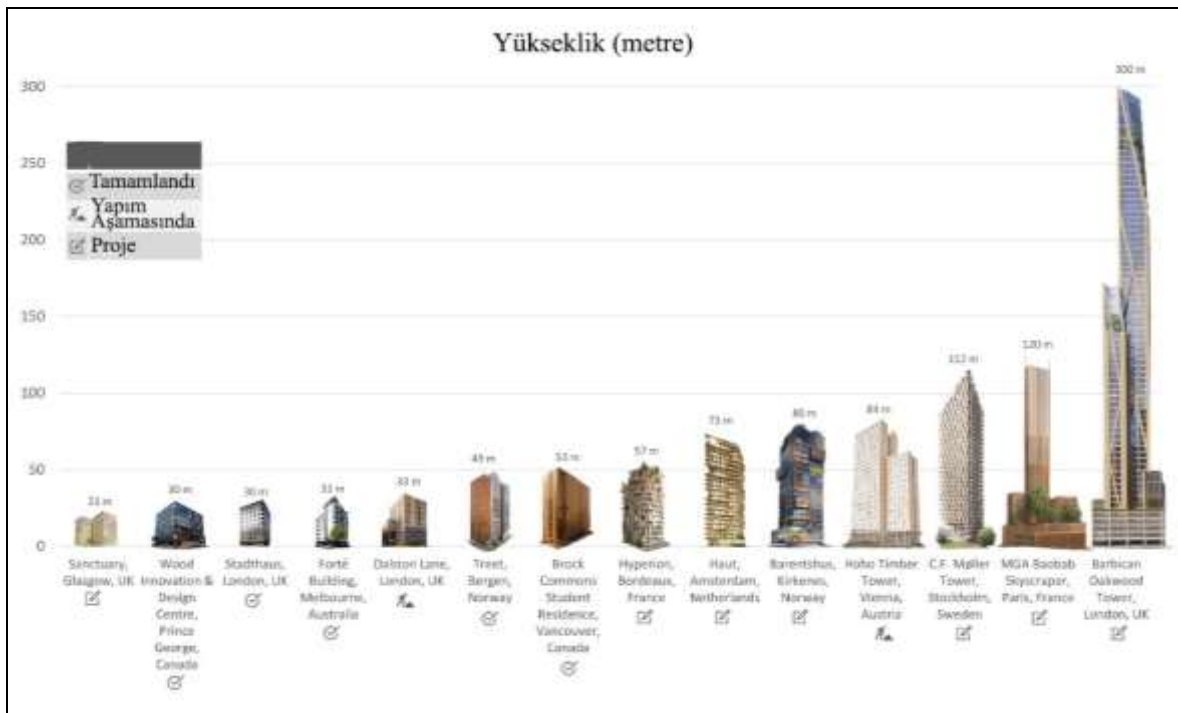
Ağaçlar ve ağaçtan üretilen ürünler, dünyadaki toplumlar tarafından binlerce yıldır kullanılmaktadır. Tamamen veya kısmen ahşaptan yapılan yüksek binaların çağdaş olarak inşası, daha önce elde edilemeyen bir ölçekte ahşapla inşa etme potansiyeline sahiptir. Ahşap, yenilenebilir, kolayca geri dönüştürülebilir ve karbondioksit depolayabilen doğal bir malzeme olduğundan, yüksek ahşap binaları sürdürülebilirliğe cevap verme potansiyeli olan bir çözüm haline getirmektedir. Kentsel yoğunluğunun sürekli artması, yüksek mukavemet-ağırlık oranı, estetik görünüm ve inşaat sektöründe yüksek katlı binalar için sürdürülebilir bir profil arayışının sonucu olarak çapraz lamine ahşap kullanımına olan ilgi artmıştır (Van de Kuilen vd., 2010; Silva vd., 2014; Ramage, 2017; Fleming, 2014). Geleneksel ahşap çerçeve konstrüksiyonunda mevcut yükseklik sınırlamalarını büyük ölçüde aşan çok katlı binalar için CLT uygun bir yapı ürünü olmasının yanında, yeşil bina inşaatı için iyi bir malzemedir (Ritter vd., 2011).

Bu alandaki bir başka gelişme, karma yapıların geliştirilmesidir. CLT hızla gelişen şehirlerde alternatif olarak kullanılmasının yanında beton ve çelik gibi yapı malzemeleriyle entegre bir şekilde çalışabilmektedir. Prefabrik olarak fabrikada üretilip, şantiyedeki hızlı montajı ahşap malzemenin yüksek gökdelen yapımına olanak sağlar (Van de Kuilen vd., 2010). Ayrıca CLT / glulam hibrit yapı sistemi ‘Kentsel Kereste (UT)’ sistemi olarak adlandırılan, hedeflenebilen daha uzun ahşap binaları desteklemektedir. Bu durum görsel

mimari için daha fazla uzamsal esneklik ve daha fazla yönlülük sağlayan yapısal çözümler ifade etmektedir (Silva, 2013).

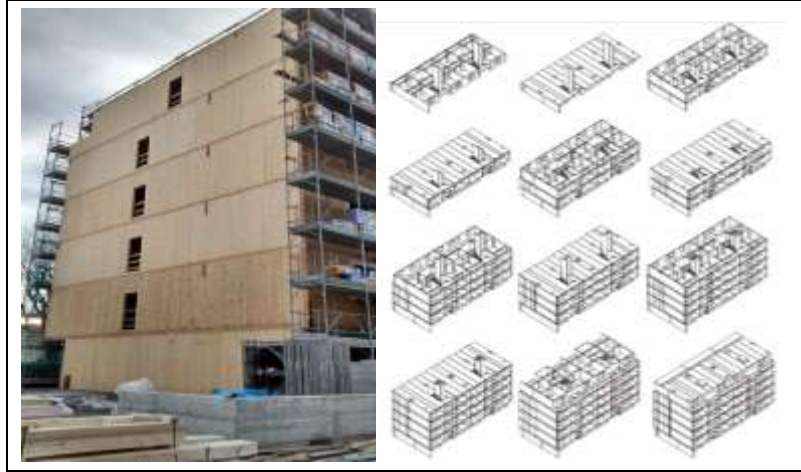
Dünya çapında büyük rağbet gören CLT çok katlı binaların yanında tek katlı evler, ofis ve yönetim binaları, salon sistemleri ve köprü yapımında da kullanılmaktadır (Ringhofer ve Schickhofer, 2013). Ahşaptan yapılmış yüksek katlı konut binalarının ve iş merkezlerinin inşası, Amerika ve Avrupa ülkelerinde artan üneyle umut vericidir (Slavin, 2019).

Şekil 44’de CLT ile yapılmış bazı binalar ve yükseklikleri verilmektedir.



Şekil 44. CLT ile yapılmış bazı binaların yüksekliklerine göre sıralanması (URL-18)

İtalya’da, 2016 yılında yapımı tamamlanan 6 katlı yapının konumu dikkate alındığında şantiye alanı Floransa’nın yoğun bir merkezi bölgesindedir. İnşaat süresindeki CLT montaj hızından kaynaklanan tasarruflar günlük şehir hayatında kolaylık sağlamış ve 71 günde inşaat tamamlanmıştır. Uygulamada CLT’ nin ağaç türü olarak Ladin ve Çam ağacı kullanılmıştır. Yapı, glulam ve çelik kirişlerin kullanıldığı entegre bir sistemden oluşmaktadır. Kerestenin karbondioksit depolama kapasitesi göz önüne alındığında kullanılan CLT miktarıyla ciddi CO₂ tasarrufu sağlanmıştır (Vassallo vd., 2018) (Şekil 45).



Şekil 45. CLT' li 6 katlı binanın inşaat aşamaları (Vassallo vd., 2018).

Ahşap İnovasyon ve Tasarım Merkezi (WIDC), 2014 yılında yapılan 29,5 metre yüksekliğindeki Kuzey Amerika'nın en yüksek ahşap yapısıdır. Mimar Michael Green'in tasarladığı binada konferans salonu, toplanma salonu, sınıf, laboratuvar ve ofis alanı bulunmaktadır. Proje, Kuzey Amerika'da ilk kez glulam kolonlar ve kirişler, çapraz lamine ahşap (CLT) zemin panelleri ve perde duvarlar gibi ahşap ürünlerle, gelişmiş bina yöntemlerinin kullanıldığı bir sistemdir. Binanın sekiz katı vardır (altı kat, artı zemin kat asma kat ve çatı katı mekanik çatı katı) ve Douglas göknar kullanılmıştır. WIDC binası çok sayıda sürdürülebilir tasarım stratejileri ile LEED (Enerji ve Çevresel Tasarım) Altın sertifikasya sahiptir (Pirvu vd., 2016) (Şekil 46).



Şekil 46. Ahşap İnovasyon ve Tasarım Merkezi (Pirvu vd., 2016)

İngiltere'de CLT' nin tanıtımına öncülük etmiş ve kullanımında daha geniş bir uluslararası harekete neden olan Murray Grove binası 9 katlı bir kuledir ve yapımı 2009'da tamamlanmıştır. Bu yapı yüksek kütleli ahşap yapıların öncüsü olarak görülür. Tamamen prefabrik masif ahşaptan, yük taşıyıcı duvarlar, döşeme levhaları, merdiven ve asansör göbeklerine kadar inşa edilen ilk uzun kentsel konut projesidir ve 49 hafta içinde tamamlanmıştır. Bu bina CLT 'nin yüksek yoğunluklu konutlarda beton ve çelik için finansal olarak uygun, çevresel açıdan sürdürülebilir bir alternatif olma potansiyeline sahip olduğunu gösteriştir (URL-19) (Şekil 47).



Şekil 47. Murray Grove binası, İngiltere (URL-19)

2017 yılında yapılmış Dalston Works binası 10 katlıdır ve Londra'da yapılmış en yüksek CLT binası olarak kabul edilir. Londra'nın doğal ve sağlıklı bir yaşam ortamı sağlayan yüksek kaliteli, yüksek yoğunluklu konut ihtiyacını ele almanın yanı sıra, ahşap teknolojisinin çığır açan bu kullanımı hem malzeme üretimi hem de saha süresi açısından binanın karbon ayak izini önemli ölçüde azaltmıştır (URL-20) (Şekil 48).



Şekil 48. Dalston Works Binası, Londra (URL-20)

Voll Arkitekter tarafından tasarlanan Mjøsa Kulesi, 2017 yılında inşasına başlanıp Mart 2019'da tamamlanmıştır. Mimar Moelven Limtre tarafından yapılan Mjøsa Kulesi, Norveç'in Brumunddal şehrinde bulunup, 18 katlı 85,4 metre yüksekliğindedir. Otel, özel evler ve ofis alanı içeren binada Norveç glulam ve çapraz lamine kerestenin (CLT) yanı sıra, Moelven Limtre tarafından üretilen zemin elemanlarında komşu Finlandiya'dan Kerto LVL ürünlerini de kullanılmaktadır (URL-21) (Şekil 49).



Şekil 49. Mjøsa Kulesi, Norveç (URL-21)

Forte Living, CLT yapılmış 9 katlı, 23 daireli ve 32.2m yüksekliğinde bir apartman binasıdır. CLT ile yapılan ilk Avustralya binası olup 759 CLT panel veya 485 ton ahşaptan oluşmaktadır. Kullanılan CLT Avrupa ladin panelinden oluşmaktadır ve Avusturya'da yetiştirilmiştir. CO₂ depolama ve enerji tasarrufu sağlayan bina sürdürülebilir yapı olarak nitelendirilmektedir (Lend Lease, 2013) (Şekil 50).



Şekil 50. Forte binası, Avusturalya (Lend Lease, 2013)

Şekil 51’ de gösterilen Norveç’in Bergen Merkezindeki Treet binası, 14 katlı, 52.8 m yüksekliğinde olup, 2015’ de tamamlanmıştır. Glulam sütunları ve CLT kullanılarak inşa edilen konut binası betonun üstünlüğüne meydan okuyarak şehir silüetinden yer edinmiştir. En uzun ahşap bina unvanını Melbourne’ de Forte binasından almıştır (URL-22; Abrahamsen vd., 2014).



Şekil 51. Treet binası, Norveç (URL-22)

Vancouver'daki British Columbia Üniversitesi'nde (UBC) yakın zamanda tamamlanan Kanada'daki öğrenci yurdu binası olan Brock Commons Tallwood, CLT ile inşa edilmiştir. Özenli planlama, inşaat ve tasarım süreçlerinin etkin entegrasyonu sayesinde, Brock Commons prefabrik bileşenler montaja hazır olduktan sadece 70 gün içinde tamamlanmıştır (URL-23) (Şekil 52).



Şekil 52. Kanada' da bulunan öğrenci yurdu (URL-23).

Avusturya, Viyana'da 84 metrelik, 24 katlı 'HoHo Kulesi' in inşaatı yaklaşık bir yıldır devam etmektedir. Yapının yaklaşık yüzde 76'sı ahşaptan inşa edilecek hibrit bir yapıdır. Tamamlandığında otel, daire, restoran, sağlıklı yaşam merkezi ve ofis birimleri bünyesinde barındıracaktır (URL-24) (Şekil 53).



Şekil 53. Hoho kulesi, Viyana (URL-24)

Tokyo’da yapılması planlanan 70 katlı gökdelen tamamlandığında dünyanın en yüksek CLT yapısı olarak literatüre girecektir ve 2041’de tamamlanacağını söylenmektedir. 70 katlı kule %90 ahşap malzemeden yapılmış hibrit bir yapıdır. Fakat sismik davranışlara yönelik çelik titreşim kontrol çerçevesi uygulanmaktadır. Bu uygulama depremlerin sık olduğu bu şehirde önemli bir özelliktir (URL-25) (Şekil 54).



Şekil 54. CLT malzemeli gökdelen, Tokyo (URL-25)

Şekil 55’ de gösterilen Oakwood Kulesi, PLP Mimarlık ve Cambridge Üniversitesi Mimarlık Bölümü tarafından önerilen ortak bir projedir. İnşaat için onay verilirse, 80 katlı ve 300 m yüksekliğindeki kule Londra’nın ilk ahşap gökdeleni olacaktır (Ramage vd., 2017).



Şekil 55. Londra ’da yapılması planlanan gökdelen (Ramage vd., 2017)

Dünyanın dört bir yanında yüksek ahşap binaların inşa edilme tarihi çok eskilere dayanmaktadır. 1400 yıl önce yapılan Japonya'daki pagodalar, yüksek yağışlı iklim ortamlarında bulunmasına rağmen, ahşaptan 19 kat inşa edilmiştir ve hala ayakta kalmayı başarmıştır. Yüksek katlı ahşap binalar dünyadaki mevcut yenilikler yaratma yarışını tetiklemiştir. Londra' da 9 katlı Stadthaus binası, piyasada ne kadar rekabetçi bir sistem olabileceğini göstermektedir. Norveç'te 17 katlı bina ve Avusturya'da 30 katlı hibrit ahşap ve betondan yapılan bina bulunmaktadır. Her bir bina tasarımı, farklı bir yapısal yaklaşım benimsemiş ve yeni pazarın genişlemesinde önemli bir noktaya gelmiştir (Green vd., 2012).

Çok katlı ahşap evlerin yapım teknolojisi, nüfusun yaşam kalitesini iyileştirmek için umut verici bir bileşen olup, ekonomik bakış açısı ve çevresel güvenlik gerekliliklerinin iyileştirilmesine ve uygunluğuna katkıda bulunur. Bu sektördeki en etkili yapı tipi CLT panellerin yapımıdır. Asgari inşaat süresi ve çevre dostu olması bu teknolojinin kullanılabilirliği sağlamaktadır. Buna bağlı olarak nüfusun yaşam koşullarını ve dolayısıyla genel çevresel koşulları iyileştirecektir. Çevrenin ekolojik durumunu iyileştirmek için çok katlı ahşap yapıların gün geçtikçe üretilmesi tercih edilmektedir (Slavin, 2019).

1.6.6.5. CLT Üretiminde Kullanılan Ağaç Türleri

Ahşap, yüzyıllardır başarıyla yapı malzemesi olarak kullanılan doğal bir malzemedir. Doğal bir malzeme olarak odun anizotropik ve homojen değildir; yapısal özellikleri ve ağacın hangi bölümünden geldiğine (örneğin, öz odun) bağlı olarak değişebilir. Ahşap, özelliklerinde çoğu insan yapımı yapı malzemesinden daha büyük çeşitlilik gösterir. Varyasyonlar genellikle farklı ağaç türleri arasında aynı türlerin içinde olduğundan daha büyüktür. Örneğin, Douglas göknarı genellikle güney çam türlerine kıyasla su ve buhar hareketine karşı daha düşük yoğunluğa ve daha düşük geçirgenliğe (yüksek direnç) sahiptir. Kuzey Amerika'da CLT imalatının yanı sıra inşaat için çoğunlukla kullanılan türler olan yumuşak ağaçlar genellikle sert ağaçlardan daha düşük türler arası çeşitliliklere sahiptir (Glass, 2013).

CLT üretiminde ağırlıklı tercih edilen hammadde olarak odun türlerinden başta ladin olmak üzere göknar, çam, karaçam, İsviçre çamı ve Douglas göknarları kullanılmaktadır. Kullanım alanı olarak yük taşıma, dekoratif, kaplama ve masif ahşap elemanlarda duvar, çatı ve tavan olarak çeşitlilik göstermektedir. İnşaatta müstakil evler, çok katlı konut,

kamu, yönetim, endüstriyel ve ticari binalarda, köprü ve ek katlar eklemek için geniş bir yelpazede kullanım alanı mevcuttur (Horx-Strathern, 2017).

Ekoloji ve sağlıklı yaşam için CLT gün geçtikçe gelişmektedir. Avrupa’da yumuşak ağaçlardan elde edilen CLT için büyük bir oranda keresteyi kurutmak için yenilenebilir enerji kullanılmaktadır. İşleme için gereken enerji miktarı, iyi işlenebilirlik nedeniyle çok düşüktür. Bu nedenle çapraz lamine kereste mükemmel bir ekolojik malzemedir. Doğal ve sağlıklı yapısal malzemelerin modern projeler için önemli gereklilikleri vardır. Çapraz lamine ahşap kereste çok düşük sıcaklıklarda kurutulmaktadır. Nemi emmek, tamponlama özelliği ve oda ikliminde temizleme yapmasından dolayı sağlıklı bir malzemedir (Mestek vd., 2011). Literatürde yapılan çalışmalara göre CLT üretiminde kullanılan farklı ağaç türleri mevcuttur.

Okalıptüs, Güney Çin'in en önemli ağaç türlerinden biridir. Kâğıt hamuru ve kâğıt endüstrisi için azalan lif talepleri nedeniyle, okalıptüs gibi sert ağaç yetiştiriciliği alternatif uygulamalarda geliştirilmektedir. Liao vd., (2017) çalışmasında Okalıptüs ağacından üç katmanlı CLT üretiminin uygulanabilirliği değerlendirilmiş ve üretilen CLT mekanik özelliklerinin, ticari olarak temin edilebilen yumuşak odun CLT değerleriyle aynı olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar hızlı büyüyen küçük çaplı okalıptüs keresteden üretilen CLT panellerin yapısal uygulamalar için umut verici olduğunu göstermektedir. Çalışmada CLT üretimi için en uygun baskı parametresi olarak okalıptüs kereste ile tek bileşenli poliüretan yapıştırıcı (PURBOND HB S709) kullanıldığını önerilmektedir.

Chen vd., (2019) Washington’un batısında üretilen CLT ile bölgesel bazda yaptıkları yaşam döngüsü çalışmasına göre; CLT panellerinin çevresel etkileri, malzeme lojistiğine ve ahşap türlerinin karışımına bağlı olarak önemli ölçüde değişebilmektedir. Çalışma sonucunda kereste tedarikçilerinin yerinin, CLT üretim tesislerine ve ahşap türlerinin karışımına göre, CLT üretiminin çevresel etkilerinin belirlenmesinde önemli faktörler olduğu gözlemlenmiştir. Ek olarak, kereste için kullanılan odun türlerinin douglas-gökmar gibi daha ağır bir türden Sitka ladin gibi daha hafif bir türe değişmesi CLT ile küresel ısınma potansiyelinde (GWP) önemli bir azalma sağlayabilmektedir. CLT üretim tesislerinin büyüklüğü ve konumu göz önüne alındığında, üreticilerin keresteyi yerel olarak tedarik etmesi ve daha hafif ahşap türlerinin kullanılması CLT panellerinin genel GWP 'sinde %14'e kadar azalma sağlayabilmektedir.

Batı baldıran otu ağacı, Kanada'nın British Columbia sahil ormanlarında yaygın olarak yetiştirilen ana ürün türlerinden biridir. Piyasada yaygın olarak kullanılan ladin,

çam, göknar ve diğer türlerle karşılaştırıldığında, batı baldıranı ucuz olma ve yüksek eğilme mukavemeti gibi avantajlarına sahiptir. Ahşap kaynakları olmayan ve ithalata dayanan Çin gibi bir ülke için daha uygundur. Bununla birlikte, inşaat endüstrisi yerine, kâğıt ve kontrplak gibi düşük katma değerli endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır. CLT Avrupa ve Kuzey Amerika'da yaygın olarak kullanılmasına rağmen, CLT üreticileri şu anda CLT üretiminde Kanada spesifikasyonları, Avrupa kızılçamı ve Kuzey Amerika Douglas göknar gibi birkaç ağaç türüyle sınırlıdır (Xie, 2019).

Wang vd., (2018) yaptıkları çalışmada Çin göknarından yapılan CLT' nin farklı kalınlıklarının mekanik performans üzerindeki etkisinin araştırılmasını, mevcut CLT statik analiz teorisi kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada ek olarak Güney Çin göknarının hızlı büyüme ve yüksek verim özelliklerine sahip önemli bir ağaç türü olup, zayıf bir kuvvete, nem emilimine, boyutsal dengesizliğe ve uygulamalarını sınırlayan başka kusurlara sahip olduğu belirtilmiştir. Çin göknar çoğunlukla dekorasyon, mobilya ve diğer küçük uygulamalar için kullanılmaktadır.

Barreto'nun (2019) çalışmasında, odun ve bambudan üretilen çapraz lamine ahşap bambuların yapısal performansı değerlendirilmiştir. Küçük boyutlu çam parçaları, düşük katma değer ve kullanım oranlarını göz önünde bulundurarak çalışmaya dahil edilmiştir. Çalışmada, melamin-üre-formaldehit (MUF), izosiyanat polimerik emülsiyon (IPE) ve hint yağı bazlı reçineden oluşan üç farklı (COR) yapıştırıcının yapışma kalitesini değerlendirmek için küçük numunelerin yapıştırma testleri yapılmıştır. Bambu ve ahşap arasındaki grenlerde paralel kayma gerilme mukavemeti için MUF reçinesi en iyi performansı göstermiştir. Ön yapıştırma testinden sonra, MUF yapıştırıcısı ile üç katmanlı bir konfigürasyonda, sertlik ve kopma dayanımı değerleri ANSI / APA PGR 320 (2012) standardında belirtilenlerin üstünde bir sonuç elde edilmiştir.

Çapraz lamine ahşap, ahşap sektöründe güçlü bir rakiptir. Yerel kereste kaynaklarından kullanılan türlerin tüm bölgelerden faydalanarak sürdürülebilir şekilde dünyada kullanılması beklenmektedir (Brandner vd, 2016). CLT katmanlar halinde monte edilmiş, panel şeklinde tasarlanmış ahşap bir üründür ve çoğunlukla yumuşak ağaçlardan elde edilir (Steiger, 2008). Çam, Karaçam, Gümüş Göknar ve İsviçre Çamında Stora Enso CLT ürün portföyüne giriş yapan dört yeni üründür. Yeni özel yüzeyler, 20 mm görünüşte ek katman olarak uygulanarak kullanıcıya daha fazla ağaç türü seçeneği sunmaktadır (Store Enso, 2015).

1.7. Ahşap Malzemenin Özellikleri

Ahşap malzemenin kullanım amacı ve cinsi farklı olsa da benzer ürünler dahilinde fiziksel ve mekanik özelliklerinin bilinmesi gerekir. Uygulamada taşıyıcı olarak kullanılacaksa olumlu ve zararlı yönleri araştırılmalıdır. Yapılarda kullanılacak ağaç türlerinin ortak özellikleri nem, sıcaklık, dış etken ve dayanım etkilerine karşı sert ve mukavemetli olmalarıdır. Bahsedilen özellikleri sağlayan ağaçlardan başta kestane olmak üzere ladin, karaağaç, kayın, dış budak, öncelikli tercih edilen ağaç türleridir. Kullanım alanı geniş olan ahşap, yapı elemanı olarak duvarda, döşemede, çatılarda, doğrama ve donatıda uygulanmaktadır (Sümerkan, 1990).

Ahşap hücreli ve lifli yapısından dolayı hafif ve mukavemeti yüksek bir malzemedir. Farklı açılardan etkilenen gerilmeler için lif özelliklerine göre değişen değerler bulunabilmektedir. Beraberinde gerilme-deformasyon değerleri, liflerin hareketleri doğrultusunda bir zamana ihtiyacı olduğu için diğer yapı malzemelerden büyük farklılıklar gösterir. Bundan dolayı çelik ve beton gibi yapı malzemelerinde oluşan ani kopma ve çökmeler ahşap malzemede görülmemektedir (Eriç, 2010).

Çalışma alanımız olarak seçilen Doğu Karadeniz bölgesi yapılarında öncelikli olarak suya, neme, yanmaya ve haşerelere karşı dayanıklı olan kestane ağacı kullanıldığı görülmektedir. Kestane ağacının dışında pelit, çam, göknar ve kayın ağaçları da kestane ağacına ulaşamadığı zaman tercih edilmektedir. Kızılağaç bölgede yetişmesine rağmen çok az kullanılmaktadır. Fakat kurutulduktan sonra dış hava koşullarına ve suya oldukça dayanıklıdır. Karadeniz mimarisini ahşap malzemeyle birleşerek meydana getiren ve önemli bir yere sahip taş malzeme, dere yataklarında fazlaca bulunmakta, erişimi kolay ve uygulanabilirdir (Pınar, 2018).

Geleneksel ahşap yapılar günümüze kadar uzanan yolculuğunda kültürel mirasımızı oluşturup, kendine özgü eşsiz tarzını koruması ve gelecekte devamı sağlanması gerekmektedir. Ahşap yapıların geleceğe aktarılmasında yapının fiziksel ve mekanik özellikleri bilinmeli ve malzeme kaynaklı sorunlar üzerine önlemler alınmalıdır (Ekinci ve Arpacıoğlu, 2004).

1.7.1. Ahşap Malzemenin Mekanik Özellikleri

Ahşabın mekanik özellikleri uygulanan dış kuvvetlere dayanma kabiliyetidir. Dış kuvvet ile, herhangi bir şekilde deforme olma eğiliminde olan belirli bir malzeme parçası dışındaki herhangi bir kuvvet kastedilmektedir. Ahşabın yapısal ve inşaat amaçlı kullanımının yanında mobilyaların, araçların, aletlerin ve alet kulplarının birkaç yaygın örnek olduğu sayısız kullanım alanları vardır. Bu özellikler hakkında bilgi ahşabın pratikte çalıştırıldığı deneyler yoluyla veya laboratuvarındaki özel test cihazları vasıtasıyla elde edilir. Böyle çalışmaların amacı, eğilme direnci, elastikiyet modülü, basınç direnci gibi değerler bulmaktır. Numune ürün ve benzer gibi görünen farklı ahşap numunelerinin mukavemetindeki büyük değişkenlik nedeniyle, testlerin sonuçlarını etkileyebilecek tüm yabancı faktörlerin mümkün olduğunca ortadan kaldırılması önemlidir. Ahşabın mekanik özellikleri direnç, elastikiyet ve sertlik olarak değerlendirilmektedir (Samuel, 1914; Arntzen ve Charles, 1994).

1.7.1.1. Direnç Özellikleri

Ahşap malzemeye dışardan uygulanan kuvvet elastiklik seviyesinin üstüne çıktıkça gerilmeye bağlı olarak deformasyon artmaktadır. Kuvvete karşı koyma etkisi bittiğinde kırılma oluşur. Kırılma noktasındaki kuvvete kırılma yükü, birim alana düşen miktara direnç denir. Direnç özelliklerinin belirlenmesi için oluşturulan örneklerde ağaç malzeme lif yönlerine paralel alınmalı, öz odun örnekleri ise ayrı alınmalıdır. Yapılan deneyler sonucunda yıllık halka genişliği ve rutubet gösterilmeli, gövdeden alındıkları yükseklik ve öze mesafeleri belirtilmelidir. Gerçek boyutlu kullanımlarda yapılan direnç deneyleri sonucunda, karşılaştırma yapılabilmesi için küçük ebatlarda örnekler ile deneyler yapılmaktadır (Örs ve Keskin, 2001; Özsait, 1998; Berkel, 1970).

Direnç özellikleri kendi içinde basınç direnci, eğilme direnci, çekme direnci, makaslama (kayma) direnci, yarıma direnci ve dinamik eğilme (şok) direnci olarak ayrılmaktadır.

1.7.1.2. Elastikiyet Özellikleri

Elastikiyet modülü dış kuvvetlerin etkisi altında, şeklini korumak için zorlayan ve uygulanan kuvvet kaldırıldığında ilk haline geri dönebilmeyi sağlayan bir özelliktir. Gerilme ve deformasyon belirli bir noktaya kadar geçerli olarak kabul edilir ve doğru orantılı olarak hareket etmektedir. Bu noktaya elastikiyet sınırı denilmektedir. Elastikiyet sınırının sonrasında ise şekil değişmesi, kırılmanın artmasıyla birlikte gerilme ve deformasyon oranı bozulmaktadır. Bu noktadan sonra ahşap malzeme ilk haline ve hacmine geri dönemez ve şekil değişmesi oluşmaktadır. Yaş ahşap malzemeye kuvvet uygulandığında kırılma hemen gerçekleşmez ve malzeme biraz daha dayanır. Kuru ahşap ise en büyük yükle, kırılma yükü birbirine eşittir. Ahşap malzemede elastikiyet modülü arttıkça, ürünün sertliği büyümekte ve elastikliği azalmaktadır. Elastikiyet modülü ağacın lif yönlerine göre de değişmekte, paralel yönde daha büyük, dik yönde daha küçük olmaktadır (Uluata, 2011; Özsait, 1998; Bozkurt, 1966).

Ahşapta elastikiyet, sehim hesaplarında ve hiperstatik problemlerin çözümünde önemli bir yere sahip olmakla birlikte, elastikiyet sehim ile ters orantılı olup, ahşabın türüne ve lif yönlerine göre farklılık göstermektedir (Eren, 2000).

Ayata (1974) göre; yapısal ahşapta kuvvetin lifler doğrultusunda veya liflere dik doğrultuda olmasına ve ahşap cinsine bağlı olarak elastiklik modülleri aşağıdaki gibidir:

Çam yumuşak ve iğne yapraklı ağaçlarda lif doğrultusunda $100\ 000\text{kg/cm}^2$, liflere dik doğrultuda 3000 kg/cm^2 ,

Meşe, Kayın ve yapraklı ağaçlarda lif doğrultusunda $125\ 000\text{ kg/cm}^2$ liflere dik doğrultuda 6000 kg/cm^2 'dir.

1.7.2.3. Sertlik

Sertlik ağaç malzemenin içine girmeye çalışan cisme karşı gösterdiği direnç ve deformasyona direnmesidir. Malzemenin işlenmesi ve teknik açıdan önemlidir. Artan basınç altında ahşabın içine girmeye çalışan cisme karşı koyma, statik sertlik ve şok şeklinde iki tür dinamik sertlik vardır (Örs ve Keskin, 2001; Samuel, 1914).

Liflere dik doğrultuda sertlik fazladır. İlkbaharda dış ahşap, yaz ayındaki iç ahşaptan daha yumuşaktır. Rutubet artışıyla sertlik artarken, yoğunluk arttıkça sertlik azalır. Fakat rutubet yumuşak ağaçlarda sertliği artırırken, sert ağaçlarda sertliği düşürür (Günay, 2002).

Sertlik ağaç malzemenin dayanımıyla ilgili net bilgi vermezken ağacın işlenmesi ve aşınma karşısındaki dayanımı açısından önemlidir. Ağaçtaki nem miktarının sertlik için etkileri fazladır. Ağaçlar türlerine göre yaş ve kuru halde iken işlenme kolaylıkları değişebilir. Ağacın senelik halkalarının sertliği farklılık gösterir. Ağaçlar sertliklerine göre başlıca üç sınıfa ayrılabilir:

Sert ağaçlar: Akçağaç, meşe, kayın, karaağaç, ceviz, dışbudak vb., orta sert ağaçlar: Kara çam, kızıl ağaç, çam ağacı, kına ağacı ve yumuşak ağaçlar: Akgökmar, söğüt, kavak, ıhlamur, gökmar vb. şeklindedir (Güngör,1969 ve Özsait, 1998).

1.7.2. Ahşap Malzemenin Fiziksel Özellikleri

“Fizik, maddelerin iç özelliklerini bozulma yapmadan, hareket ve dış durumlarını değiştiren bilimdir. Fiziksel özellikler ise duyularımızla edindiğimiz, malzemenin yapısını etkilemeyen dış hareketlerini etkileyen özelliklerdir. Odunun fiziksel özellikleri; ısı özellikler, odun-su ilişkileri, ağırlık-hacim ilişkileri, akustik özellikler ve elektriksel özellikler olarak sınıflandırılmaktadır (Örs ve Keskin, 2001).

Fiziksel özellikler malzemenin dış etkilere karşı davranışlarıdır. Etkili olan özellikler, nem içeriği, boyutsal kararlılık, termal ve yangın özellikleri, yoğunluk, elektrik, kimyasal ve çürüme direnci olup, yapısal uygulamalarda kullanılan ahşabın performansını ve mukavemetini önemli ölçüde etkileyebilirler (Arntzen, 1994).

1.7.2.1. Isıl Özellikler

Ahşap malzeme havayla dolu hücre boşlukları ve selüloz yapısından dolayı ısı molekülleri hareket ederken enerjinin bir noktadan diğerine geçmesi yetersiz kaldığı için sıcak ve soğuğa karşı geçirimsizdir. Isıl iletkenlik değerleri lif yönü, yoğunluğu, kusurları, türü, nem miktarı gibi etkenlere bağlı olarak değişebilmektedir. Ahşap malzemede sıcaklık, rutubet ve su miktarındaki artış, ısı iletkenliği yükseltir (Özsait, 1998; Eriç, 2010; Günay, 2000). Lif yönlerine göre karşılaştırma yapılırsa, liflere dik yöndeki ısı iletimi daha fazladır. Ahşap ısıya maruz kaldığında ısı iletimi, çapları doğrultusundakine göre daha büyüktür (Güngör, 1969).

Ahşabın liflerine paralel yöndeki ısı genleşme katsayısı $0,5 \times 10^{-6}$ ile $0,2 \times 10^{-5}$ arasında, lifler dik iken ısı genleşme katsayısı $0,8 \times 10^{-5}$ ile $0,19 \times 10^{-4}$ arasındadır ve ölçüm hesaplarında değerlendirilmiyor olsa da ahşabın cinsine göre çeşitlilik göstermektedir. Isı iletkenliği düşük olan ahşap, çelik ve beton gibi malzemelerle karşılaştırıldığında üstün bir yalıtandır ve yalıtım malzemesi olarak da kullanılmaktadır. Sıcaklık değerlerine bağlı olarak boyutsal değişimler gerçekleşmese de su kaybı hacimsel daralmalara neden olabilmektedir (Şimşek, 2016).

1.7.2.2. Odun-Su İlişkisi

Ağaç yaş haldeyken bünyesinde fazlaca su bulundurup, kurtulduğunda ise su oranı oldukça azalmaktadır. Kurutulurken havanın nemini emerek hacmini artırır ve su oranı %25-35 oluncaya kadar hacim genişlemesi kendini gösterir. Su miktarı azalırken hacminde daralmalar oluşmaktadır. Ağacın yeni oluşan halkaları suyu daha hızlı atmaktadır. Etrafındaki nemi bünyesine çekerek, belirli sıcaklık ve basınç altında saklama özelliğine sahiptir. Ahşap ve hava arasındaki nem değişimi havanın bağıl nemi, sıcaklığına ve ahşabın içindeki mevcut su miktarına bağlıdır. Bu nem ilişkisinin ahşap özellikleri ve performansı üzerinde önemli bir etkisi vardır. Ahşabın mühendislik malzemesi olarak kullanılmasının zorluklarının çoğu, nem içeriğindeki değişikliklerden veya ahşap içindeki nem miktarından kaynaklanır (Türkmen, 1967; Bozkurt, 1982; Glass ve Zelinka, 2010). Suyun lif doğrultusunda yaptığı hareket, diğer yönlerden 10-15 kat daha hızlıdır. Çevrenin kuru ya da ıslak olması ahşabın dayanıklılığını etkiler. Bağıl nem değişimleri ahşabı genişletir veya büzer iken, fazla nem çekme gücünü azaltır (Günay, 2002).

Ahşap, gözeneklidir ve boşluklu yapıya sahip hücrelerinde rutubet serbesttir. Rutubet çoğunlukla sıfır olarak alınır veya %6-7 arasında hücre çeperindeki boşluklarda bulunur. %7- 15 arasında ise rutubet hücre çeperleri suyla dolmuştur ve buna lif doygunluğu noktası denir. Çeşitli ağaç türleri için lif doygunluğu aşağıdaki gibidir:

Çok yüksek (%32-35): İhlamur, Kavak, Kızılağaç, Huş, Kayın, Gürgen

Yüksek (%30-34): Ladin, Gökmar, Çam ve melez diri odunu

Orta (%24-28): Çam, Melez, Douglas göknarı

Düşük (%22-24): Kestane, Meşe, Dişbudak, Akasya, Ceviz (Özsait, 1998).

Ahşabın rutubet seviyesine gösterdiği dayanım, ısı iletim değeri, işlenme koşulları ve deformasyon gibi durumları etkilemektedir. Rutubet, bağıl nemle bağlantılı olarak yükselir

ve belirli sürede dengelenmektedir. Kaloriferle ısıtılan bir alanda rutubet oranı %4-8'e kadar düşerek kurur ve bu da çekmeye bağlı olarak çatlamlar meydana getirir. Isı uygulanmayan bir alanda rutubet %16-18'e yükselir. Dış ortam koşullarında bulunun ahşap değişken nem değerine sahip olduğu için sabit bir rutubet değeri yoktur. Hava koşullarına bağlı ıslanma sonucunda rutubet, ardından gelen kuru havadan dolayı çürümeye neden olmaz (Günay, 2002).

1.7.2.3. Ağırlık-Hacim İlişkisi

Ahşabın yoğunluğu, özellikleri ve kullanımı açısından bilgi veren önemli bir etkidir. Ağırlığı fazla odunun hafif odundan esnekliği, sertliği, dayanımı ve aşındırıcı etkilere karşı direnci daha fazladır. Kullanım alanına göre bazen odunun kolay işlenmesi, az çalışması ve yumuşaklığı istendiğinde bu özellikleri sağlayan hafif odun tercih edilmektedir. Odunun su miktarına bağlı olarak ağırlık ve hacmi değişmektedir. Bu yüzden ahşabın özgül kütlesi ve yoğunluğu verilen rutubet değerine göre belirtilmelidir (Örs ve Keskin, 2001).

1.7.2.4. Akustik Özellikler

Fizikten de bilindiği gibi ses cisimlerin titreşimleri ile meydana gelen dalgalarla oluşmaktadır. Saniyedeki titreşim sayısına frekans denmektedir. Kulağımız frekansı 16 ile 20 000 arasındaki titreşimleri ses halinde alabilir (Berkel, 1970).

Ahşap hafif bir malzeme olmasına rağmen sesi yutma özelliği çok iyidir. Ses yalıtımı, kütlesine ve cinsine göre değişiklik gösterebilmektedir. Ahşabın ses iletim hızı metallerinkine çok yakın olup, gaz ve sıvı malzemelerden daha hızlıdır. Ahşabın yapısal özellikleri ve hafif oluşu, sürtünmeyle oluşan ses enerji kaybını büyük oranda azaltmaktadır. Bu nedenle müzik enstrümanlarında genellikle ahşap malzeme tercih edilir (Özsait, 1998).

Ahşabın ses tutuculuğu farklı kullanım alanlarının değerlendirilmesi için önemlidir. Ahşabın yapısal özelliklerinden dolayı ses dağılımı ve boğulması, diğer maddelerin bulunduğu katı, sıvı ve gaz hale göre farklı olmaktadır. Ahşap ses tutucu yapısından diğer malzemelerden üstün özelliklere sahip olduğundan müzik aletleri yapımında, konser,

sinema, ders salonu ve tiyatro salonlarında akustik amaçlı duvar kaplamaları olmak üzere tavan ve döşemelerde kullanılmaktadır (Berkel, 1970).

Sesin iletim hızı, ağaç malzemenin cinsine, yapısına, rutubet miktarına, ısı seviyesine, özgül ağırlığına ve dalgaların frekanslarına göre farklılık göstermektedir. Ahşapta sesin tutuculuğunu artırmak için keçe, lif levha, kontrplak ve alternatif malzemeler kullanılabilmektedir (Berkel, 1970).

1.7.2.5. Elektriksel Özellikler

Elektriksel özellik doğru akım ve alternatif akım olarak iki başlıkta değerlendirilmektedir. Doğru akım özelliğine göre, çok kurutulmuş ağaçta elektrik iletilmez. Genellikle rutubet oranı arttıkça, lif doygunluğu altında odunun doğru akım direnci azalır. Elektrik iletimi odundaki iyonlara bağlıdır. İyon dağılışı ve konsantrasyonundaki değişikliğe bağlı olarak elektrik akımı da değişmektedir. Rutubet oranındaki artış ve suda eriyen elektrolitikler varsa elektrik iletimini artırmaktadır. İşlem görmüş ağaçlarda ise yanmaya karşı ve emprenye için uygulanan maddeler elektrik iletimini artırmaktadır. Fenol reçine işlemi ise tam tersi şekilde bu iletimi azaltır. Alternatif akımda ise odunun yüksek iletkenlik direnci doğru akımla kıyaslandığında oldukça düşüktür (Özsait, 1998; Bozkurt, 1982).

Ahşap kuruduğu zaman elektriğe iyi bir yalıtkan haline gelir. Ahşap yaş haldeyken veya nem oranı arttıkça elektrik iletimi azalmaktadır. Alternatif birçok malzemede oluşan statik elektriklenme insan sağlığı için zararlıdır ve ahşap malzemede oluşmaz (Şimşek, 2016).

1.8. Ahşap Yapılarda Yalıtım

Enerji tüketiminin hızla arttığı ülkemizde küresel ısınma, fosil yakıtlardaki hızlı tükeniş gibi etkilerden dolayı enerji ihtiyaçlarının karşılanması için alternatif çözüm arayışları ve bina uygulamaları için sürdürülebilir malzemelerin kullanılması gündeme gelmiştir. Bu bağlamda enerji tasarrufu için ısı yalıtım çalışmaları gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Enerjinin korunumu için binalarda iyi yalıtım malzemeleri kullanılarak dış ortam etkilerinden uzaklaştırılması gerekmektedir (Kocagül, 2013; İşbilir, 2009).

Ahşap, geri dönüştürülebilir, tekrar kullanılabilir ve doğal olarak yenilenebilir olduğundan yüksek sürdürülebilir oranlara sahip bir malzemedir. Dahası, mükemmel mukavemet-ağırlık oranları , ısı yalıtımı ve akustik özellikleri, binalarda yapısal kiriş ve çerçevelerden, yalıtım zarflarından, pencerelerden, kapı çerçevelerinden, duvar ve döşeme malzemelerine ve mobilyalara kadar farklı uygulama türleri için kullanışlı bir yapı ürünüdür. Ahşap yapı sistemlerinde platform çerçeve ve X-LAM panel sistemleri enerji üreten bir yapı oluşturmaya izin vermektedir .Yalıtım özellikleri düşük ısı iletkenlik değerleri ile ilgilidir. Ahşap malzeme de düşük ısı iletkenlik gösteren ses ve akustik özellikleri yönünden avantajlı bir malzemedir (Asdrubali, 2017).

Ahşap, tuğla, taş, beton veya diğer yapı malzemelerinden daha iyi termal yalıtım özelliği göstermektedir. Masif ahşabın termal özelliği, düşük ve orta yoğunluk ahşap lifli ürünlere dönüştürüldüğünde çok daha üstün olur. Ahşap ve ahşap bazlı ürünler genel olarak diğer yapı malzemelerine göre üstün termal özelliklere sahiptir. Ahşap gösterdiği olumlu özelliklere ek olarak çeşitli yalıtım malzemeleriyle birlikte kullanılmaktadır. Ahşap yalıtım çeşitli şekil ve tiplerde, her biri farklı kullanımlar için belirli avantajlar sağlayarak, yapının ihtiyacına göre kullanılmaktadır. Genel olarak sert, esnek ve dolgu yalıtımı olarak çeşitli tiplerde uygulanmaktadır (Lewis, 1968).

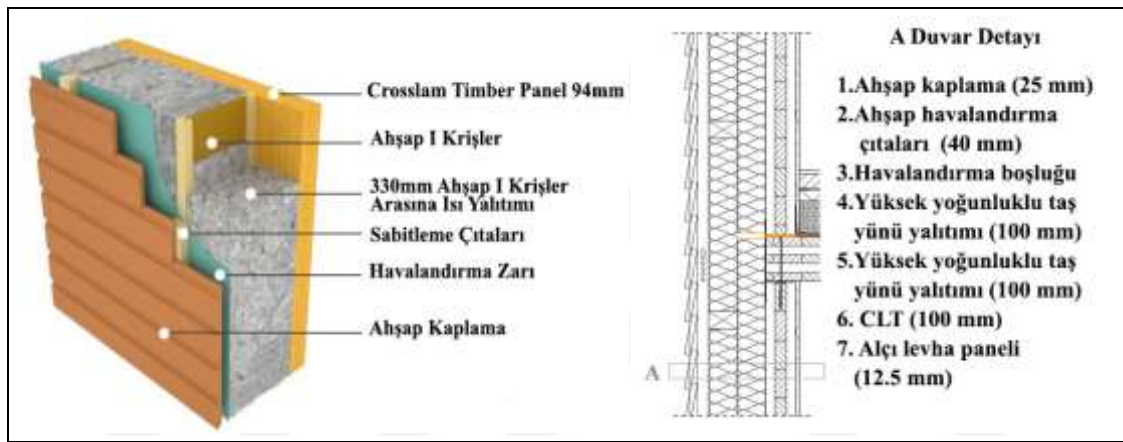
Ahşabın iyi yalıtım performansına sahip olmasının yanında ahşap lifleri, pullar ve çeşitli parçacıklar ile yalıtım panelleri oluşturmak mümkündür. Yalıtım panellerinin uygulanması genellikle ahşap binaların dış kısmında, uygulanan yapı sistemine göre entegre edilir (Viot vd., 2015).

Ahşap enerji performansı değerlendirme, büyük ölçüde ahşap ürünlerin termal özelliklerine bağlıdır. Ağaç türü içinde malzeme değişkenliğinden dolayı ahşabın fiziksel özellikleri de önemli ölçüde değişir. Ahşabın termal iletkenliği, nem içeriğine ve yoğunluğuna göre değişmektedir (McNatt vd, 1988).

Sjökvisst ve Brunskog (2013)'in yaptığı çalışmaya göre, ahşap malzemeler 0,18-0,42 W/mK arasında değişen düşük ısı iletkenliğine sahiptir. Bu durum düşük kalınlıklarda önemli termal dirence sahip duvar yapıları oluşturulmasını sağlar. Özel gözenekli yapısı sayesinde, kalınlığı azaltılmış, enerji tüketimi düşük ve ısı depolama uygulaması sayesinde ahşap yığma bir yapı, diğer sistemler ile karşılaştırıldığında %15-%40 arasında değişen bir enerji tasarrufu sağlamaktadır.

Dış duvar yalıtımı, soğutma ve ısıtma enerjisi kullanımlarını etkileyerek bina enerji tüketiminde önemli rol oynamaktadır (Pan, 2012). Ahşap yapılarda genellikle dış yüzeye

ısı yalıtımı uygulanır. Duvarın bileşiminde, iç tarafında alçıpan gibi bir malzemeden oluşur ve yalıtımla temas eden tarafta bir buhar bariyeri eklenmektedir. Yalıtım saplamalar ve çivilenmiş alan arasına yerleştirilmektedir. Yonga levha gibi bir ürün eklenerek rüzgâr destek malzemesi oluşturulur. Ahşap dış cephe kaplamasından önce hava boşluğu olması mümkündür. X-LAM yapılarında yapısal panelin dış kısmında yalıtım katmanı uygulanmaktadır. İç yüzeyde bir alçı levha eklenerek desteklenebilir. Ahşap düşük ısı iletkenliğine sahiptir ve yalıtım panelleri için kullanılabilir (Weatherwax ve Stamm, 1956) (Şekil 56).



Şekil 56. X-lam yapılarda dış duvar yalıtım katmanı örnekleri (URL-26 ve StoreEnso, 2018)

Kosny vd., (2014), düşük ısı direncine sahip farklı tipteki duvar çerçevesi yapılarını analiz etmiştir. Tuğla malzemeler klasik kullanım yerine, ahşap kullanımı, geleneksel ve yenilikçi ısı yalıtım malzemeleri ile birleştiğinde, duvarın termal direncini artırdığını görmüşlerdir. Çalışma sonuçlarına göre, düşük kalınlığa sahip duvarlar için termal direnç değeri $R = 3,5 \text{ m}^2\text{K} / \text{W}$ 'den daha yüksek ve $U = 0,29 \text{ W} / \text{m}^2\text{K}$ 'den düşüktür. Kafes duvarlar ve çift cidarlı duvarlar için yaklaşık $R = 5.3 \text{ m}^2\text{K} / \text{W}$ olan bir değer ve 216- 254 mm kalınlıklarında vakum yalıtım panelleri yalıtım malzemesi olarak kullanılırsa, $R = 9 \text{ m}^2\text{K} / \text{W}$ ye değerine ulaşabilir.

Yalıtım malzemesi olarak ahşabın bina iç mekanlarının verimli ve istenen termal performansa ulaşmasını sağlamada bir rolü vardır. Ancak, ahşap tek başına yeterli olmaya bilir. Bununla birlikte, bina muhafazaları için termal verimlilik gereksinimleri arttıkça,

ahşap, iç mekanlarda tutarlı termal konfor sağlamak için diğer yalıtım ve hava koşullarına dayanıklı malzemelerle eşleştirmek için doğal bir çözümdür (Geving, 2015).

Tutkal lamine ahşap (Glulam) kirişler gibi prefabrik kütle ahşap bileşenleri ayrıca çapraz lamine ahşap (CLT), duvar, zemin ve çatı panelleri gibi ahşap ürünler ABD'deki projelerde kullanım kalınlıkları nedeniyle, ısı yalıtımı ve termal kütle sağlar. Net-sıfır enerjiyi veya diğer katı enerji performans kriterlerini karşılamak isteyen projeler için tüm gün boyunca güneş ısı enerjisini depolayabilir ve gece serbest bırakarak enerji yüklerini azaltabilir (URL-27).

Ahşap binalarda yeterli düzeyde ses yalıtımı genellikle yapısal olarak çok katmanlı yüzeyler oluşturarak sağlanır. Gözenekli ses emici malzemeyi tahtanın arkasına yerleştirerek veya bir hava boşluğuna, örneğin bir ısı yalıtım tabakasına ek olarak, levha rezonatörü olarak adlandırılan malzemeler titreştiğinde, hafif yapılar için sorunlu olan düşük sesleri etkili bir şekilde sönümler. Ayrıca, ahşap çıtalar yaparak veya ahşap yüzeylerde delikler açarak delikli bir rezonatör orta ve yüksek perdeli sesleri etkili bir şekilde azaltmaktadır. Ahşap zeminlerde ayak sesi yalıtımı, zeminin kütlelerini artırarak, örneğin yüzeyde beton dökümü veya üst yüzeyde yüzey döşemeleri esnek bir malzeme ile desteklenebilmektedir (Sjökvist, 2013).

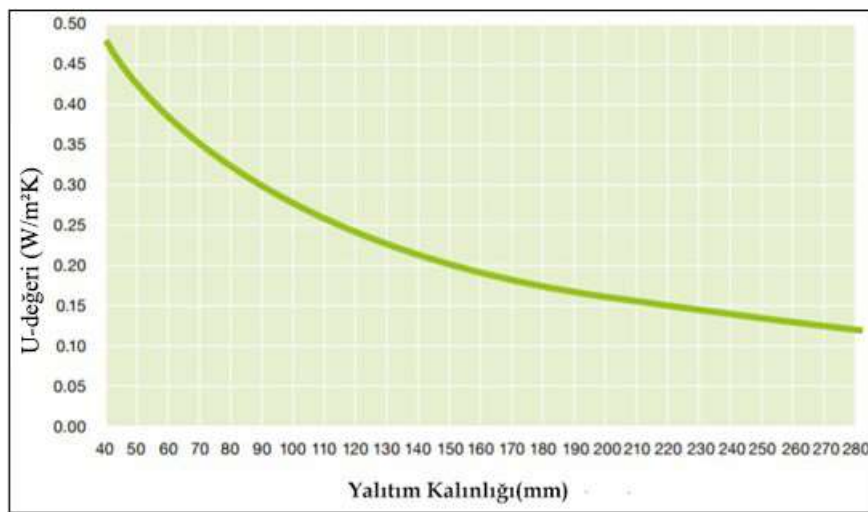
Ahşap doğal olarak ses sönümleyicidir ve mükemmel gürültü kontrolü sağlar. Sesin (bir konser salonu gibi) amplifikasyonu veya hafifletilmesi (kütüphane gibi) gerektiren uygulamalar için ahşap uzun zamandır tercih edilmektedir. Akustik tasarım, bina konumu ve yönü ile gürültü üreten fonksiyonların ve yapı elemanlarının izolasyonu veya ayrılması gibi bir dizi faktörü göz önünde bulundurur. Ahşap, bir projenin yalıtım ve ayırma alanlarına katkıda bulunabilir. LEED gibi yeşil bina sertifikaları, akustik daha belirgin bir şekilde kullanmaya başlamıştır. Bununla birlikte, birçoğu avantajlı akustik performansı nedeniyle ahşabı yeniden kullanmaktadır (URL-28) (Şekil 57).



Şekil 57. Ahşabın akustik amaçlı kullanım örnekleri (URL-28)

1.8.1. Çapraz Lamine Ahşap Isı İletimi

Bir bileşenin termal performansı, U değeri veya “termal geçirgenlik” ile belirlenir. Bu değeri hesaplamak için içerdiği malzemelerin yapısı ve ısı iletkenliği (λ) bilinmelidir. Ahşabın iletkenliği esasen kütle yoğunluğu ve ahşap nem içeriği ile belirlenir ve hesaplanabilir. Avrupa standartları gereğince ahşabın ısı iletkenliği CLT için $\lambda = 0.13 \text{ W / mK}$ değerinde hesaplanabilir. Şekil 58’ de 100 mm kalınlığında yalıtılmış CLT panellerinin yalıtım malzemesinin kalınlığına bağlı olarak U değerlerinin olduğu bir grafik gösterilmektedir (Stora Enso, 2017). Bu grafikte de görüldüğü üzere CLT panellerde kullanılan yalıtım kalınlığı arttıkça U değeri düşmektedir.



Şekil 58. 100 mm kalınlığında CLT panelin yalıtım kalınlıklarına göre U değeri

Bir bina zarfının rüzgâr geçirmezliği, hava sızdırmazlığı kadar önemlidir. Binanın dış katmanları ile rüzgâr geçirimsizliğin yanı sıra ısı yalıtım katmanları korunur ve yalıtım özellikleri bozulmaz. Çapraz lamine ahşap elemanlar üzerinde kombine edilebilen malzemeler, ahşap, mineral elyaf yalıtım malzemeleri, ısı yalıtım sistemleri veya havalandırılmalı cephelerdir. Ek olarak yalıtımlı montajlar bu değerlerin iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır (Mestek vd., 2011).

Herhangi bir değişiklik yapmadan CLT' nin termal iletkenliği pratik olarak kerestenin iletkenliğine eşittir. Fakat CLT' nin termal iletkenlik faktörü yalıtım malzemeleri ile kullanılınca 3 katına çıkmaktadır. Ayrıca CLT panellerin bina inşaat montajı diğer sistemlere göre daha az karmaşık olduğundan, yalıtım malzemesinin uygulaması da daha kolaydır. Şekil 59' da montajı tamamlanmış örnek bir CLT dış duvar yapısı görülmektedir (Ferk, 2013).



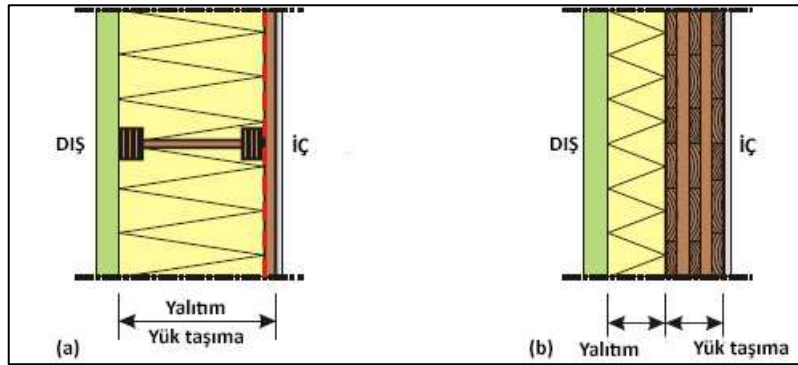
Şekil 59. CLT yalıtımlı dış duvar örneği (Ferk, 2013)

Yapısal ahşabın ısı iletkenliği, ahşabın çoğunlukla inşaatla eşleştigi metallerin iletkenliğinden çok daha azdır. CLT masif ahşap bir panel olduğundan, aynı zamanda termal kütle sağlar. Ancak CLT' nin termal performansının kilit ölçüleri U değeri (ısı transferi katsayısı) ve R (yalıtım kabiliyeti) değeridir. Her ikisi de panel kalınlığı ile ilgilidir. Daha kalın paneller daha düşük U değerlerine sahiptir; daha iyi yalıtkanlardır ve bu nedenle daha az yalıtım gerektirir. Ek olarak, CLT panelleri hassas toleranslar için

Bilgisayar Sayısal Kontrol (CNC) ekipmanı kullanılarak üretilbildiğinden, panel bağlantıları daha sıkı oturur ve yapı için daha iyi enerji verimliliği sağlar. Paneller sağlam olduğu için sistemden hava akımı potansiyeli çok azdır. Sonuç olarak, oldukça sıkı bir yapı kabuğu elde edilebilir (Evans, 2013).

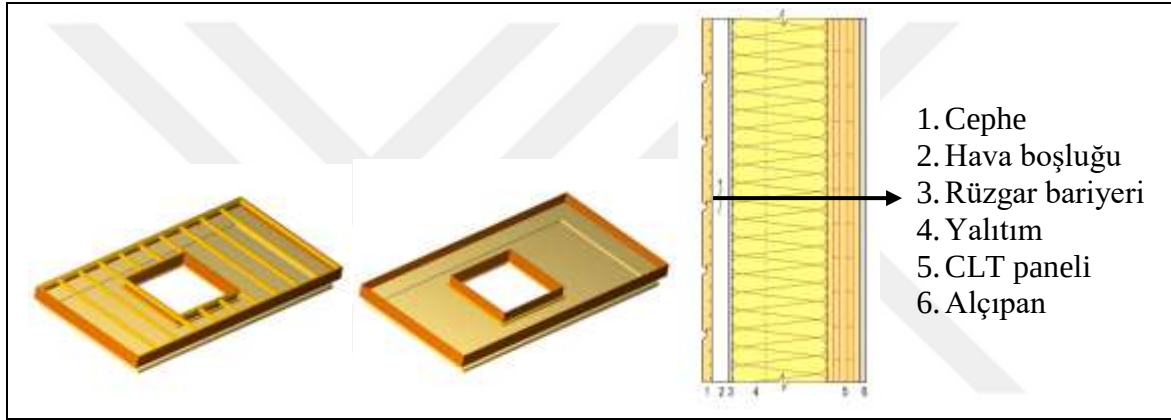
Prefabrik CLT panelleri kullanan dış duvar ve çatı montajları, tüm bina kabuğu ile aynı temel ısı, hava ve nem kontrol tasarım ilkelerini takip eder. Bina kabuğu, iç ortamını dış ortamdaki ayırır, bu nedenle yağış, güneş ışınlamı, sıcaklık gradyanları, nem gradyanları ve hava basıncı farkları gibi yükleri taşımaktadır. CLT panelleri iyi termal özelliklere sahiptir, ısı yalıtımı ve ayrıca termal kütle sağlar. Her ne kadar CLT panelleri bir miktar iç hava sızdırmazlık seviyesine sahip olabilse de ilave bir hava bariyer membranı önerilir. Bunun nedeni kurumaya bağlı büzülmenin bir sonucu olarak levhaların arasındaki boşlukların ortaya çıkma olasılığıdır. CLT panellerinin monolitik yapısı, suya dirençli bariyer ve sürekli hava bariyeri olarak tek bir membran uygulanmasını mümkün kılar. Isı yalıtım malzemesi CLT dış etkilerden de koruyacağı için avantaj sağlamaktadır (Glass, 2013).

Hafif konstrüksiyon yapılarda yalıtım ve yük taşıma arasında bir ayrım yoktur. Buna karşılık CLT gibi masif ahşap yapılarda böyle bir durum söz konusu değildir. Hafif konstrüksiyon ve masif ahşap konstrüksiyonun yalıtımlı uygulama Şekil 60' da verilmiştir. Masif ahşap konstrüksiyon (CLT gibi) hafif ahşap konstrüksiyonla karşılaştırıldığında düşük hava geçirgenliği, nem ve sıcaklık için özel depolama kapasitesi, modüler boyutlarda pencere ve kapı açıklıklarının düzenlenebilmesi gibi avantajlar sağlamaktadır (Brandner, 2013).



Şekil 60. Yalıtımlı hafif ahşap konstrüksiyon (a), Yalıtımlı masif ahşap konstrüksiyon (CLT)(b) (Augustin, 2008)

Rönnelid vd., (2013) yaptıkları test binasındaki uygulama örneğinde, dış duvar, iç kısımda yük taşıyan bir CLT panelinden oluşmaktadır. İzolasyon, soğuk köprüyü azaltmak için CLT panelinin dışına inşa edilmiş bir izolasyon kutusuna yerleştirilir. Yalıtım kutusunun dışında, alçı levha ve cephe malzemesini destekleyen bir tabaka vardır. Şekil 61’de duvar paneli ve duvarın kesit halinde nasıl inşa edildiği gösterilmektedir. Duvarlar yaklaşık 50 cm kalınlığında olup 97 mm CLT paneller 365 mm yalıtım levhalarından oluşur ve ortalama U değeri $0.093 [W/m^2.K]$ ’dır. Dış duvarlar ve çatı fabrikada prefabrik hale getirilir ve bir mobil vinç ile yerine kaldırılır. Bina monte edildiğinde cephe malzemesi yerine çakılır.

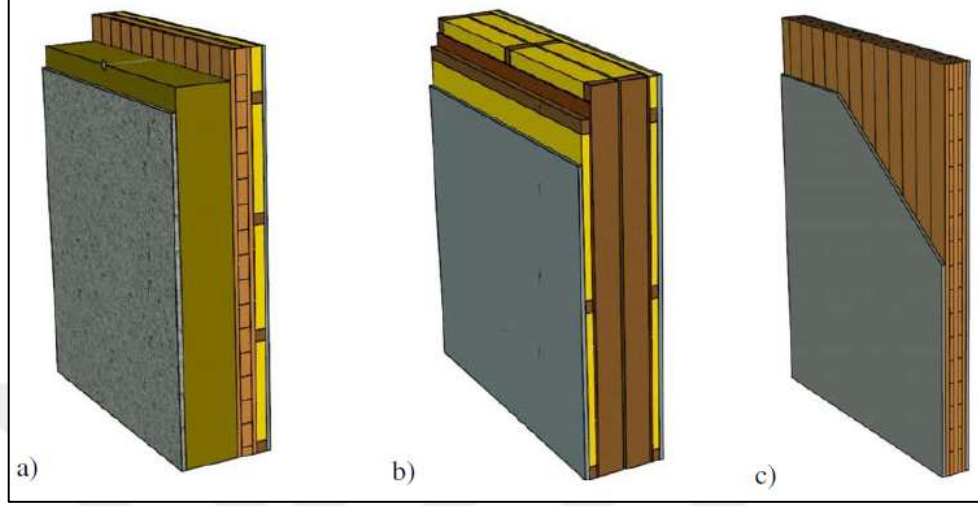


Şekil 61. Hazır CLT duvar paneli ve dış duvar yalıtım katmanı (Rönnelid, vd. 2013)

CLT veya kütük duvarlar gibi kalın ahşap yapılar, ısı yalıtımında, ısı depolamasında ve yapısal dirençte mükemmeldir. Geleneksel bir yazılımla yapılan sayısal bir çalışmaya göre; CLT gibi kalın ahşap paneller ısı depolamada makul olsa da, CLT panel üzerine basit bir modifikasyon, örneğin XPS, yalıtım katmanı eklenmesinin, ahşap panellerde avantaj sağladığı belirtilmektedir (Urushibara, 2015). Genleşme ve büzülme sorunlarını azaltmak ve binanın içindeki taban alanını mümkün olduğunca kullanmak için genellikle yalıtım malzemesi CLT panelinin dışına yerleştirilir (Havel, 2006).

İsveç’ te yapılan Limnologen Projesinin inşaatı sırasında yapım aşamaları üzerine bir çalışma yapılmıştır. Yük taşıyıcı yapı için üç ana duvar sistemi kullanılmıştır. Bunlar; 3 katmanlı, yalıtımlı CLT duvar (a), daireleri ayırmak için ahşap çerçeve duvar (b) ve 3 katmanlı CLT iç duvardır (c) (Şekil 62). Cepheler sıva ya da ahşap panellerle kaplıdır. Tüm duvarlar alçı levhalarla kaplanarak sahada bitirilmiştir. İnşaat faaliyeti

tamamlandıktan sonra yapılan değerlendirmelerde CLT duvarlar yüksek katlı binalar için üstün performans özellikleri göstermiştir (Serrano, 2009).



Şekil 62. CLT dış duvar (a), ahşap çerçeveli duvar (b), CLT iç bölme duvar (c) (Serrano, 2009).

1.8.2. Isı Yalıtım Malzemeleri

Binalar tüm ülkelerde büyük enerji tüketicileridir. Sert iklim koşullarına sahip bölgelerde, enerjinin önemli bir kısmı ısıtma ve soğutma için kullanılır. Bu ısıtma ve iklimlendirme yükü birçok yolla azaltılabilir; bunların arasında dikkat çeken, bina kabuğu ve bileşenlerinin uygun tasarımı ve seçimidir. Binalarda ısı yalıtımının doğru kullanımı sadece gerekli klima sistemi boyutunun azaltılmasına değil, aynı zamanda yıllık enerji maliyetinin azaltılmasına da katkıda bulunur. Ayrıca mevsimler arası dönemlerde mekanik iklimlendirmeye güvenmeksizin termal konfor sürelerinin uzatılmasına yardımcı olur. Isı yalıtımı kullanmanın bir sonucu olarak enerji tasarrufunun büyüklüğü, bina tipine, binanın bulunduğu iklim koşullarına ve kullanılan yalıtım malzemesinin tipine göre değişir (Al-Homoud, 2005).

İzolasyon, binalarda ısıtmada ve soğutma enerji tüketimini azaltmaya yönelik en etkili yöntemlerden biridir. Doğru malzemelerin seçilmesi ve optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi bina yalıtım uygulamasında önemli bir konudur. Yalıtım malzemelerinin seçiminde çevresel etkiyi sınırlamak için doğal kaynaklı, sürdürülebilir malzemeler kullanılması gerekmektedir. Düşük maliyetli geri dönüştürülmüş malzemelerin yapı

ürünlerine dahil edilmesi ve bunların hem yeni binalar hem de onarımlar için yalıtım panelleri olarak kullanılma potansiyeli artan ilgi görmektedir (Ricciardi, 2014).

Günümüzde doğal kaynaklar azalırken, ihtiyaçlar ve gelişen teknolojiyle birlikte mekanların ısı konforunu sağlamak için gerekli olan enerji miktarı artmıştır. Yapılarda enerjinin büyük çoğunluğu ısıtma ve soğutma için kullanıldığından enerji tasarrufu oldukça önemlidir. Ülkemizde gittikçe artan enerji tüketimi, ısı yalıtımının önemini ortaya çıkarmıştır. 1998 yılında kabul edilen ve 2000’ den bu yana binalar için zorunlu hale getirilen ısı yalıtım standardı TS 825’tir (Candan, 2007; Yeşilyurt, 2013).

Bir binanın enerji tüketimi büyük ölçüde kullanılan malzemelerin özelliklerine bağlıdır. Dış duvarların termal performansı, inşaat sektörünün enerji verimliliğini artırmak ve sera gazı emisyonlarını azaltmak için önemli bir faktördür. Isı yalıtımı şüphesiz hem kış ısıtması hem de yaz soğutması nedeniyle enerji tüketimini azaltmanın en iyi yollarından biridir. Yalıtım malzemeleri bu senaryoda önemli bir rol oynar, çünkü doğru malzemenin seçimi, kalınlığı ve konumu iyi iç mekân termal konfor koşulları ve yeterli enerji tasarrufu elde edilmesini sağlar. Bununla birlikte, bir yalıtım malzemesi seçerken akustik performans, çevresel etkiler, insan sağlığı üzerindeki etkileri ve üretim maliyetleri gibi diğer önemli hususları dikkate almak önemlidir (Asdrubali, 2016; Schiavoni, 2016).

ISO ve CEN standartlarına göre ısı iletkenlik kat sayısı (λ) 0,065 W/mK’den küçük olan malzemeler ısı yalıtım malzemesi, üzerinde olan malzemeler ise yapı malzemesi olarak kabul edilmektedir. Isı iletkenlik değeri küçüldükçe ısı geçişi de azalmaktadır. Isıl özellikler malzemelerin kalınlığı, ısı geçiş yüzey alanı, ortam sıcaklığı ve şartlarına göre değişiklik göstermektedir. Isı iletkenlik değerleri hesaplanırken TS 825 standartları gereğince 23°C sıcaklık ve %80 bağıl nem sağlanmış bir ortamda gerçekleştirilir (İMH, 2015; Uzun, 2015).

Mümkün olan iyi yalıtım seviyesine ulaşmak için bina zarflarında giderek artan kalınlıklarda malzemeler, ısı yalıtım direnci, yeni yalıtım malzemeleri ve çözümleri, mevcut geleneksel yalıtımın yanı sıra ek olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, ısı yalıtım malzemesinin çok kalın kullanılması bina kabuğunda ekonomi, taban alanı, ulaşım hacimleri, mimari kısıtlamalar gibi sınırlamalar getirmekte, malzeme kullanımı ve mevcut yapı teknikleri göz önünde bulundurularak değerlendirilmelidir (McKinsey, 2009).

Isı yalıtım malzemelerinde su buharı difüzyon direnç faktörü (μ) önemlidir. Su buharı basınç farkından dolayı oluşan hareketlerle malzemenin dışına çıkmaya çalışır. Bu hareket sırasında düşük sıcaklığa sahip bir alanla karşılaştığında su buharının bir miktarı

yoğunlaşarak sıvı hale geçer. Yoğunlaşma sonucu oluşan su hali istenmeyen bir durumdur ve yapı elemanlarına zarar verebilir. Bu yüzden ısı yalıtım malzemesi seçilirken bahsedilen hususlara dikkat edilmesi gerekir (İMH, 2015).

Yalıtım malzemeleri, enerji tasarruflu binaların tasarımında ve yapımında anahtar araçtır. Avrupa yalıtım malzemeleri pazarı, iki grup inorganik lifli malzeme ve organik köpüklü malzemelerin hakimiyeti ile karakterize edilir. Hepsi yalıtım özellikleri açısından benzer performansa sahiptir, ancak fiziksel özellik ve kullanım şekline göre önemli farklılıklar gösterir. Son yıllarda yangın, nem veya mekanik özelliklerin yanında yalıtım malzemelerinin termal özellikleri de önemli ölçüde iyileştirilmiştir. Ayrıca, çevre ve halk sağlığı yönünden, hem verilen uygulamalar için 'optimum' malzeme arayışında hem de endüstrinin gelecekteki gelişmeler için belirlediği amaçlarda önemli bir rol oynamaktadır (Papadopoulos, 2005).

Bina yalıtımı genellikle petrokimyasallardan (çoğunlukla polistiren) veya yüksek enerji tüketimli (cam, kaya yünleri vb) işlenmiş doğal kaynaklardan elde edilen malzemeler kullanılarak gerçekleştirilir. Bu malzemeler, esas olarak üretim aşaması, yani yenilenemeyen malzemelerin kullanımı, fosil enerji tüketimi ve bertaraf aşaması nedeniyle çevre üzerinde önemli zararlı etkilere neden olmaktadır. Bina tasarım sürecinde “sürdürülebilirlik” ilkeleri bağlamında doğal veya geri dönüştürülmüş yalıtım malzemeleri kullanılmaktadır. Kenaf, selüloz ve odun lifi gibi doğal kaynaklı malzemelerin performansları sentetiklere benzer olduğu için yapı sektöründe kullanımı artmaktadır. Isı iletkenliği, özgül ısı ve yoğunluk açısından özellikle termal özellikler dikkate alınarak alternatif doğal malzemeler geliştirilip aktif şekilde kullanılmalıdır (Asdrubali vd., 2015).

Sürdürülebilirlik açısından, yenilenebilir doğal yalıtım malzemeleri geleneksel (inorganik) yalıtım malzemeleri için iyi alternatiflerdir. Tüm doğal yalıtım malzemeleri bitki ve hayvan kaynaklarından yapılır, üretim süreçlerinde çok az enerji kullanılır. İnsan sağlığı için güvenlidir ve bina ömrünün sonunda yeniden kullanılabilir veya biyolojik olarak parçalanabilir. Geçmişte yapılarda yalıtım malzemesi olarak bitki lifleri ve hayvan kılları kullanılmıştır. Sürdürülebilir inşaat malzemelerine olan talebin artmasıyla birlikte doğal malzemeler tekrar dikkat çekmiştir (Ye vd.2006; Volf, 2015).

Hem geleneksel hem de son teknoloji yalıtım malzemeleri sürekli gelişim halindedir. Bunlara örnek olarak mineral yün, XPS, EPS, poliüretan, vakum yalıtım panelleri, gaz yalıtım panelleri, aerojeller ve vakum yalıtım malzemeleri verilebilir. Bu malzemelerin ısı iletkenliği şantiye uyarlanabilirliği ve kesilebilirliği, mekanik mukavemet,

yangından korunma, yangın sırasında duman emisyonu, sağlamlık, iklimde yaşanma dayanıklılığı, donma / çözülme döngülerine karşı direnç, su direnci, maliyetler ve çevresel etkileri yapılan çalışmalarla değerlendirilmektedir. Şu anda, bahsedilen tüm gereklilikleri yerine getirebilecek tek bir yalıtım malzemesi yoktur. Tasarımlarda kullanım yerine göre istenilen özellikleri karşılaya bilecek yalıtım malzemeleri tercih edilmelidir. Bugün itibarıyla, örneğin vakum yalıtım panelleri gibi yeni malzemeler ve çözümler ortaya çıkmakta, ancak inşaat sektöründe kısmen kısa geçmişleri nedeniyle yavaş yavaş devreye girmektedir. Bu nedenle, tüm yalıtım malzemelerinin çözümlerinin sınırlarını yani avantajlarını ve dezavantajlarını bilmek büyük önem taşımaktadır (Islam, 2019).

Literatürde ısı yalıtım malzemeleri yapısal özellikleri ve gelişen teknolojiyle ortaya çıkan yeni malzemelere göre farklı başlıklar altında değerlendirilmektedir. Çalışmada ahşap yapılarda da kullanılabilecek ısı yalıtım malzemeleri geleneksel, alternatif ve gelişmiş yalıtım malzemeleri olarak üç ana başlıkta incelenmiştir.

1.8.2.1. Geleneksel Yalıtım Malzemeleri

Taş yünü, cam yünü, PUR, XPS, EPS ve fenolik köpük çoğunlukla piyasada kullanılan geleneksel yalıtım malzemelerine örnek olarak verilebilmektedir. Bu yalıtım malzemeleri alt başlıklarda detaylı olarak açıklanmaktadır.

1.8.2.1.1. Taş Yünü

İnorganik hammaddelerin yerli olarak üretilip 1350°C-1400°C'de eritilerek elyaf şekline dönüştürülmesiyle elde edilen ısı, ses ve akustik yalıtım malzemesidir. Yangın dayanımı sağlamaktadır. Isıl iletkenlik kat sayısı 0,035-0,040 W/mK arasındadır. Kullanım sıcaklığı -50/+600, -50/+650°C aralığındadır. İhtiyaca göre farklı boyut ve özelliklerde, değişik kaplama ürünleriyle kullanılabilir. Haşerat ve küfe karşı dayanıklıdır. Dış etkilere dayanıklıdır zaman ve içinde bozulmaz (URL-29) (Şekil 63).



Şekil 63. Taş yünü (URL-29)

Taş yünü çok çeşitli sıcaklıklarda kullanılabilen birkaç yalıtım malzemesinden biridir. Ayrıca, form ve şekildeki adaptasyonunun yanı sıra, titreşim gibi biyolojik, kimyasal ve mekanik etkilere olan direncinden dolayı birçok farklı uygulamada kullanılabilir. Suyun malzemedeki uzun süreli mevcudiyeti veya malzemenin uzun süre yüksek sıcaklıklara maruz kalması, lifleri bir arada tutmak için kullanılan reçineleri etkileyebilir (Karamanos vd., 2008). Taş yünü, bina yalıtımı için yaygın olarak kullanılır, her türlü bina için yangın stabilitesi ve akustik konfor ile birlikte termal konfor sağlar. Üretim, binaların yenilenmesi ya da yıkılması sırasında oluşan taş yünü atığı, taş yünü eriyeği üretimi geri dönüştürülebilir (Schultz-Falk, 2018).

1.8.2.1.2. Cam yünü

İnorganik hammaddelerin, silis kumu ve cam (çoğunlukla geri dönüşümlü malzemedir), 1200°C-1250°C'de eritilerek elyaf haline getirilmesi sonucu oluşmaktadır. Isı iletkenlik kat sayısı değeri 0,040 W/mK'dir. Nem ve sıcaklık dayanımı yüksek olduğundan boyutsal değişime maruz kalmazlar. Küf, çürüme, paslanma, korozyon, böceklenme gibi dış etkenlerden etkilenmez. Kaplamasız camyünü ürünler TS EN 13501-1'e göre yanmaz malzemeler sınıfındadır. Kullanım yeri ve işlevine göre farklı boyut ve teknik özelliklerde, değişik kaplama malzemeleri ile şilte, levha ve boru şeklinde imal edilmektedir (URL-30).

Cam yünü, inşaatla birçok uygulamaya sahip lifli bir malzemedir. Hidroskopik bir yapıya sahip değildir. Isı ses ve akustik yalıtım için tercih edilebilir bir malzeme olmasının yanı sıra yangın güvenliğinde sağlamaktadır (Meftah vd., 2019) (Şekil 64).



Şekil 64. Cam yünü (URL-30)

1.8.2.1.3. PUR (Poliüretan Köpük)

Poliol ve izosiyanürat denen iki kimyasal malzemenin karıştırılarak hava yardımıyla köpürüp sertleşmesiyle oluşturulur. Püskürtme yöntemiyle uygulanır. Yüksek ısı yalıtımı istenilen sınırlı alanlarda uygulanabilmektedir (Ülker, 2009). Isı iletkenlik değeri 0,035-0,040 W/mK arasındadır (ÇŞB, 2015). Dış etkilere dayanıklıdır. Higroskopik olmadığından bünyesine su almaz dolayısıyla ısı özelliği bozulmaz. İçerdiği CFC'den (kloro flor karbon) dolayı işlem esnasında solunması sağlık için zararlıdır. Yangın esnasında hidrojen siyanür gazı açığa çıkardığı için mobilya üretiminde yasaklanmıştır. Formaldehit yüzdesi yüksek olduğundan sağlık için ciddi sıkıntılar doğurabilmektedir (Ülker, 2009) (Şekil 65).



Şekil 65. Poliüretan köpük uygulaması (PUR) (URL-31)

1.8.2.1.4. XPS (Ekstrüde Polistiren)

Şişirme maddesi ile ekstrüzyon yöntemiyle polisteren hammaddesinin basınç altında eritilerek levha haline getirilmesiyle oluşturulan kapalı hücre yapısına sahip yüksek mekanik performanslı bir malzemedir. Yoğunluğu $20-50 \text{ kg/m}^3$, basınç mukavemeti değerleri $100-500 \text{ kPa}$, ısı iletkenlik kat sayısı $0,030-0,040 \text{ W/mK}$ arasındadır. TS EN 13164 standartına göre üretimi yapılmaktadır (ÇŞB, 2015; URL-32).

XPS köpük levha veya bord tahtası yalıtımı, küçük polistiren taneciklerinden oluşan bir tür gevşek dolgu yalıtımı yapmak için yaygın olarak kullanılan termoplastiktir. Polistiren köpükler büyük oranda havadan oluşur. İçinde sıkışan gazlar iyi bir yalıtım malzemesi olmasını sağlar. XPS, EPS ile benzer yalıtım özelliklerine sahip olup, ikisi de polistirenden yapılır. EPS, birbirine kaynaşmış küçük plastik boncuklardan oluşurken XPS, bir formdan tabakalar halinde preslenmiş erimiş bir malzeme olarak üretilir. Kapalı hücre yapısından dolayı bünyesine su almayan bir malzemedir (URL-33) (Şekil 66).



Şekil 66. XPS (Ekstrüde Polistiren) (URL-34)

1.8.2.1.5. EPS (Genleştirilmiş Polisteren)

EPS'nin ısı iletkenlik kat sayısı $\lambda = 0,030-0,040 \text{ W/mK}$ arasındadır. Üretiminde kullanılan şişirici gaz, hava ile hızlı değişim yaptığından ısı iletkenlik değeri zaman içinde olumsuz yönde değişmez. Kırılgan bir malzeme olmadığından yüksek bir eğilme dayanımına sahiptir. Basit yükler ve kuvvet altında normal boyutlarına çok kolay geri

dönebilir. Kapalı gözenek yapısına sahip olduğu için kolayca ıslanmayan higroskopik bir üründür. Zor alev alıcı bir üründür (Uzun, 2015).

Farklı boyut ve yoğunluklarda ihtiyaca göre üretilmektedir. Yalıtım değerlerini kaybetmeden kesilip ebatları değiştirilebilir (Şekil 67). Üretiminde kullanılan malzemeler nedeniyle yüksek enerji kullanımına neden olurlar. Petrokimyasal üretimine bağlı olarak toksit madde oluşumuna neden olurlar. Yangın sırasında CO (karbon monoksit) ve COO₂ (karbon dioksit) salınımı meydana gelmesi sağlık açısından zararlı etkilere neden olur (Ülker, 2009).



Şekil 67. EPS (Genleştirilmiş Polisteren) (URL-35)

1.8.2.1.6. Fenolik Köpüğü

Fenolformaldehit bakalitine şişirici ve sertleştirici maddelerin katılmasıyla elde edilir (Şekil 68). Açık ve kapalı hücre yapısında olabilir. İçeriğindeki freon gazı sayesinde ısı yalıtım değerini zamana bağlı olarak kaybetmez. Mekanik özellikleri gözenekli yapısına göre değişmektedir. Buhar geçirgenlik direnci 3 ila 40 arasındadır. Kimyasal olarak potasyum ve yoğun asitlere dayanıksızdır. İçerisinde bulunan fenol zararlı bir maddedir ve köpük uygulamaları sırasında gerekli tedbirler alınmalıdır (Ülker, 2009). Fenolik köpüğün ısı iletim kat sayısı 0,018-0.028 W/mK, özgül ısısı 1.3-1.4 kJ/kgK arasında değişir (Schiavoni, 2016).

Hücre morfolojisi ile ilişkili yoğunluk fenolik köpüklerin mekanik özelliklerini kontrol eden anahtar faktördür. Fenolik köpükler, yalıtım, aydınlatma, enerji emilimi ve yangından korunma gibi bir dizi mühendislik uygulaması için çekici kılan özellikler

kombinasyonuna sahiptir. Fenolik köpükler, mükemmel yangın geciktirici davranış sergiler (Mougel, 2019).



Şekil 68. Fenolik köpüğü (URL-36)

Fenolik köpük mükemmel alev direnci yanında düşük duman emisyonu ve düşük üretim maliyetleri nedeniyle göze çarpmaktadır . Bununla birlikte, esas olarak petrol bazlı ürünlerden hazırlanır ve zayıf mekanik mukavemet ve yüksek kırılabilirlik gösterir. Kullanılan alternatif malzemeler ile sorun iyileştirilebilir. Yüksek sıcaklıklara dayanım gösterir. Küflenme ve böceklenme yapmaz (Li vd., 2019).

1.8.2.1.7. Mineral yün

En yaygın geleneksel yalıtım malzemelerinden olan mineral yün, cam elyafı, cüruf, taş yünü ve sentetik kaynaklardan elde edilebilen yangın dayanımı yüksek bir ısı yalıtım malzemesidir (Şekil 69). Levha ve dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Mineral yün, ahşap çerçeve sistem, boşluklu yapılar, giydirme dış cephe sistemlerinde ve dolgu malzemesi olarak uygulanmaktadır. Cam yünü ve taş yünü gibi malzemelerin yoğun sıcaklıklarda eritilerek ortaya çıkan elyaf ve liflerinin bağlayıcı reçinelerle bir araya getirilmesiyle oluşturulur. Isı iletkenlik kat sayısı değeri 0,030-0,040 W/mK arasındadır. Isı iletkenlik değeri nem içeriğine, yoğunluğuna ve kalınlığına göre değişiklik göstermektedir (Jelle, 2011).



Şekil 69. Mineral yün (URL-37)

1.8.2.2. Alternatif Yalıtım Malzemeleri

Doğal kaynaklı, sürdürülebilir yalıtım malzemelerinin geleneksel yalıtım malzemelerine alternatif olarak inşaat sektöründe kullanım alanı artmaktadır. Bu malzemelere örnek olarak verilen ahşap elyaf, hindistan cevizi, selüloz, karton esaslı paneller, mantar ve koyun yünü alt başlıklarda detaylı olarak açıklanmıştır.

1.8.2.2.1. Ahşap Elyaf

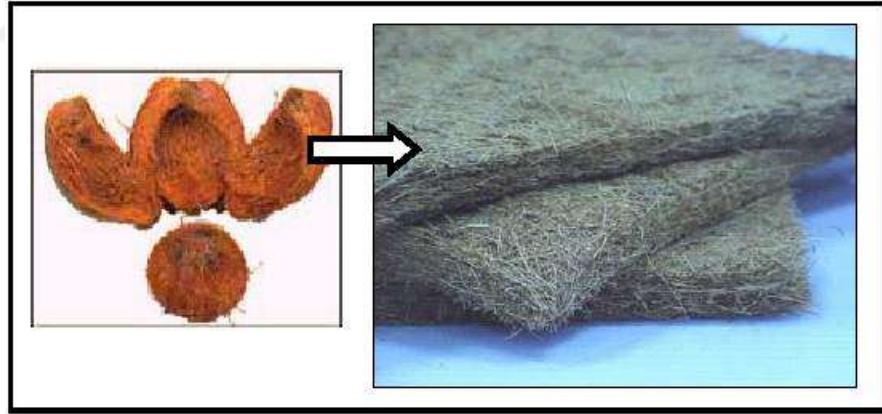
Ahşap elyaf yalıtımının başarısı, ahşap çerçeveler, çatılar ve zeminler için sert yalıtım, kaplama ve kirişler için esnek yalıtım da dahil olmak üzere tüm fonksiyonlar ile birleştirilen çevre dostu bir malzeme olmasından kaynaklanmaktadır. Ahşap yenilenebilir, büyümesi sırasında karbonu depolayan ve ürün üretimi kirlilikten nispeten uzak olan bir malzemedir. Ahşap elyafın ısı iletkenlik kat sayısı 0.038-0.043 W/mK, yoğunluğu 50-140 kg/m³ arasında, termal kapasite: yaklaşık 2100 J/kgK'dır. Yüksek U değerlerinin elde edilebildiği, kısmen ahşap lifli yalıtım kullanılarak elde edilen yapı örnekleri mevcuttur. Nemin düzenlenmesine yardımcı nefes alabililen bir malzemedir. Kullanım yerine göre içeriği ağaç lifleri, poliamid (bağlayıcı lif), amonyum fosfat (alev geciktirici) ve ahşap elyafı, PMDI yapıştırıcısı (izosiyanat), parafin mumu, lateks olarak belirtilmektedir (URL-38) (Şekil 70).



Şekil 70. Ahşap elyaf yalıtım malzemesi (URL-38)

1.8.2.2.2. Hindistan Cevizi Lifi

Hindistan cevizi başta Hindistan olmak üzere Endonezya ve Sri Lanka'da yetişir. Alternatif olarak ısı yalıtım ve gübreleme olarak kullanılmaktadır. Yüksek mekanik dirence sahiptir (Schiavoni, 2016) (Şekil 71).



Şekil 71. Hindistan cevizi Lifi (Schiavoni, 2016)

ASTM C 518 (ısı iletim özellikleri için standart test yöntemi) uygun olarak yapılan çalışmada, yoğunluğu 40 ila 90 kg/m³ arasında değişen hindistan cevizi lif ürünleri, 15.6 °C ve 21.8 °C ortalama sıcaklıklarda gerçekleştirilen deneyde minimum ısı iletkenlik değeri değerinin, 0.048-0.049 W/mK arasında değiştiği belirlenmiştir. En iyi sonuç 24 °C'deki optimum ısı iletkenlik değerinin, Hindistan cevizi lifi için 0.0488 W/mK olarak hesaplanmıştır. Hindistan cevizi lifi bina ısı yalıtımı için kabul edilebilir ısı iletkenlik

değerine ve çevre dostu (biyolojik olarak parçalanabilir) olma avantajına sahiptir (Manohar, 2006).

Hindistan cevizi lifi doğal lifli yapısı, yüksek gerilme mukavemeti ve uzama özellikleri nedeniyle mühendislik malzemesi olarak önem kazanmaktadır. Doğal lignoselülozik liflerin avantajları arasında kabul edilebilir spesifik mukavemet özellikleri, düşük maliyeti ve düşük yoğunluk sayılabilir. Düşük miktarda enerji kullanımı ve sentetik malzemeler kullanılarak alternatif ürünler de elde edilmektedir (Rajan, 2007). Genellikle akustik amacıyla kullanılır. Tarımsal atıklar kullanılarak doğal ve ekonomik bir çözüm alternatifi sunar. Ses emme potansiyeli iyi sonuç vermektedir (Nor vd., 2004).

1.8.2.2.3. Selüloz

Yapı sektörü, sürdürülebilir malzemeler konusunda sürekli gelişmektedir. Selüloz lifi yalıtımı çoğunlukla geri dönüştürülmüş kâğıt elyafları, gazete ya da lifleştirilmiş ahşabın öğütülmesiyle elde edilen çevre dostu bir termal yalıtım malzemesidir (Şekil 72). Atıkların, kimyasal malzemelerle karıştırılıp birleştirilmesiyle üretilir. İyi termal özelliklere sahiptir. Ancak uygulamada uzmanlık eksikliği nedeniyle, selüloz yalıtımı, daha geleneksel yalıtım malzemelerine kıyasla yaygın olarak kullanılmamaktadır (Schiavoni vd., 2016). Selüloz 0,037-0,042W/mK arasında ısı iletim katsayısı, 30 ve 80 kg/m³ arasında yoğunluk ve 1,3 ile 1,6 kJ/kgK arasında özgül ısı değerine sahiptir (Hurtado vd., 2016)

Konut ve ticari yapılarda yalıtım amaçlı atık kâğıt elyafı kullanımına ilk olarak ABD’de 1925 yılında başlanmış olup ilgili standartlar ilk olarak 1973 yılında yayınlanmıştır. Doğal kaynakların etkili kullanımı ve çevre dostu malzemelerin kullanımına artan taleple 1980’lerde selüloz yalıtımı yaygınlaşmıştır. Selülozik yalıtım, kâğıtların geri dönüşümü, fosil kaynakların verimli kullanımı ve havanın kirletilmesi üzerine üç konuda fayda sağlamaktadır. Genel olarak gevşek dolgu (Loose-fill) ve nemlendirilmiş püskürtme (Wet-spray) şeklinde iki uygulaması sağlanmaktadır. Nem çekici malzemelerin nemi emme ve salma özellikleri vardır. Selülozunda nem çekici özelliği vardır. Yapılarda, selüloz elyaf tarafından emilen nem, bağıl nem salınımında azalmaktadır. Nem tutma özelliği, mekandaki hava konforu için önemlidir ve iç mekân nemini dengelemektedir (Karaağaçlıoğlu, 2012).

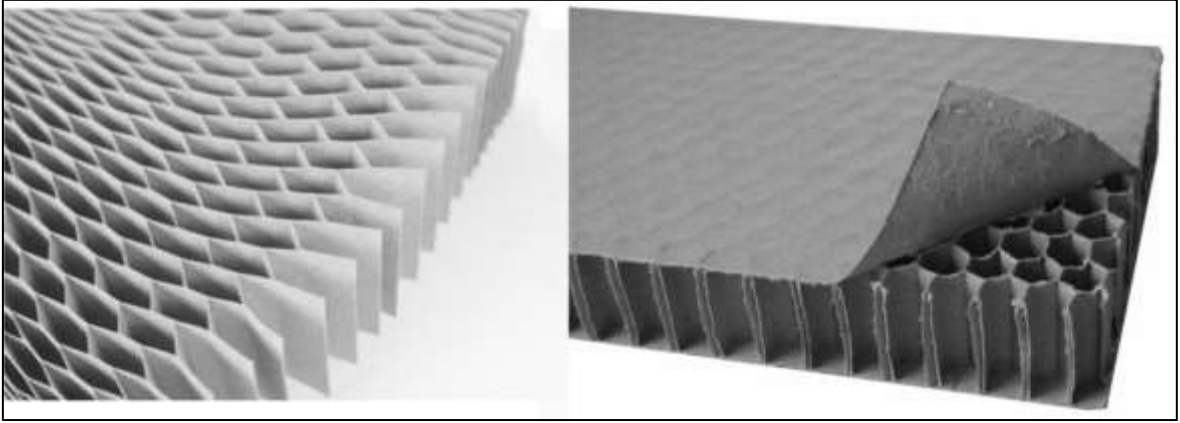


Şekil 72. Selüloz yalıtım örneği (URL-39)

1.8.2.2.4. Karton Esaslı Paneller

Karton paneller ortası oluklu iki yüzeyin üst üste yapıştırılmasıyla, farklı sayıda panellerin üst üste getirilmesiyle elde edilir (Şekil 73) Isı iletkenlik değeri 0.053-0.058 W/mK olarak bulunmuştur. Oluklu mukavva paneller tamamen geri dönüştürülebilir ve geleneksel yalıtım malzemelerinin çoğunun aksine, kullanım aşamasında insan sağlığına herhangi bir tehlike oluşturmaz. Geri dönüşümle elde edilen geri kazanılmış liflerle yapılan kâğıt ve kartonlar çekici ve sürdürülebilir bir malzemedir (Asdrubali vd., 2016).

Karton esaslı paneller, alçı panelleri, taş yünü ve cam yünü gibi inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan geleneksel yalıtım malzemeleriyle kıyaslandığında, geri dönüştürülebilmesi, çevresel avantajları ve akustik malzemelerin üretim sürecinde hem enerji talebinin hem de sera gazı emisyonlarının potansiyel olarak azaltmasından dolayı önemli fırsatlar sunmaktadır. Literatürdeki bazı çalışmalar incelendiğinde, karton kullanılarak üretilen malzemeleri ölçülen akustik emme katsayılarının, geleneksel alçı emicilerden daha yüksek olduğunu, özellikle orta ve yüksek frekanslarda akustik absorpsiyonun %40 mertebesinde bir artış sağladığını göstermektedir (Secchi vd., 2016).



Şekil 73. Karton esaslı panel örneği (Secchi vd., 2016)

1.8.2.2.5. Kenevir

Kenevir hızlı uzayan, yüksek oranda CO₂ Emilimi yapan Dünya genelinde tanınan eski bitkilerdendir. Keten yünü yalıtım levhası da ülkemiz için yeni bir ürün olarak bilinse de dünyada uzun yıllardır uygulanmaktadır. Bu malzeme geri dönüştürülmüş keten ve kenevir liflerinden üretilen doğal ve sürdürülebilir yalıtım malzemesidir (Şekil 74). Yangına karşı dayanıklıdır ve zaman içinde kullanımında bakım gerektirmez. TS EN 12667 ısı iletkenlik değeri 0.038 W/mK' dır (URL-38).

Nguyen vd., (2016)'da yaptığı çalışmaya göre, kenevirin ısı iletimi, kenevir parçacıklarının yönüne bağlı olarak doygunluk derecesinin, nem ve yoğunluğuna göre değişen bir malzemedir. Bu değerler için boyuna iletkenlik her zaman enine olandan çok daha yüksektir. Sonuçlarda ısı iletim kat sayısı 0.043-0.069 W /mK arasındadır.



Şekil 74. Kenevir yalıtım malzemesi (URL-40)

1.8.2.2.6. Mantar

Mantar yalıtım levhaları, meşe mantarı ağacının kabuklarından yüksek sıcaklık ve basınç altında elde edilir (Şekil 75). Bazı türlerdeki partiküllerin kendi özündeki reçinelerle birleştirilerek oluşturulmasına aglomera mantar, farklı katkı maddeleriyle birleştirilerek oluşturulmasına emprenye mantar denilmektedir. Gözenekli yapısına rağmen su çekmez. Organik kaynaklı bir yalıtım malzemesi olduğu için çevresel etkilerden dolayı çürüme ve küflenme yapabilir. Ancak çevresel etkilerden kaynaklanan olumsuzluklar katkı maddeleriyle kontrol altına alınabilir (Ülker, 2009).



Şekil 75. Mantar yalıtım örnekleri (URL-41)

Termal ısı iletkenliği 0.035-0.043W/mK arasındadır. Dış duvarlar, yüzer şap, ahşap döşeme altında ve çatılarda ısı ve ses yalıtımının ortak çözülmesi istenilen durumlarda kullanılabilir. Yapılan çalışmalara göre termal performansında bozulma olmadan uzun yıllar kullanılabilir. Tarımsal atıkların geri dönüşümünü teşvik eden doğal bir ısı yalıtım malzemesidir. Yenilenebilir bir malzemedir ve insan sağlığına zararı yoktur (Silvestre vd., 2016; Sierra-Perez vd., 2018; Maaloufa, 2015).

1.8.2.2.7. Koyun Yünü

Evcilleştirilen ilk hayvanlardan olan koyun doğal yün sağlayıcısıdır ve koyun yünü bilinen en eski yalıtım ürünlerinden biridir. Avustralya, Asya ve Orta doğu' nun sıcak bölgelerinde Kuzey Avrupa, Rusya, İzlanda ve Güney Amerika'da farklı birçok tür yetiştirilmektedir. Koyun yünü nemi emer ve oluşabilecek küfü engeller. Sesi emme

özelliğinden akustik amaçlı kullanılan mükemmel bir yalıtım malzemesidir (YE vd., 2006). Farklı sıcaklık, yoğunluk ve kalınlıklar ile yapılan deneysel çalışmalarla ısı iletkenlik değeri 0,034-0.050 W/mK arasında bulunmuştur (Zach vd., 2012) (Şelil 76).



Şekil 76. Koyun yünü yalıtım (URL-42)

İnşaat uygulamalarının ve malzemelerinin çevresel etkileri ile ilgili toplumsal endişeler, “yeşil” bina ürünlerinin talebi, üretimi ve kullanımındaki artışla beraber daha fazla biyo-ürün, doğal ve yenilenebilir kaynakları inşaat endüstrisine entegre etme arzusuyla birleştirilmesi, koyun yününden yapılan yalıtımın üretimine ve tanıtımına kadar uzanmıştır. Yün keçe izolasyonu üretimi için mevcut olan en ucuz koyun yünü kullanılması ürünün performansında olumsuz bir etki oluşturmamıştır (Corscadden vd., 2014; Bosia, 2015).

1.8.2.3. Gelişmiş Yalıtım Malzemeleri

Gelişen teknolojiyle beraber kullanım alanları ve avantajları artan yalıtım malzemeleri aerojeller, vakum yalıtım paneli (VIP) ve gaz dolgulu paneller (GFP) alt başlıklarda detaylı olarak açıklanmıştır.

1.8.2.3.1. Aerojeller

Aerojel, jelin sıvı bileşeninin bir gazla değiştirildiği bir tür sentetik gözenekli malzemedir (Şekil 77). Düşük kütle yoğunluklarına sahip olmasının yanında, neredeyse %100'ünü oluşturan hafif gazlı köpükte havadan başka bir şey yoktur (kesin rakamlar %95 ve %99,9). Kalan köpük malzeme silisyum olarak da bilinen silikon dioksittir. Aerojel, diğer ticari yalıtım malzemelerine göre spesifik akustik özelliklere ve önemli ölçüde daha düşük termal iletkenliğe sahiptir. Isı iletkenlik değeri 0.013 W/mK'dir. Ayrıca yarı saydam yapı gibi üstün fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptir. Bu nedenle, bina uygulamaları için en umut verici ısı yalıtım malzemelerinden biri olarak kabul edilmektedir. Konut ve endüstriyel binalardaki uygulamalarının yanı sıra, aerojel uzay araçları, gökdelenler, otomobiller, elektronik cihazlar, kıyafetler vb. gibi çok fazla uygulama alanına sahiptir. Bina uygulamalarında takviye ürünlerle esnek ısı yalıtım şiltesi halinde kullanılır. Üretim maliyetini düşürmek ve böylece tüm dünyada yaygınlaşmasını sağlamak için yoğun çaba harcanmaktadır (Cuce vd., 2014; Baetens vd., 2011; Leydecker, 2008; Gurav vd., 2010; Nakagaito vd., 2013; Dorcheh ve Abbasi, 2008).



Şekil 77. Bina uygulamaları için yüksek yoğunluklu aerojel yalıtım (URL-43 ve URL-44)

1.8.2.3.2. Vakum Yalıtım Paneli (VIP)

Vakum yalıtım paneli (VIP) yüksek performanslı ısı yalıtım bileşenlerinden oluşan son teknoloji yalıtım malzemelerindendir (Şekil 78). VIP'ler bugün piyasadaki en umut verici yüksek performanslı ısı yalıtım çözümlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Yüksek termal direnci, ince olmasına karşın enerji tasarruflu bina kabukları için yeni

çözümler sunmaktadır (Simmler ve Brunner, 2005) VIP ısı iletkenlik değeri yaklaşık olarak 0.004 W /mK 'dır (Simmler vd., 2005).



Şekil 78. Vakumlu yalıtım paneli (VIP) (Batard, 2017)

Daha yüksek termal dirençleri nedeniyle vakum yalıtım panelleri (VIP'ler) geleneksel bina yalıtım malzemelerine göre enerji tasarrufunda alternatif malzemelerdir. Vakumlu yalıtım panelleri, gözenekli yapıdaki iç dolgu malzemesi ve ihtiyaca göre gaz giderici eklenerek dış zarfın içine konulup vakumlanması ile oluşturulmaktadır. Dış yüzeydeki çekirdeği saran kaplama metal veya alüminyum folyo gibi malzemelerdir. VIP malzemenin ömrü belirlendikten sonra çekirdek ve gaz giderici tercih edilir. İç dolgu malzemesi (çekirdek) olarak genellikle dumanlı silika olmak üzere, cam elyafı, köpükler, perlit ve elyaf, toz kompozitler gibi çeşitli malzemeler kullanılmaktadır (Alam vd., 2011; Wakili vd., 2004; Beck vd., 2007). Bununla birlikte, panel zarfı ve termal performansın zaman içinde bozulması nedeniyle termal köprüleme mevcut teknoloji ile gerçekleşir. Ayrıca, VIP'ler sahada kesilemez ve paneller zarar görmeye karşı kırılgandır. Bu etkiler, genel kullanılabilirliği azaltabileceğinden bina uygulamaları için dikkate alınmalıdır (Schwab vd., 2005; Baetens vd., 2010; Araki vd., 2008).

Ülkemizde yeterince tanınmaması ve çekirdek malzemesinin üretiminin dışardan temin edilmesinden dolayı ekonomik olmadığından yaygın olarak kullanılmamaktadır. Çekirdek üretiminin ülkemizde yapılmasıyla beraber zaman içinde çeşitli alanlarda kullanım imkânı artacak, enerji tasarrufunda çevreye yararlı bir malzeme olarak kullanılacaktır (Bayrakçı vd., 2011).

1.8.2.3.3. Gaz Dolgulu Paneller (GFP)

Gaz dolgulu paneller (GFP), dış ortamla geçirgenliği azaltılmış ve kaplama malzemesi ile izolasyonu sağlanmış, tüp şeklindeki gözlerde ısı iletim kat sayısı düşük gaz bulunan yalıtım panelidir (Şekil 79). Prensip olarak vakum yalıtım panellerine benzer özellikleri vardır. Isı iletim kat sayısı yaklaşık olarak 0.040 W /mK ' dir. GFP' ler bina uygulamalarında yüksek performanslı ısı yalıtım çözümleri sunmaktadır (Kralj vd., 2011; Jelle, 2011; Shrestha vd., 2014; Jelle vd., 2011; Baetens vd., 2010).



Şekil 79. Gaz dolgulu panel (GFP) örnekleri (Jelle vd., 2011)

1.8.3. Bina Enerji Performansı ve Yalıtım Uygulamaları

Binalar, hızlı nüfus artışı, gelişen teknoloji, kullanıcı isteklerinin artması ve enerji tüketiminin yoğun olarak gerçekleşmesine bağlı olarak, CO₂ ve sera gazı salınımının artışına neden olmaktadır (Kaya, 2016; Çetintaş ve Yılmaz, 2017). Gelişmiş ülkelerde binalar, toplam enerji kullanımının neredeyse %50'sini ve küresel sera gazı emisyonlarının %30'unu oluşturmaktadır. Binaların kullanım enerjisi büyük ölçüde binanın çeşitli fiziksel ve işlevsel özelliklerine ve ayrıca meteorolojik ve zamansal özelliklere bağlıdır (Fathi vd., 2020).

Enerji performans parametrelerinin doğru uygulanması bir binada tüketilen ve ihtiyaç duyulan enerjiyi azaltmanın yanı sıra enerji verimliliğini artırma hedefine ulaşmada önemli bir strateji oluşturmaktadır. Bu stratejiyi uygulamak, binalardaki enerji performansını izlemek ve ölçmek için birçok yöntem ve gösterge önerilmektedir. Bununla birlikte, binada gerçekleştirilen faaliyet türleri, hava koşulları, yapı malzemeleri, HVAC sistemi ve doluluk

gibi bir bina sistemi işletiminin enerji tüketimini etkileyen çeşitli faktörler; bir binanın enerji sistemini doğru bir şekilde ölçmenin önemli adımlarındandır (Bakar vd., 2015; Moazzen vd., 2019).

Tasarım parametrelerinden biri olan yapının kabuğu iklimsel değişimlerde ısıtma ve soğutma dengesinin sağlanmasında önemli bir yere sahiptir. Enerji kayıplarını ve maliyeti minimuma indirmek için binaların tasarımını pasif ısıtma sistemlerine göre oluşturmak gerekmektedir. Bu nedenle kullanılabilecek farklı yöntemlerin en önemlilerinden biri bina yalıtım uygulamalarıdır. Binalarda harcanan enerjinin büyük bir kısmı ısıtma için kullanılmaktadır. Aktif sistemler ile desteklenen ısıtmanın fazla kullanımı enerji giderlerinin kontrolsüz artışına neden olmasının yanında, kaynakların giderek azalmasına ve çevre kirliliğine neden olmaktadır (Özel ve Pıhtılı, 2005).

Bu bağlamda enerji tüketimindeki önemli etkenlerden biri ısıtma ve soğutma için yapılan uygulamalardır. Isı kayıp ve kazançlarını azaltmak için ısıtma ve soğutmanın yanında, bina kabuğu, iklim verileri, yapının dış çevreyle kullanılması yapı malzeme seçimi ve uygulaması gelmektedir (Yüksek ve Sıvacılar, 2017).

Büyük enerji tüketiminin ana kaynağı olan binalar için ısıtma ve iklimlendirme yükü birçok yolla azaltılabilir. Bunların arasında bina kabuğu, bileşenlerinin doğru tasarımı ve kullanılan malzeme seçimi önem taşımaktadır. Binalarda ısı yalıtımının doğru kullanılması sadece gerekli klima sistemi boyutunun küçültülmesine değil, aynı zamanda yıllık enerji maliyetinin de düşürülmesine katkıda bulunur. Ayrıca özellikle mevsimler arası dönemlerde mekanik iklimlendirmeye bağlı kalmadan ısı konfor sürelerinin uzatılmasına yardımcı olmaktadır. Isı yalıtımı kullanılması sonucunda enerji tasarrufunun büyüklüğü, bina tipine, binanın bulunduğu iklim şartlarına ve kullanılan yalıtım malzemesinin türüne göre değişiklik göstermektedir (Al-Homoud, 2005).

Binalarda enerji verimliliği sadece ısıtma talebine göre değil, aynı zamanda birincil enerji talebine göre de değerlendirileceğinden, tüm değerlendirme için yapı malzemelerinin ekolojik özellikleri önem taşımaktadır. Yeşil yapı malzemelerine olan talep, özellikle yenilenebilir kaynaklardan üretilen yalıtım malzemeleri olmak üzere hızla artmaktadır. Doğal malzemelerin uygulanması, artan enerji tasarrufu, doğal malzemeleri kullanma, mimari ve inşaatı sürdürülebilir kalkınma süreçlerine dahil etme ihtiyacı artan çevresel kirlenme ve parçalanamayan malzeme kullanımının sonucunda giderek daha önemli bir hale gelmektedir (Korjenic vd., 2011).

Binalarda enerji korunumunun sağlanmasına yönelik alınan enerji performans önlemleri pasif ve aktif olarak iki başlıkta incelenmektedir. Pasif sistemler binanın şekli, yönlenmesi gibi binaya ilişkin parametrelerden kabuk elemanı gibi malzeme seçimine kadar uzanmaktadır. Aktif sistemler aydınlatma, ısıtma-soğutma ve havalandırma olan mekanik sistemler, binanın tasarım ya da kullanım aşamasında belirli koşullardan dolayı değişiklik gösterebilecek sistemlerdir (Solmaz, 2015).

Bina enerji performansı bağlamında ele alınan pasif sistem parametreleri Tablo 1.'de üç ana gruba ayrılarak incelenmektedir.

Tablo 1. Bina enerji performansı parametreleri (Özdemir, 2005; Akın ve Kaplan, 2019)

Kullanıcıya İlişkin Parametreler	Çevreye İlişkin Parametreler	Yerleşme ve Binaya İlişkin Parametreler
• Aktivite düzeyi • Yaş • Cinsiyet • Kullanım şekli • Kullanıcı sayısı	• Topoğrafya • Dış İklimsel Parametreler ➤ Dış hava sıcaklığı ➤ Dış hava nemi ➤ Güneş ışınlamı ➤ Rüzgâr • İç iklimsel Parametreler ➤ Hava sıcaklığı ➤ Yüzey sıcaklığı ➤ Hava hareketi ➤ Hava nemi • Doğal Çevre Örtüsü	• Binanın formu • Binanın yeri • Binanın yönlendiriliş durumu • Bina aralıkları ve yükseklikleri • Bina kabuğu optik ve termofiziksel özellikleri • Doğal havalandırma • Güneş kontrol elemanları

1.8.4. Bina Enerji Simülasyonu

Binaların modelleme ve simülasyonunda önemli bir dönüşüme, üç boyutlu görselleştirme ve sanal gerçeklik teknolojilerine dayanan yeni modelleme metodolojilerinin gelişimi görülmektedir (Akpan ve Shanker, (2017). Bina simülasyonu, gerçek sistemin verilerini analiz ederek, model bina üzerinden gerekli detayların eklenerek gerçek sistemi tahmin etmeye dayanan bir yazılım olarak tanımlanabilir. Bina enerji simülasyon programları, bir binanın yaşam döngüsü boyunca hem tasarım hem de işletme

aşamalarında bina enerji performansının değerlendirilmesini sağlayan araçlardır. Bina enerji kullanımını simüle etmek, kaynakları tüketmeden toplumun ihtiyaçlarını daha iyi karşılayabilecek yüksek performanslı binaların tasarlanmasında kilit bir strateji haline gelmektedir. Bu nedenle, bina tasarımı ve inşaat projelerinde bina enerji performansının doğru tahminlerinin sağlanması önemlidir (Shin ve Haberl, 2019; Hensen, 2003; Augenbroe, 2002).

Bina simülasyonunun felsefesi, kullanıcının içinde belirtebileceği sanal bir bina oluşturmaktır. Bina performansını etkileyen detay parametreleri ortaya çıkan performansla gerçeğe mümkün olduğunca yakın tahminler oluşturmaktadır. Yıllar içinde çok çeşitli bina enerji simülasyon programları geliştirilip iyileştirilerek, bina enerji topluluğu genelinde kullanılmaktadır. Genel modelleme özellikleri, bölge yükleri, bina kabuğu, güneş ışığı, aydınlatma, havalandırma, çok bölgeli hava akışı, yenilenebilir enerji sistemleri, kullanıcı alışkanlıkları, elektrik sistemleri ve ekipmanları; HVAC sistemleri ve ekipmanı, çevresel emisyonlar, ekonomik değerlendirme, iklim verilerinin kullanılabilirliği, sonuçların raporlanması, doğrulama ve diğer programlara bağlantılar gibi çok yönlü değerlendirme yapma avantajları sağlamaktadır (Morbiter, 2003; Hui, 2002).

Binalarının sürdürülebilir performansını modellemenin başarısı, büyük ölçüde kullanılan sürdürülebilir enerji performans göstergeleri ile ilişkilendirilmektedir. Kullanılan bina enerji simülasyon programlarına örnek olarak, BLAST, BSim, DeST, DOE-2.1E, ECOTECT, Ener-Win, Energy Express, Energy-10, EnergyPlus, Desing Builder, eQUEST, ESP-r, IDA ICE, IES VE, HAP, HEED, PowerDomus, SUNREL, Tas, TRACE ve TRNSYS verilebilmektedir (Crawley vd., 2008).

Çalışmada enerji simülasyonu için yaygın olarak tercih edilen DesingBuilder programı kullanılmıştır. DesingBuilder, EnergyPlus arayüzüyle entegre çalışan kullanıcı dostu gelişmiş modelleme programlarından biridir. Binaların enerji tüketimleri, CO₂salınımı, enerji performans analizi, maliyet ve konfor değerlerinde analiz yapan dinamik bir simülasyon programıdır. Simülasyon yapılırken programa bina enerji performans parametreleriyle beraber elektrik, aydınlatma, ısıtma, soğutma ve havalandırma gibi mekanik sistemler tanımlanmaktadır. Programda saatlik, günlük, aylık ve yıllık olarak hesaplar alınabilmektedir (Öz, 2015; Zhang, 2014).

1.9. Ahşap malzeme ve Yalıtım Uygulamaları ile İlgili Yapılan Çalışmalar

İklim değişikliği, küresel ısınma ve çevresel etkiler nedeniyle enerji politikaları tüm dünyada aktif olarak tartışılmaktadır. Binalarda, enerji tüketimini azaltmak için çevre dostu ve sürdürülebilir yapı malzemeleri kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu tür malzemelere örnek olarak verilebilen çapraz lamine ahşap (CLT) duvar katmanları dik açılı olarak istiflenen ve büyük katı paneller halinde üretilen çevre dostu bir malzemedir. Cho, (2019) çalışmasında Seul, Kore'nin iklim koşullarını kullanarak CLT duvarının su içeriğini, WUFI simülasyonu ile küf büyüme riskini ve DesignBuilder tarafından enerji yükünü göstererek CLT duvarının higrotermal özelliklerini analiz etmiştir. CLT duvarları Ext_EPS, Ext_FG ve bir dış yalıtım sistemine dayalı Ext_EPSFG ve bir iç yalıtım sistemine dayalı Int_EPS, Int_FG ve Int_EPSFG duvarları simülasyon analizi için hazırlanmıştır. Duvar Ext_EPSFG'nin toplam su içeriği (TWC), en düşük TWC olan 8,67 kg/m² olarak ölçülmüştür. Bu, harici yalıtım sistemi duvarının TWC 'sinin dahili yalıtım sistemi duvarından daha düşük olduğunu gösterir. Ayrıca dış yalıtım sistemine dayanan yapının su içeriği (WC), iç yalıtım sistemine göre daha düşüktür. Bu, WC'nin maksimum %8,69' u olarak ölçülen Ext_FG'nin WC'sinin, WC'nin maksimum %10,45'i olarak ölçüle Int_EPS'den daha düşük olduğunu gösterir. Küf oluşumu riskine göre, tüm bu CLT duvar katmanlarının küf büyüme riskinin düşük olduğu ölçülmüştür. Bu makaledeki higrotermal analizler sonucunda, dış yalıtım sistemine dayanan CLT duvarlarının iç yalıtım sisteminden daha uygun olduğu görülmüştür (Cho, 2019a).

Díaz vd., (2019) çalışmasında, ahşabın termal iletkenliğini hesaplamak ve çapraz lamine kerestenin termal performansını incelemek için hesaplamalı homojenizasyon tabanlı çok ölçekli bir modelleme stratejisi benimsenmiştir. Çok ölçekli bir modelleme çerçevesi içinde ahşabın termal iletkenliğini belirlemek için mikroskopik bileşenlerinin davranışı araştırılmaktadır. Ayrıca, selüloz hacim fraksiyonunun ve mikrofibril açısının hücre duvarı malzemesinin termal iletkenliği üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Çalışmada, CLT panelleri oluşturulan varyasyonların ısıyı %20 daha az yaydığı sonucuna varılmıştır.

Dong vd., (2019) yaptığı araştırma'da, Çin'de beş farklı iklim bölgesi için enerji tasarruf potansiyelini incelemek amacıyla çapraz lamine ahşap (CLT) ofis binalarının işletimsel ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimini değerlendirmektedir. Değerlendirmeler, bir referans betonarme yapısının ve CLT sistemi ofis binalarının enerji tüketiminin karşılaştırılmasını içermektedir. Hesaplamalı simülasyon sonuçları IES-VE 2019'a

dayanmaktadır. Harbin, Pekin, Şanghay ve Kunming'deki CLT binalarının referans yapıya göre tahmini ısıtma enerjisi tasarruf oranının sırasıyla %11,97, %22,11, %30,94 ve %23,30 olduğu görülmektedir. Betonarme, tuğla ve çelik gibi geleneksel malzemelerle karşılaştırıldığında, CLT' nin inşaat için alternatif malzeme olarak iyi bir aday olduğu kanıtlanmıştır. Bununla birlikte, CLT binaları yaz aylarında soğutma için daha fazla enerji tüketir. Araştırmanın sonuçları, Çin'in soğuk bölgesindeki CLT binaları için önemli ölçüde ısıtma enerjisinde azalmalar olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, CLT sisteminin uygulanması Kuzey Çin için Güney Çin'den daha uygundur.

Cho, (2019)'da yaptığı çalışmasında ASHRAE 90.1 tarafından önerilen CLT ile yapılan orta katlı daireler enerji tüketimi açısından analiz edilmiştir. İlk olarak, ısıtma ve soğutma sırasında CLT binalarının enerji tüketimi dört tip yalıtım kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışmada, kaya yünü yalıtımı kullanılarak CLT binalarına uygulama yapılmıştır. Enerji tüketiminin yalıtım tipine göre analiz edilmesinden sonra, enerji tüketimini ve enerji verimliliğini daha fazla incelemek için seçilen iki CLT binasına beş farklı enerji tasarrufu alternatifi (enerji tasarrufu, ısıtma ve soğutma ve yenilenebilir enerji teknolojileri dahil) uygulanmıştır. Hibrit yalıtım kullanan CLT binasında toplam enerji tüketimi %14,14 oranında azalırken, taş yünü yalıtım kullanılan CLT binasında %12,81 ile en yüksek toplam enerji tüketimine elde edilmiştir (Cho, vd., 2019b).

Çapraz Lamine Kereste (CLT) dayanıklılığı, kullanılabilirliği ve diğer birçok avantajı nedeniyle dünya çapında dikkat çekmektedir. Bununla birlikte, CLT keresteden yapıldığından, higrotermal performansın analizi esastır. Yoo, J. vd. 2019'da yaptıkları çalışmada, CLT duvarların higrotermal performansları analiz edilmiştir. CLT duvarların ısı iletkenliği, ısı geçirgenlik katsayısı ve su buharı direnç faktörü ölçülmüştür. Duvar sisteminin termal geçirgenlik katsayısı kullanılarak ve termo-higrostata bakılarak ölçülmüş ve simülasyonda uygulanmıştır. Ayrıca, termal nem davranışını etkileyen çeşitli koşullar, kararlı higrotermal sonuçlar elde etmek için simülasyona uygulanmıştır. Çalışmada, pasif ev ve ahşap ev standardı, iklim durumu, nefes alabilen su geçirmez katmanın varlığı ve kullanılan polistrenin yalıtım alternatifleri (EPS) ve Ekstrüde Polistiren (XPS) değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, XPS hem de EPS uygulamalarının nem üzerinde bir fark yaratmadığı, ancak mineral yün uygulamasının CLT duvar sisteminin higrotermal performansını olumsuz etkilediği görülmüştür. Yalıtım kalınlığı pasif ev için standart 0.15 W/mK termal iletkenlik değerine ve ahşap ev için standart 0.21 W/mK termal iletkenlik değerine göre tasarlanmıştır (Yoo vd., 2019).

Chang vd., 2019'da çalışmada, CLT' nin ana malzemesi olarak yerli kontrplak kullanmışlardır. CLT'nin termal özellikleri ve ısı transfer performansı analiz edilmiştir. Radyal, teğetsel ve boyuna doğrultulardaki CLT'nin termal iletkenlikleri, sırasıyla 0.104 W/(m K), 0.111 W/(m K) ve 0.122 W/(m K)'dır. ISO 10211 ile yapılan ısı transfer analizinin sonuçları, CLT duvarlarının ahşap çerçeve yapı duvarlarından daha düşük ısı köprülerine sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca, dış yalıtımlı CLT duvarları daha düşük ısı köprülerine sahiptir. Ek olarak, tüm bağlantılarda kendinden kılavuzlu vida birleştirme yöntemi, düşük termal geçirgenlik katsayısı nedeniyle mükemmel yalıtım performansını koruyabilmiştir. Tüm bağlantılarda kendinden kılavuzlu vida birleştirme yöntemi, düşük termal geçirgenlik katsayısı nedeniyle mükemmel yalıtım performansını koruyabilmiştir (Chang vd., 2019).

Guo vd., 2020'de yaptıkları araştırmanın amacı, Çin'in soğuk bölgelerindeki çapraz lamine ahşap (CLT) ve saman konut binalarının enerji sürdürülebilirliğini araştırmaktır. Çalışmada, farklı iklim bölgelerindeki referans konut binalarında bina zarfını tasarlamak için üç yapı malzemesi, betonarme (RC), CLT ve saman balyası ayrı ayrı kullanılmaktadır. Bu binaların işletme aşamasındaki enerji tüketimi daha sonra (IES-VE) programı kullanılarak simüle edilmiştir. Sonuçlar hem CLT hem de saman binalarının, işletme aşamasında enerji tüketiminde bir azalma ile betonarme yapıdan daha verimli olduğunu göstermektedir. Genel olarak, Hailar, Harbin, Urumchi, Lanzhou ve Pekin'deki CLT binaları için hesaplanan ısıtma enerji tasarrufu oranları %3.04, %7.39, 7'dir. RC' ile karşılaştırıldığında sırasıyla %43, %12.69 ve %13.41' dir. Bu şehirlerde saman binalarında ısıtma için hesaplanan enerji tasarrufu oranları sırasıyla %8.04, %22.09, % 22.17, %33.02 ve %34.28'dir. Sonuçlar ayrıca, ana bina cephesinin güney yönünün doğu veya batı yönlerine göre yaklaşık %5 ila %7 enerji azalmasıyla sonuçlandığını ve bina yüksekliği arttıkça enerji tüketiminin kademeli olarak azaldığını göstermektedir. Betonarmenin Çin'deki soğuk bölgelerde en çok kullanılan yapı malzemesi olmasına rağmen, biyo bazlı yapı malzemeleri olarak, enerji sürdürülebilirlik özellikleri açısından CLT ve saman balyası yapımını teşvik etme potansiyeli büyüktür.

Cetiner ve Shea, (2018) çalışmasına göre ahşap atık formundaki doğal lifli malzemenin ahşap çerçeve duvar yapımında, herhangi bir bağlayıcı eklenmeden, bir ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılmasının uygunluğunu deneysel olarak incelenmiştir. Ağaç atığı, işlenmemiş malzeme kullanılarak birincil üretim kaynaklarından elde edilir. Deney sonuçlarına göre farklı yoğunluktaki ahşap atığının ısı iletkenlik değerleri 0.048-

0.055 W/mK arasında değişmektedir. Bu değerler, piyasada bulunan diğer doğal yalıtım malzemeleri ile karşılaştırılabilir olmakla birlikte düşük maliyetli bir yan ürün olmanın ekonomik avantajına sahip olup yaygın olarak kullanılan inorganik esaslı yalıtım malzemelerinden biraz daha yüksektir. Kereste çerçeve duvar yapımında malzeme performansı ve yalıtım malzemesi olarak uygulanmasının daha iyi anlaşılmasını sağlamak amacıyla atık odunun hijyenik özelliklerinin karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmada elde edilen deneysel sonuçlara göre, bir ısı yalıtım malzemesi olarak verimli bir şekilde kullanılabilir. Ölçülen termal iletkenliği değeri, inşaat piyasasında doğal yalıtım malzemeleri olarak kullanılmış olan ahşap lifleri, talaş ve saman balyası değerlerine yakın ve sazlardan ve tahıllardan daha düşüktür. İnorganik yalıtım malzemeleri ile karşılaştırıldığında, daha yüksek termal iletkenlik değerine sahiptir. Çalışmada düşük etkili ve maliyetli doğal malzemelerin tasarımlarında kullanılması uygun bulunmuştur.

Aigbomian ve Fan, (2013) yaptığı çalışmada, talaş, atık kâğıt ve ticari kireç kullanarak ahşap-girit adında yeni bir malzeme geliştirmişlerdir. Bu malzeme bina inşaatı için yalıtım özellikleri ile üretilen hafif bir bloktur. 473 kg/m³ yoğunluk, 0.06-0.08 MPa arasında basınç dayanımı için iyi yalıtım ve mukavemet göstermiştir. Yalıtım malzemesi olarak kullanılan bloklarda ısı iletkenlik değeri 0.046-0.069 W/mK arasındadır. Geliştirilen ahşap-grit, önemli miktarda darbe yüküne dayanabilmiştir. Bu malzeme özellik beklenen durumlarda, içi boş bloklarda dolgu malzemesi olarak ve iç mekanlarda kullanılabilir.

Nicolajsen, (2005) yaptığı çalışmada, selüloz yalıtım malzemesinin termal performansı ile taş yünü keçelerinin termal performansı karşılaştırılmıştır. Çalışmada, selüloz gevşek dolgu yalıtım malzemesi ve taş yünü ile izole edilmiş cephe elemanlarındaki nem içeriği ve nemin termal geçirgenlik üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Cephe elemanları ahşap çerçeve konstrüksiyon olarak fabrikada yapılmıştır. Cephe elemanlarının kalınlıkları 584 mm x 2683 mm, kullanılan selüloz ve taş yünü yalıtım kalınlıkları 285 mm olup tüm elemanlar 19mm x 2683 mm çam tahtası kaplamasına sahiptir. Cephe elemanlarından ısı akışı, dahili ısı akış ölçerleri ile ölçülmüş ve ısı yalıtımındaki nem içeriği, nem ölçüm dübelleriyle ölçülmüştür. Sonuç olarak test edilen selüloz gevşek dolgu yalıtım malzemesinin termal performansının, taş yünü keçelerinin termal performansından önemli ölçüde daha düşük olduğu belirtilmiştir. Termal geçirgenlik, araştırılan higroskopik aralıktaki nem içeriğindeki değişikliklerle değişmemiştir.

Dodoo vd., (2014) yaptığı çalışmada, yüksek enerji verimliliği seviyesine göre tasarlanmış çok katlı bina için üç farklı ahşap bina sisteminin birincil enerji etkilerini incelemiştir. Bu üç sistemi; 1. çapraz lamine ahşap, kiriş, 2.Glulam ve LVL kullanılan sütunlar ve 3.modüler prefabrik sistemlerdir. Analiz, binaların üretim, kullanım ve kullanım sonrası yaşam döngüsü aşamalarındaki enerji ve malzeme akışlarını dikkate almaktadır. Yalıtım malzemesi seçeneklerinin etkileri ve farklı yapı elemanlarının binalar için üretim enerjisine katkısı araştırılmaktadır. Sonuçlar, dış ve iç duvarların, tüm bina sistemleri için üretim enerjisinin en büyük payını oluşturduğunu ve katkısının farklı sistemler için karşılaştırılabilir olduğunu göstermektedir. Genel olarak, çapraz lamine ahşap bina sistemi, taş yünü ile yalıtıldığında en düşük yaşam döngüsü birincil enerji dengesini sağlamaktadır. CLT yapı sistemi kolon, kiriş ve modüler sistemlere göre sırasıyla %16 ve %6 azalma sağlamıştır.50 yıllık bir süre boyunca CLT bina sistemi diğer bina sistemleriyle kıyaslandığında %11 ve %10 daha düşük alan ısıtma ve havalandırma birincil enerji talebine sahiptir. Hava sızdırmazlık cam yünü ile izole edilmiş yapıda, diğer yapı sistemlerinin tersine daha düşüktür. Geliştirilmiş hava sızdırmazlığı ve yalıtım katmanı ile kiriş, kolon ve modüler yapı sistemleri için toplam birincil enerji kullanımının sırasıyla %7 ve %9 azaltılabilir olduğu bulunmuştur.

Latif vd., (2014) yaptığı çalışmada, aynı U değerine sahip üç duvar paneli dinamik higrotermal sınır koşulları altında değerlendirilmiştir. Test edilen 3 adet ahşap yalıtımlı panel Mineral Yün Panel, Ahşap Fiber Panel ve Biond Paneldir (odun lifi ve kenevir-kireç birleşimi). Çalışma sonucunda, Biond panel en yüksek ısı depolama ve bırakma kabiliyetini gösterirken, Mineral Yün Panel en düşük ısı depolama kabiliyetini göstermiştir. Nem yönetimi açısından Biond panel, panel yapısı içinde en yüksek nem sönümleme kabiliyetine sahiptir. Biond panelin daha yüksek termal ataleti sayesinde konutların aşırı ısınmasını ve yoğunlaşmayı azaltmada faydalı olabileceği belirtilmiştir.

Hildebrandt vd., (2017)'de yaptıkları araştırmada, AB'nin ahşap yapıların gelecekteki gelişimini ve ilgili sera gazı etkilerini analiz etmişlerdir ve araştırmaları, CLT yapılarına sahip konut binalarının geleneksel bina tiplerinden daha iyi malzeme verimliliğine sahip olduğunu belirtmiştir (Hildebrandt, 2017).

Guo vd., (2017) 'de yaptıkları çalışmada Referans konut binasının işletme enerji kullanımını Çin'deki 31 farklı iklim bölgesinde betonarme ve CLT yapılarla karşılaştırmıştır. Çalışmada IESTM programı kullanarak enerji tüketimi simüle edilmiş ve karbon emisyonları hesaplanmıştır. Binalardaki beton, CLT ile değiştirilerek, referans

binanın enerji tüketimi, geleneksel yapınınkinden %29,4 daha düşük hale getirilmiştir. Tüm beton yapılar CLT ile değiştirildiği zaman %24,6 oranında enerji tüketiminde azalma sağlanmıştır (Guo, 2017).

Kawasaki ve Kawai, (2006)'nın yaptıkları çalışmada, duvarlar ve zeminler için ahşap esaslı yapısal yalıtım malzemesi olarak geliştirilen düşük yoğunlukta lif levhalı (kontrplak yüzülü sandviç, PSW) kalın kontrplak yüzülü sandviç panellerin, ısı yalıtımı ve sıcaklık koruma özellikleri kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir. Odaklanılan özellikler termal iletkenlik (λ), termal direnç (R) ve termal yayılma gücü (D)'dür. PSW panellerinin sonuçları ticari ahşap esaslı levhalar, masif ahşap ve EPS, XPS, fenol köpük ve Fiberglas yün ile karşılaştırılmıştır. λ değerleri PSW panelleri ve bunların çekirdek ve yüz elemanları için ölçülmüştür. Çalışmada PSW panellerin yoğunluğu PSW350 için 340 kg / m³ ve PSW400 için 410kg / m³, ısı iletkenlik değerleri sırasıyla 0.070 ve 0.077 W / mK, R değerleri sırasıyla 1.4 ve 1.2 m²K/W ve D değerleri sırasıyla 0.00050 ve 0.00046 m² / h olarak bulunmuştur. Sonuç olarak PSW, diğer malzemeler göre ısı yalıtım ve sıcaklık tutma özellikleri açısından büyük avantaj sağlamıştır. Yeterli kalınlığa sahip PSW paneli, levhalara kıyasla önemli ölçüde geliştirilmiş termal direnç göstermiştir.

Asdrubali vd., (2016) yaptığı çalışmada, oluklu mukavvadan yapılan yenilikçi, termal-akustik yalıtım panelleri deneysel, analitik ve sayısal olarak çalışılmış, ayrıca çevresel etkilerin bir yaşam döngüsü değerlendirmesi analizi ile tanımlanmıştır. Özellikle ambalaj sanayinde kullanılan karton tabakalar, sürdürülebilir yapıların pazarına hazır olacak şekilde geometri ve tasarım açısından optimize edilmiştir. Akustik analiz, incelenen panellerin ses emme davranışı özellikle belirgin olmamasına rağmen, ses yalıtım özelliklerinin oldukça dikkat çekici olduğunu göstermiştir. Termal iletkenlik analizi, bu panellerin yüksek performanslı ticari ürünlerin termal yalıtım kapasitesine ulaşmadığını göstermiştir. Bununla birlikte, termal iletkenlik değeri 0.0524 W/mK'ye ulaşmış ve termal yalıtım panelleri olarak kabul edilebilir oldukları belirtilmiştir. Çalışmanın ana sonuçları, genellikle düşük maliyetli ambalajlar için uygulanan karton yapımı panellerin hem akustik hem de termal yalıtım potansiyeli açısından ümit vaat eden bir performans sergilediğini göstermiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak seçilen Trabzon ili, 38° 30' – 40° 30' doğu meridyenleri ile 40° 30' – 41° 30' kuzey paralelleri arasında Doğu Karadeniz bölgesinde bulunmaktadır. 4.664 km² yüz ölçüme sahip Trabzon ilinin güneyinde Gümüşhane ve Bayburt, batısında Giresun, doğusunda Rize illeri, kuzeyinde de Karadeniz yer almaktadır (URL-45). Trabzon, Köppen-Geiger'a göre Cfa iklim sınıfında, sıcak ve ılıman bir iklim sahip ve her mevsim bol yağış almaktadır. Yıllık ortalama sıcaklığı 14.4 °C'dir (URL-46). Yıllık yağış miktarı 800-850 kg/m² olan nemli iklime sahip Trabzon'da, yıl içinde nem oranı %99'ları bulmaktadır (URL-45). Trabzon ilinde elde edilen verilere göre iki farklı iklim tipi mevcuttur. Trabzon il merkezi (yükseklik:30 m) ve ilçe Maçka' dan (yükseklik: 250 m) alınan verilere göre; merkez için ılıman nemli iklim, Maçka için karasal iklim görüldüğü saptanmıştır (URL-47). Tablo 2'de Trabzon iline ait yaklaşık 90 yıllık iklim verileri gösterilmektedir.

Tablo 2. Trabzon ili 1927 – 2019 yılları arası ölçüm periyoduna göre iklim verileri (URL-48)

	Ort. Sıc (°C)	Ort. En Yük. Sıc (°C)	Ort. En Düş. Sıc (°C)	Ort. Güneşlenme Süresi (saat)	Ort Yağışlı Gün Sayısı	Aylık Toplam Yağış Mik. Ort.(mm)
Ocak	7.4	10.7	4.6	2.6	11.8	82.9
Şubat	7.2	10.7	4.3	3.2	11.7	64.6
Mart	8.3	11.9	5.4	3.4	12.6	58.4
Nisan	11.7	15.5	8.6	4.3	12.4	56.9
Mayıs	15.8	19.1	12.9	5.5	12.3	52.1
Haziran	20.1	23.1	17.0	7.0	10.3	51.8
Temmuz	22.9	25.9	19.9	5.9	7.6	35.6
Ağustos	23.3	26.5	20.3	5.6	8.3	48.0
Eylül	20.3	23.7	17.3	4.9	10.4	78.6
Ekim	16.6	20.0	13.6	4.5	11.8	115.4
Kasım	12.9	16.5	10.0	3.6	11.3	99.6
Aralık	9.5	12.9	6.7	2.6	12.0	85.7
Yıllık	14.7	18.0	11.7	53.1	132.5	829.6

2.2. Yöntem

CLT konut binası için alternatif yalıtım malzemeleriyle enerji performans analizinin yapıldığı bu çalışma literatür taraması, deneysel ölçüm ve simülasyon olarak 3 aşamalı kurgulanmıştır. İlk aşamada çalışma konusu belirlendikten sonra ilgili başlıklarda detaylı veri analizi ve konu ile alakalı yapılmış çalışmalar incelenmiştir. İkinci aşamada gerekli olan malzemelerin temin edilmesiyle oluşturulan duvar katmanları alternatiflerinin ısı iletkenlik kat sayısının belirlmesine yönelik deneysel ölçümler yapılmıştır. Üçüncü aşamada tasarlanan öneri modelde, bina kabuğunda oluşturulan alternatifler ve belirlenen parametreler ile Doğu Karadeniz Bölgesi iklim verileri üzerinde enerji simülasyonu yapılmıştır.

2.2.1. Isı iletkenlik Kat Sayısı Ölçümleri

Yalıtım malzemeleri, binaların enerji verimliliğini artırmada ve enerji tüketimini azaltmada önemli rol oynamaktadır. Yüksek enerji verimliliği standartlarına ulaşmak için binalarda çeşitli yalıtım sistemleri kullanılmaktadır. Yalıtım malzemeleri duvar katmanının ısı iletkenlik değerlerini etkileyen en önemli unsurlardan biridir. Bu nedenle çalışma kapsamında geliştirilen CLT malzemeli duvar elemanı için alternatif yalıtım malzemeleri denenerek ısı iletkenlik değerlerini belirlemeye yönelik ölçümler yapılmıştır. Ayrıca dış cephe kaplama malzemesinin ısı iletkenlik üzerine etkilerini değerlendirmek için alçı, lambri, OSB ve kontrplak olmak üzere 4 farklı levha ile ısı iletkenlik ölçümü, CLT duvar elemanı standart tutularak gerçekleştirilmiştir. CLT ısı iletkenlik değeri, yalıtım ve kaplama malzemesi kullanılmadan da ölçümü yapılmıştır.

Kaplamaların ısı iletkenliğinin ölçümünde Laser Comp (USA) tarafından üretilen Fox 314 ısı iletkenlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz, sıcaklıkları kontrol edilebilen 2 düz plaka arasına yerleştirilen 30x30 cm ebatlarında ve max.10 cm kalınlığa kadar olan malzemelerin ısı iletimini ölçebilecek şekilde özelliktedir (Şekil 81-82). Isı iletkenlik ölçümü ASTM C518 ve ISO 8301 standardına göre yürütülmüştür. Yapılan ısı iletkenlik testlerinde üst plaka (soğuk plaka) sıcaklığı 20°C, alt plaka (sıcak plaka) sıcaklığı ise 40°C olarak seçilmiştir. Isıl iletkenlik katsayısının belirlenmesinde farklı dış cephe kaplama levhaları için 4 test grubu (alçı, lambri, OSB ve kontrplak) belirlenmiş olup, XPS, EPS, selüloz, koyun yünü, keten, keçe, taş yünü ve cam yünü

yalıtım malzemeleriyle 26 farklı ölçüm gerçekleştirilmiş ve bu değerlerin ortalamaları alınmıştır. Bu değerler Tablo 9’da detaylı bir şekilde gösterilmektedir.



Şekil 80. Lasercomp Fox-314 ısı iletkenlik cihazı

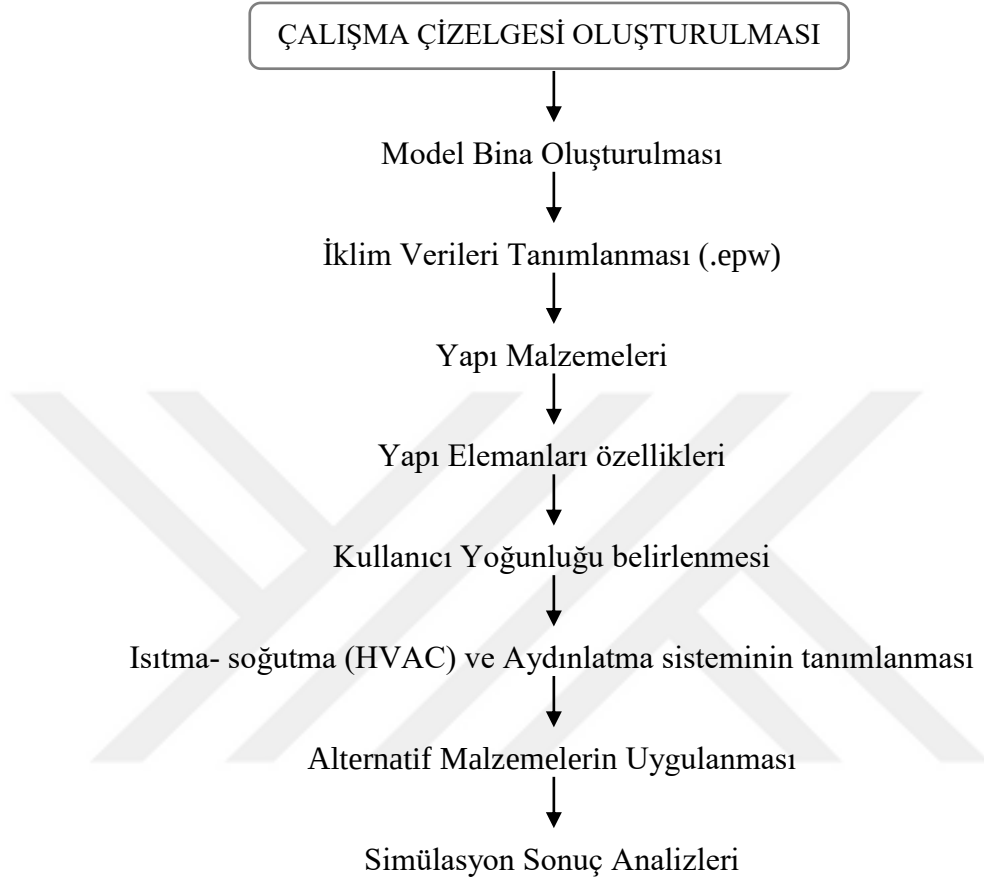


Şekil 81. Isıl iletkenlik ölçümü yapılan alternatif yalıtım malzemeleri örneği

2.2.2. Enerji Simülasyon Programı ve Bina Modellemesi

Çalışma alanı olan Trabzon ilinde CLT duvar malzemeli tek katlı konut binası projesine öneri olarak oluşturulan model binanın ısı iletkenlik ve enerji performansını incelemek için DesingnBuilder programı kullanılmıştır. Binanın enerji analizi için binanın konumu, yönü, yapı malzemelerinin özelliği, HVAC sistemi ve iklim koşulları hakkındaki bilgiler dikkate alınarak dinamik bir bina enerji performans simülasyonunu gerçekleştirilmiştir. DesingBuilder programında simülasyon için gerekli veriler düzenlendikten sonra, alternatif malzemeler kullanılarak elde edilen simülasyon sonuçları

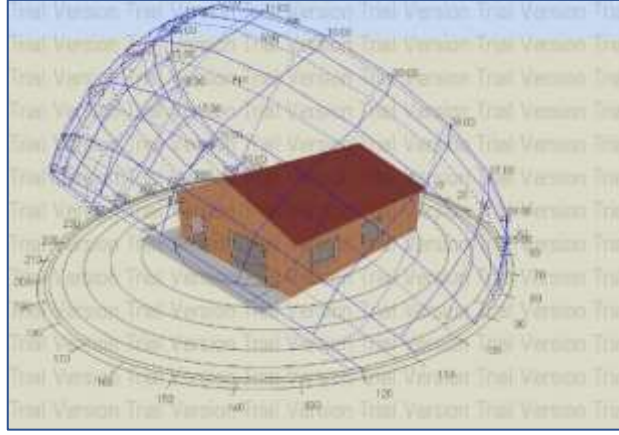
kendi içinde karşılaştırılmıştır. DesingBuilder simülasyonunda kullanılan akış şeması Şekil 82’te görülmektedir.



Şekil 82. DesingBuilder model bina akış şeması

2.2.2.1. Model Bina Girdileri

DesingBuilder enerji simülasyon programı kullanıcı yoğunluğu, ısıtma, soğutma, HVAC ve aydınlatma gibi binaya tanımlanan mekanik sistemler ile performans ölçme ve analiz yaparak gerçeğe en yakın sonuçların alınmasını sağlamaktadır. Model binada yapılan başlıca kabuller ve alınan değerler Tablo 3’ de gösterilmiştir. Şekil 83’de DesingBuilder ile modellenmesi yapılan bina verilmiştir.



Şekil 83. Desing builder model bina

Doğu Karadeniz bölgesi, Trabzon ilinde yapılan çalışma için iklim verileri (.epw) programa tanımlanmıştır. Çalışmada oluşturulan kullanıcı profili çalışan bir çift ve okula giden iki çocuktan oluşmaktadır. Yıl boyunca tatil zamanı hariç hafta içi işe giden bir çift ve okula giden çocuklar, hafta sonu ise tüm gün evde olan bir aile kabul edilmiştir. Model binada ısıtma sisteminde yakıt olarak doğal gaz, sıcak sulu radyatör ile kullanılmıştır. Havalandırma sistemi olarak ise doğal havalandırma tanımlanmıştır.

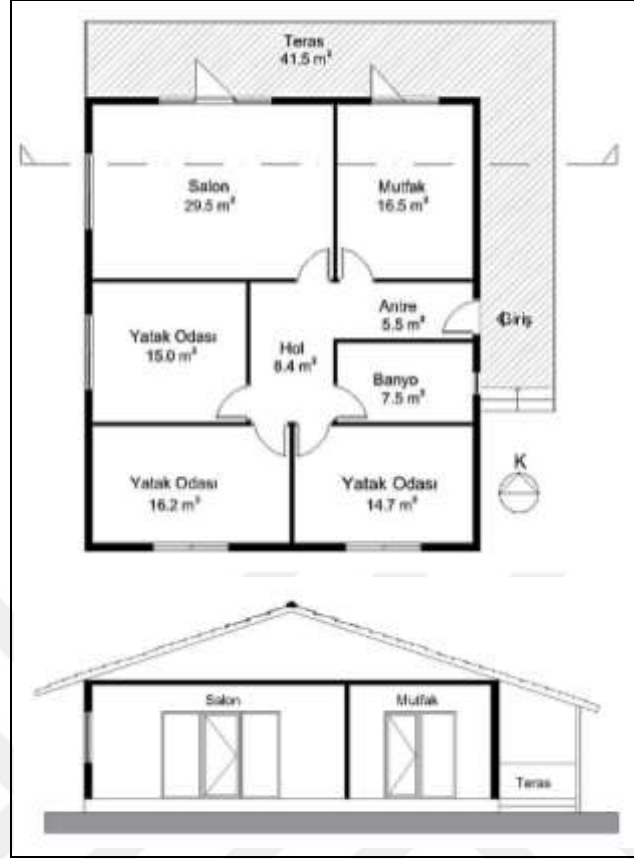
Bina iç mekan kullanımda iken belirlenen sıcaklık değeri (Heating Set point) 19 °C, bina kullanım dışı olduğunda belirlenen sıcaklık indirgeme değeri (Heating Set Back) 15 °C, bina kullanım durumunda belirlenen soğutma sıcaklığı (Cooling Set point) 25 °C , bina kullanım dışı olduğunda belirlenen soğutma indirgeme değeri (Cooling Set Back) 28 °C olarak programa tanımlanmıştır. Isıtma ve soğutma için TS 825 ve yapılan çalışmalar incelenerek model bina için standart değerler oluşturulmuştur. Model bina aktivite şablonu tek bölge olarak sisteme tanımlanmış olup, WC, mutfak gibi bölgelere ayrılmamıştır. Binanın her yerinde sıcaklık 19 °C olduğu varsayılmıştır. Çalışmada oluşturulan alternatif senaryo ölçümündeki tüm durumlar için elektrik ve aydınlatma yükleri aynı kabul edilmiştir. Elektrikle çalışan ekipmanlar ve sıcak su değerleri çalışmaya dahil edilmemiştir.

Tablo 3. Model binada başlıca kabuller ve girdiler

KABULLER	DEĞERLER	
Isıtma- Soğutma Sıcaklığı	Isıtma: 20 °C	Soğutma: 26 °C
Sızdırmazlık Oranı	0.05 ac/h	
Ailenin Konutta Bulunduğu saatler	<u>Hafta İçi</u> 18:00-08:00	<u>Hafta Sonu</u> Tüm Gün
Doluluk Yoğunluğu	0.03 kişi/ m ²	
Isıtma – Soğutma Sistemi	Isıtma: Doğal gaz	Soğutma: Klima
Havalandırma	Doğal Havalandırma	
İklim Verileri	Trabzon (.epw)	

2.2.2.2. Model Bina Genel Özellikleri

Çalışmada tek katlı bir CLT konut binası alternatif yalıtım malzemeleri kullanılarak enerji performans analizleri yapılmak üzere kurgulanmıştır. Literatürde, CLT ile inşa edilmiş konut binaları ve çizimleri detaylı olarak incelenip, çalışma alanı olarak belirlenen Trabzon ili bina yerleşim özellikleri baz alınarak referans bir bina oluşturulmuştur. Tek katlı konut binası, taban alanı 167.5 m², kapalı alan 126 m², (12 m x10.5 m), teras alanı 41.5 m² ve kat yüksekliği 3.00 m'dir. Dört kişilik aile yaşamına göre oluşturulan dikdörtgen formlu ev, salon, mutfak, 3 adet yatak odası ve banyodan oluşmaktadır (Şekil 84).



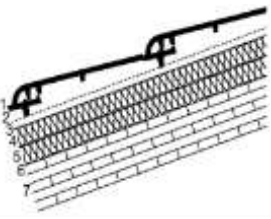
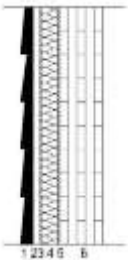
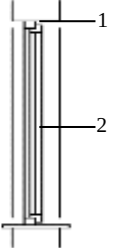
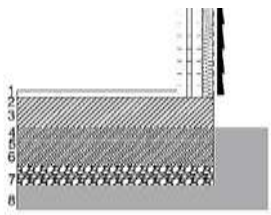
Şekil 84. CLT tek katlı konut, plan şeması ve kesiti

2.2.2.3. Model Bina Malzeme Özellikleri

Dünya’da yaygın kullanım alanına sahip olan CLT’ nin, son yıllarda ülkemizde de uygulama alanları gelişmiş ve üretim faaliyetleri başlamıştır. Yapısal ahşap malzeme CLT için Türkiye’de üretim ve uygulama sağlayan birkaç firmadan, önde gelen Asmazlar Ahşap A.Ş ile yapılan görüşmeler sonucunda model binanın konstrüksiyon sistemi ve CLT yapım sistemine uygun duvar, çatı ve temel katmanları oluşturulmuştur.

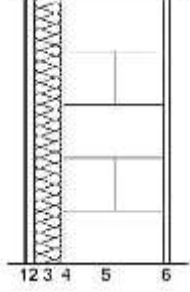
Binada kullanılan ahşap doğrama pencereler TS 825 standardına göre belirlenmiştir. Pencere camları için 4-16-4’ lük sistem, ara boşluk argon gazı kullanımı önerilmiştir. Malzemelere ait kullanılan değerler TS 825 standartı başta olmak üzere, CLT için Crosslam, duvar katmanındaki bazı değerler içinde Sutton, (2011) ve Cho, (2019) çalışmalarındaki veriler referans alınmıştır. Model bina malzeme özellikleri Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Model bina malzeme özellikleri

	Model Kesitleri	No	Malzeme	Kalınlık (mm)	λ Wm/K	P Kg/m ³	c J/(kg.K)
ÇATI KESİTİ		1	Kiremit Kaplama	30	1,0	2000	800
		2	Buhar gec. Mem.	1	2,3	130	2300
		3	Hava Boşluğu	15	-	-	-
		4	Taş Yünü Yalıtım	40	0,035	150	840
		5	Taş Yünü Yalıtım	40	0,035	110	840
		6	Su Yalıtım Mem.	1	0,23	1.3	1000
		7	CLT	100	0,13	500	1300
DUVAR KESİTİ		1	Lambri Kaplama	30	0,13	700	1200
		2	Hava Boşluğu	15	-	-	-
		3	Buhar gec. Mem.	1	2,3	130	2300
		4	Taş Yünü Yalıtım	40	0,038	40	840
		5	Su yalıtım Mem.	1	0,19	-	-
		6	CLT	10	0,13	500	1300
PENCERE KESİTİ		1	Ahşap Doğrama				
		2	Standart düz cam				
		Cam	4				
		Argon	16	2,8	-	-	
TEMEL KESİTİ		1	Ahşap zemin kap.	3	0,14	650	1200
		2	Yapıştırıcı	-	-	-	-
		3	Ahşap Su basman	350	1,74	2400	1000
		4	Koruma Şapı	50	1.40	1200	840
		5	Çift Kat Membran	2	2,3	130	2300
		6	Grobeton	100	1,30	1800	1000
		7	Kırma Taş Blokaj	8	1,3	2400	920
		8	Sıkıştırılmış Toprak Zemin	-	-	-	-
* Tabloda kesitlerde görülen taş yünü yalıtım ve lambri kaplama duvar senaryolarında kullanılan malzemeler içinden seçilmiştir.							

Oluşturulan bina modeli referans bina olarak kabul edilip, dış duvarlarında konutlarda en çok tercih edilen tuğla kullanılmış ve taş yünü malzemesi ile mantolama yapılmıştır (Tablo 5). Referans bina için oluşturulan çatı geleneksel kırma ahşap çatı sistemi olup, ağaç türü olarak meşe kullanılmıştır.

Tablo 5. Referans bina duvarlarında kullanılan malzemelerin özellikleri (TS 825)

Tuğla Duvar Kesiti	No	d (m)	Malzeme	λ W/mK	P Kg/m ³	c J/(kg.K)	U (W/ m ² K)
	1	0,005	Alçı sıva	0,70	1400	1000	0,442
	2	0,015	Çimento harçlı sıva	1,60	2000	1200	
	3	0,05	Taş yünü	0,038	40	840	
	4	0,005	Çimento harçlı sıva	1,60	2000	1200	
	5	0,19	Tuğla	0,33	600	840	
	6	0,01	Çimento harçlı sıva	1,60	2000	1200	
* Taş yünü yalıtım malzemesi çalışmada ölçümleri yapılan alternatif yalıtım malzemeleri içinden seçilmiştir.							

2.2.2.4. Alternatif Duvar Malzeme Senaryoları

Yapılan çalışmada ılıman nemli iklim bölgesine dahil olan Trabzon ili için alternatif ısı yalıtım malzemeleri önerileriyle enerji performans ölçümleri DesinBuilder simülasyon programıyla model bina ölçeğinde uygulanarak senaryolar oluşturulmuştur. Senaryolar oluşturulurken duvarlarda CLT malzemesi sabit tutularak dış kaplama ve yalıtım malzemeleri değiştirilmiştir (Tablo 6). İç tarafta ise CLT yüzeyi estetik ve doğallık amacıyla herhangi bir malzemeyle kaplanmamıştır. Referans binada ise duvarlar için tuğla ve farklı yalıtım malzemeleri kullanılmıştır. Oluşturulan senaryolar ile model binanın aylık ve yıllık bina ısıtma-soğutma yüklerine etkisi incelenmiştir. Tablo 7’ de kullanılan malzemelerin özellikleri verilmiştir.

Tablo 6. Simülasyonda kullanılan malzeme senaryoları

Duvar Senaryoları	Kullanılan Alternatif Malzemeler
Referans Bina	Mantolama+ Alternatif yalıtım malzemeleri+ Tuğla
Senaryo 1	Mantolama + (XPS)+CLT
Senaryo 2	Mantolama+ (EPS)+CLT
Senaryo 3	OSB+ Koyun Yünü+CLT
Senaryo 4	Alçı Levha+ Selüloz+CLT
Senaryo 5	Lambri+ Keten+CLT
Senaryo 6	Kontrplak+ Taş Yünü+CLT
Senaryo 7	Kontrplak+ Cam Yünü+CLT

Tablo 7. Senaryolarda kullanılan malzemelerin özellikleri (TS 825)

Tür	Malzemeler	Kalınlık (mm)	λ (Wm/K)
Isı Yalıtım Malzemeleri	EPS	40	0,040
	XPS	40	0,040
	Selüloz	40	0,040
	Taş Yünü	40	0,038
	Cam Yünü	40	0,040
	Keten	40	0,045
	Koyun Yünü	40	0,043
Dış Cephe Kaplama Malzemeleri	OSB	30	0,15
	Kontrplak	30	0,15
	Lambri	30	0,13
	Alçı Levha	30	0,16
	Mantolama	-	-

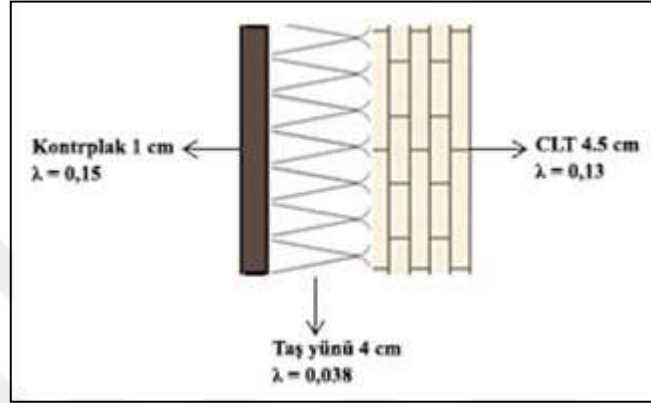
Bina enerjisi analizi için oluşturulan CLT duvar senaryolarında U değerleride incelemeye dahil edilmiştir. Ayrıca referans bina içinde duvar katmanı U değeri hesapları yapılmıştır. Oluşturulan duvar katmanları U değerleri TS 825 standartlarına göre 2. Bölgede bulunan Trabzon ili için analiz edilmiştir. Tablo 8’de TS 825 standardında bölgelere göre tavsiye edilen ısı geçirgenlik katsayıları verilmiştir. Verilen U değerlerine eşit ya da küçük değerlerin sağlanması gerekmektedir. Yapı bileşeninin toplam ısıl geçirgenlik katsayısının birimi W/m^2K dir.

Tablo 8. Bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri

	UD (W/m^2K)	UT (Wm^2/K)	Ut (W/m^2K)	UP (W/m^2K)
1. Bölge	0,70	0,45	0,70	2,4
2. Bölge	0,60	0,40	0,60	2,4
3. Bölge	0,50	0,30	0,45	2,4
4. Bölge	0,40	0,25	0,40	2,4

2.2.3. Deneysel ölçüm ve Simülasyon Değerlerinin Karşılaştırılması

Fox-314 cihazıyla yapılan ölçüm verileri TS 825 standartındaki formülasyona göre hesaplanmış ve kullanılan duvar kalınlıkları simülasyonda modellenerek elde edilen değerler ile cihaz ve simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır (Şekil 85).



Şekil 85. Cihazda ölçümü yapılan duvar katma ve değerleri

TS 825 standardına göre hesaplamada kullanılan formülasyon aşağıda verilmiştir.

Çok tabakalı yapı bileşenlerinde ısııl geçirgenlik direnci (R), tek tek yapı elemanı kalınlıkları ($d_1, d_2, \dots, d_n$) ve bu yapı elemanlarının, ısııl iletkenlik hesap değerleri ($\lambda_{h1}, \lambda_{h2}, \dots, \lambda_{hn}$) kullanılarak eşitlik 1'e göre hesaplanmaktadır.

$$U = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} \quad (1)$$

Bir yapı bileşeninin toplam ısııl geçirgenlik direnci (U), yapı bileşenlerinin ısııl geçirgenlik dirençlerine (R), yüzeysel ısııl iletim direnç değerleri (R_i, R_e) eklenerek, denklemin aritmetik tersinin alınmasıyla 2'de ki eşitliğe göre hesaplanmaktadır.

$$U = \frac{1}{R_i + R + R_e} \quad (2)$$

Bu çalışmada karşılaştırma yöntemi olarak eşitlik (1) ve eşitlik (2) kullanılmıştır. Şekil 85' de verilen değerlere göre eşitlik (1) ısııl geçirgenlik direnci (R);

$$R = \frac{0,01}{0,15} + \frac{0,04}{0,038} + \frac{0,045}{0,13}$$

$$R = 1,465 \text{ m}^2\text{K/W}$$

elde edilen ısı geçirgenlik direnci (R) eşitlik (2)' de verilen ısı geçirgenlik kat sayısı (U);

$$U = \frac{1}{1,465}$$

$$U = 0,682 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Cihazda ısı iletkenlik değerlerinin ölçümü yapılan malzemelerden şekil 85'de verilen 3 katmanlı duvar elemanı karşılaştırma için simülasyonda modellenmesi yapılmıştır. Simülasyon sonucuna göre elde edilen U değeri 0,59 W/m²K 'dir. Elde edilen verilere göre aralarındaki karşılaştırmada simülasyonun bize gerçeğe yakın değerler verdiği görülmüştür.

3. BULGULAR

3.1. Deneysel Ölçümler

3.1.1. Isı İletkenlik Kat Sayı Değeri Bulguları

Dış cephe kaplama malzemeleri ve alternatif ısı yalıtım malzemelerinin ölçümleri Lasercomp Fox-314 cihazıyla yapılmış ve ısı iletkenlik kat sayı değerleri Tablo 9’ da verilmiştir. Çalışmada dış cephe kaplama malzemesi ve yalıtımsız olarak yapılan ölçümde, CLT ısı iletkenlik değeri 0.1032 olarak bulunmuştur. Ölçüm sonuçlarına göre en düşük ısı iletkenlik değerini mantolama ile kullanılan EPS ısı yalıtım malzemesi 0.05728 ile, en yüksek ısı iletkenlik değerini ise 0.1198 ile alçıpanla birlikte kullanılmış keçe yalıtım malzemesi vermiştir.

Tablo 9. Alternatif malzemelere göre ısı iletkenlik değeri bulguları

Dış Kaplama	Kalınlık (mm)	Duvar Elemanı	Kalınlık (mm)	Isı Yalıtım Malzemesi	Kalınlık (mm)	Isı İletkenlik Katsayı Değeri (W m/ K)		
						Min.	Max.	Ort.
Mantolama	5	CLT	45	XPS	40	0.06738	0.06738	0.06738
Mantolama	5	CLT	45	EPS	40	0.05728	0.06718	0.06223
Alçıpan	10	CLT	45	Selüloz	40	0.08015	0.08848	0.08432
Alçıpan	10	CLT	45	Koyun Yün.	40	0.07809	0.08883	0.08346
Alçıpan	10	CLT	45	Keten	40	0.07814	0.09262	0.08538
Alçıpan	10	CLT	45	Keçe	40	0.07121	0.1198	0.09553
Alçıpan	10	CLT	45	Taş Yünü	40	0.08758	0.09168	0.08963
Alçıpan	10	CLT	45	Cam Yünü	40	0.07719	0.08677	0.08198
OSB	10	CLT	45	Selüloz	40	0.07855	0.09212	0.08534
OSB	10	CLT	45	Koyun Yün.	40	0.07698	0.08327	0.08013
OSB	10	CLT	45	Keten	40	0.07828	0.08686	0.08257
OSB	10	CLT	45	Keçe	40	0.07659	0.08474	0.08066
OSB	10	CLT	45	Taş Yünü	40	0.08460	0.08871	0.08665
OSB	10	CLT	45	Cam Yünü	40	0.07571	0.09319	0.08445
Lambri	10	CLT	45	Selüloz	40	0.07705	0.09101	0.08403
Lambri	10	CLT	45	Koyun Yün.	40	0.07641	0.08675	0.08158
Lambri	10	CLT	45	Keten	40	0.07802	0.08853	0.08328
Lambri	10	CLT	45	Keçe	40	0.07783	0.08845	0.08314
Lambri	10	CLT	45	Taş Yünü	40	0.08722	0.09143	0.08933
Lambri	10	CLT	45	Cam Yünü	40	0.07628	0.08744	0.08186
Kontrplak	10	CLT	45	Selüloz	40	0.07579	0.08837	0.08208
Kontrplak	10	CLT	45	Koyun Yün.	40	0.07601	0.08581	0.08091
Kontrplak	10	CLT	45	Keten	40	0.07658	0.09483	0.08570
Kontrplak	10	CLT	45	Keçe	40	0.07748	0.08175	0.07962
Kontrplak	10	CLT	45	Taş Yünü	40	0.08202	0.08553	0.08378
Kontrplak	10	CLT	45	Cam Yünü	40	0.07301	0.08357	0.07829

3.1.2. Simülasyon Sonuçları

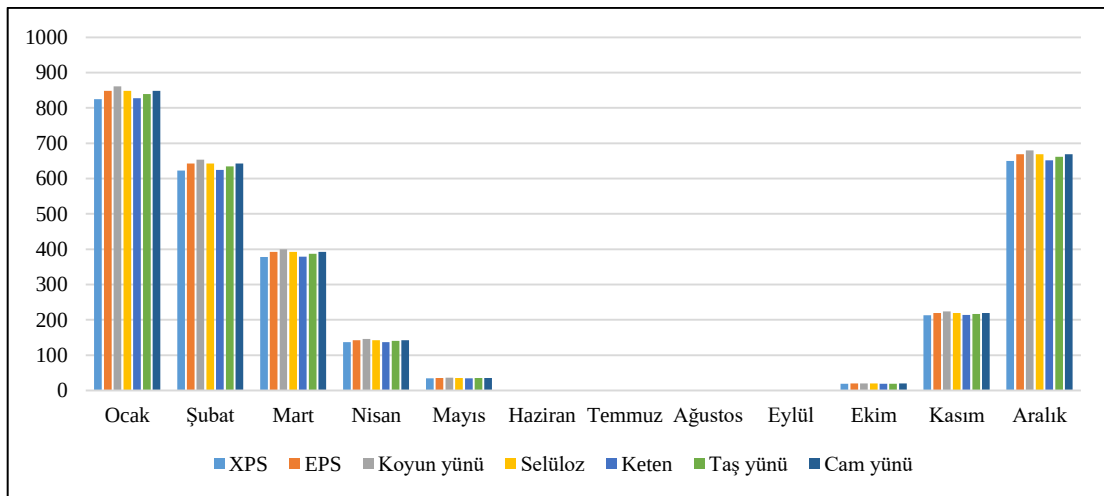
Bu bölümde model bina için oluşturulan referans bina ve 7 senaryonun Design Builder programı ile yapılan simülasyon sonuçları verilmektedir. CLT malzemeli model binada kullanılan yapı elemanları ve malzemeleri dış duvar katmanındaki değişikliklerin dışında aynı kabul edilmiştir. Kullanılan malzemelerin ısı iletkenlik değerlerinin, ısıtma ve soğutma yüklerine etkileri simülasyon aracılığıyla analiz edilmiş ve aylık-yıllık toplam ısıtma ve soğutma yükleri için karşılaştırmalar yapılmıştır.

7 farklı yalıtım malzemesinin kullanıldığı dıştan yalıtımlı CLT duvar sistemi ve referans bina için, hesaplanan ısı geçirgenlik katsayısı “U” (W/m^2K) değerleri, TS 825’ de verilen “Bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri” şartına göre karşılaştırmalı olarak irdelenmektedir.

3.1.2.1. Referans Bina

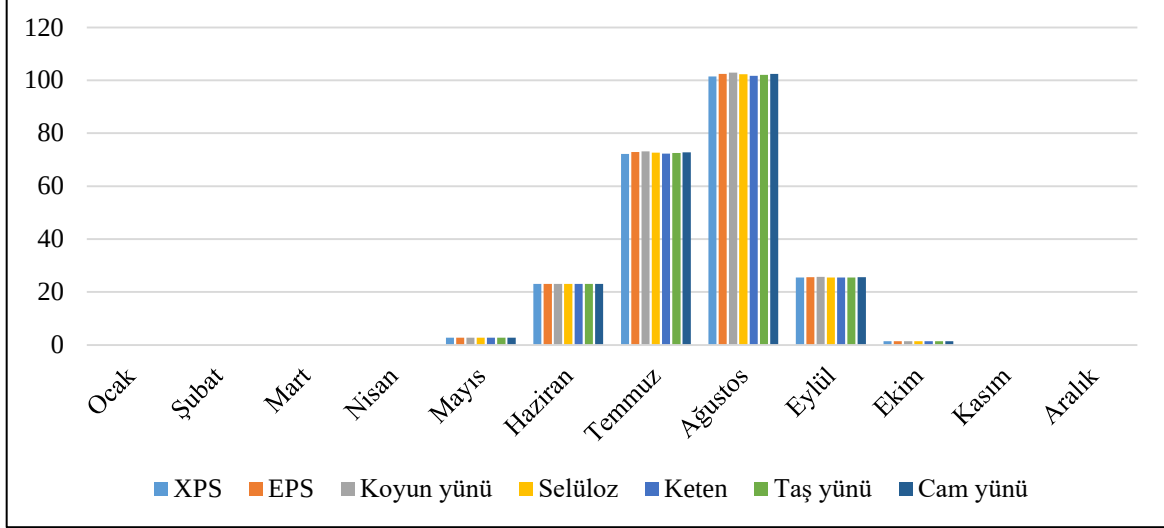
Referans binada tuğla duvar üzeri mantolama yapılmıştır. Mantolama için kullanılan farklı yalıtım malzemeleri (XPS, EPS, koyun yünü, selüloz, keteni taş yünü ve cam yünü) için 4 cm kalınlık tercih edilmiştir. Yapılan simülasyon sonuçlarına göre;

Isıtma yükü en düşük 824,6 kWh değeri ile Ocak ayında XPS yalıtım malzemesi ile ölçülürken, en yüksek Ekim ayında 20,2 kWh değeri ile koyun yünü yalıtım malzemesinde ölçülmüştür.



Şekil 86. Referans bina aylık ısıtma yükleri (kWh)

Soğutma yükü en yüksek 102,9 kWh değeri ile Ağustos ayında ölçülürken, en düşük Ekim ayında 1,3 kWh değeri ile ölçülmüştür.



Şekil 87. Referans bina aylık soğutma yükleri (kWh)

Tablo 10. Referans bina için farklı yalıtım malzemelerine göre U değerleri

	XPS	EPS	Koyun ünü	Selüloz	Keten	Taş yünü	Cam yünü
Referans Bina U Değerleri (W/m ² K)	0,524	0,566	0,590	0,566	0,604	0,550	0,566

Referans binada alternatif yalıtım malzemeleri için yapılan ölçümlerde en düşük U değeri, 0,524 W/m²K ile XPS yalıtımda iken, en yüksek değer 0,604 W/m²K ile keten yalıtım malzemesindedir. TS 825 standartlarına göre tüm senaryolarda, 2. Bölge için istenen U değeri 0,60 W/m²K karşılanmış olup, keten yalıtım malzemesi için ölçülen U değeri standartın üstünde kalmıştır.

3.1.2.2. Senaryo 1

Senaryo 1’de dış cephe kaplama malzemesi olarak mantolama uygulaması ile XPS yalıtım malzemesi 4 cm, 6 cm ve 8 cm kalınlıklarda uygulanmış olup ısıtma ve soğutma yükleri hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 11’ de verilmiştir. En yüksek ısıtma yükü değeri ocak ayında, yalıtım kalınlıklarına göre; 4 cm için 757,6 kWh, 6 cm için 703,3 kWh ve 8

cm için 667,8 kWh olarak hesaplanırken, en düşük ısıtma yükü değeri Ekim ayında, yalıtım kalınlıklarına göre; 4 cm için 18,4 kWh, 6 cm için 16,8 kWh ve 8 cm için 15,7 kWh olarak hesaplanmıştır. En yüksek soğutma yükü kullanım değeri Ağustos ayında, yalıtım kalınlıklarına göre; 4 cm için 110,9 kWh, 6 cm için 107,33 kWh ve 8 cm için 104,1 kWh olarak hesaplanırken, en düşük ısıtma kullanım değerleri Ekim ayında, yalıtım kalınlıklarına göre; 4 cm için 3,5 kWh, 6 cm için 3,4 kWh ve 8 cm için 3,3 kWh olarak hesaplanmıştır.

Tablo 11. XPS yalıtım malzemesi kalınlıklara göre aylık ısıtma ve soğutma (kWh) yükleri

	4 cm XPS Yalıtım + Mantolama		6 cm XPS Yalıtım +Mantolama		8 cm XPS Yalıtım +Mantolama	
	Isıtma (kWh)	Soğutma (kWh)	Isıtma (kWh)	Soğutma (kWh)	Isıtma (kWh)	Soğutma (kWh)
Ocak	757,6425	0	703,3138	0	667,8878	0
Şubat	560,5667	0	515,8214	0	485,8618	0
Mart	335,3791	0	304,8462	0	285,0403	0
Nisan	122,9927	0	110,8533	0	102,8416	0
Mayıs	29,66273	6,044522	26,92388	5,968988	25,01831	5,959782
Haziran	0	30,88055	0	30,1346	0	29,7024
Temmuz	0	82,95279	0	79,96735	0	78,13583
Ağustos	0	110,9663	0	107,33	0	104,1076
Eylül	0	30,90607	0	29,88988	0	29,21125
Ekim	18,42907	3,570361	16,86691	3,453993	15,74259	3,383446
Kasım	195,7954	0	181,0737	0	171,3506	0
Aralık	581,6974	0	539,8517	0	511,8933	0

XPS yalıtım malzemesi için farklı kalınlıklar kullanılarak oluşturulan CLT duvar U değerleri Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12. XPS yalıtım malzemesiyle oluşturulan alternatif duvar katmanı U değerleri

	4 cm XPS Yalıtım+Mantolama	6 cm XPS Yalıtım+Mantolama	8 cm XPS Yalıtım+Mantolama
Isı Geçirgenlik Kat Sayı Değeri U (W/m ² K)	0,427 W/m ² K	0,333 W/m ² K	0,272 W/m ² K

3.1.2.3. Senaryo 2

Senaryo 2’de dış cephe kaplama malzemesi olarak mantolama uygulaması ile EPS yalıtım malzemesi 4 cm, 6 cm ve 8 cm kalınlıklarda uygulanmış olup aylık ısıtma ve soğutma yükleri hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 13’ de verilmiştir. En yüksek ısıtma yükü değeri Ocak ayında, yalıtım kalınlıklarına göre; 4 cm için 778,3 kWh, 6 cm için 722,4 kWh ve 8 cm için 685,2 kWh olarak hesaplanırken, en düşük ısıtma yükü değeri Ekim ayında, yalıtım kalınlıklarına göre; 4 cm için 19,0 kWh, 6 cm için 17,4 kWh ve 8 cm için 16,3 kWh görülmüştür. En yüksek soğutma yükü değeri ağustos ayında, yalıtım kalınlıklarına göre; 4 cm için 111,6 kWh, 6 cm için 108,3 kWh ve 8 cm için 105,1 kWh olarak hesaplanırken, en düşük ısıtma değerleri Ekim ayında, yalıtım kalınlıklarına göre; 4 cm için 3,6 kWh, 6 cm için 3,4 kWh ve 8 cm için 3,4 kWh olarak hesaplanmıştır.

Tablo 13. EPS yalıtım malzemesi kalınlıklara göre aylık ısıtma ve soğutma (kWh) yükleri

	4 cm EPS Yalıtım +Mantolama		6 cm EPS Yalıtım +Mantolama		8 cm EPS Yalıtım +Mantolama	
	Isıtma (kWh)	Soğutma (kWh)	Isıtma (kWh)	Soğutma (kWh)	Isıtma (kWh)	Soğutma (kWh)
Ocak	778,3946	0	722,4685	0	685,2874	0
Şubat	578,1705	0	531,3318	0	500,6578	0
Mart	347,2822	0	315,3351	0	294,6108	0
Nisan	127,607	0	115,1773	0	106,6309	0
Mayıs	30,67625	6,101836	27,91916	5,988903	25,97871	5,942741
Haziran	0	31,20495	0	30,39195	0	29,49405
Temmuz	0	83,97149	0	80,89576	0	79,04737
Ağustos	0	111,6036	0	108,3022	0	105,1578
Eylül	0	31,01451	0	30,15592	0	29,60927
Ekim	19,0651	3,634108	17,48052	3,484478	16,32651	3,40761
Kasım	201,6012	0	186,5226	0	176,0457	0
Aralık	598,278	0	554,8235	0	525,9196	0

EPS yalıtım malzemesi için farklı kalınlıklar kullanılarak oluşturulan CLT duvar U değeri Tablo 14’de verilmiştir.

Tablo 14. EPS yalıtım malzemesiyle oluşturulan alternatif duvar katmanı U değerleri

	4 cm EPS Yalıtım+Mantolama	6 cm EPS Yalıtım+Mantolama	8 cm EPS Yalıtım+Mantolama
Isı Geçirgenlik Kat Sayı Değeri U (W/m^2K)	0,465 W/m^2K	0,367 W/m^2K	0,303 W/m^2K

3.1.2.4. Senaryo 3

Senaryo 3’de dış cephe kaplama malzemesi olarak OSB uygulaması ile koyun yünü yalıtım malzemesi 4 cm, 6 cm ve 8 cm kalınlıklarda uygulanmış olup aylık ısıtma ve soğutma yükleri hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 15’ de verilmiştir. En yüksek ısıtma yükü değeri Ocak ayında, yalıtım kalınlıklarına göre; 4 cm için 748,8 kWh, 6 cm için 709,7 kWh ve 8 cm için 680,7 kWh görülürken, en düşük ısıtma yükü kullanım değeri Ekim ayında, yalıtım kalınlıklarına göre; 4 cm için 17,2 kWh, 6 cm için 16,3 kWh ve 8 cm için 15,5 kWh hesaplanmıştır. En yüksek soğutma yükü değeri Ağustos ayında, yalıtım kalınlıklarına göre; 4 cm için 112,7 kWh, 6 cm için 109,9 kWh ve 8 cm için 106,8 kWh olarak hesaplanırken, en düşük ısıtma kullanım değerleri Ekim ayında, yalıtım kalınlıklarına göre; 4 cm için 3,6 kWh, 6 cm için 3,5 kWh ve 8 cm için 3,4 kWh olarak hesaplanmıştır.

Tablo 15. Koyun yünü yalıtım malzemesi kalınlıklara göre aylık ısıtma ve soğutma (kWh) yükleri

	4 cm Koyun Yünü Yalıtım + OSB		6 cm Koyun Yünü Yalıtım + OSB		8 cm Koyun Yünü Yalıtım + OSB	
	Isıtma	Soğutma	Isıtma	Soğutma	Isıtma	Soğutma
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
Ocak	748,8288	0	709,7039	0	680,7725	0
Şubat	551,0662	0	518,4387	0	495,0951	0
Mart	324,1258	0	303,0824	0	287,6915	0
Nisan	117,0873	0	109,09	0	102,9808	0,000176
Mayıs	28,27489	6,340517	26,45604	6,243646	25,16147	6,178252
Hazira	0	31,96918	0	31,2385	0	30,21698
Temmuz	0	84,07344	0	82,24666	0	80,35587
Ağustos	0	112,7249	0	109,9987	0	106,832
Eylül	0	31,4852	0	30,51657	0	30,00581
Ekim	17,22498	3,618729	16,33651	3,522328	15,5899	3,443798
Kasım	190,9955	0	181,0601	0	173,2639	0
Aralık	574,1247	0	544,1209	0	521,9767	0

XPS yalıtım malzemesi için farklı kalınlıklar kullanılarak oluşturulan CLT duvar U değeri Tablo 16’te verilmiştir.

Tablo 16. Koyun yünü yalıtım malzemesiyle oluşturulan alternatif duvar katmanı U değerleri

	4 cm Koyun Yünü Yalıtım + OSB	6 cm Koyun Yünü Yalıtım + OSB	8 cm Koyun Yünü Yalıtım + OSB
Isı Geçirgenlik Kat Sayı Değeri U ($\text{W/m}^2\text{K}$)	0,438 $\text{W/m}^2\text{K}$	0,367 $\text{W/m}^2\text{K}$	0,304 $\text{W/m}^2\text{K}$

3.1.2.5. Senaryo 4

Senaryo 4’ de dış cephe kaplama malzemesi olarak alçı uygulaması ile selüloz yalıtım malzemesi 4 cm, 6 cm ve 8 cm kalınlıklarda uygulanmış olup aylık kullanılan ısıtma ve soğutma yükleri hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 17’ de verilmiştir. En yüksek ısıtma yükü değeri Ocak ayında, yalıtım kalınlıklarına göre; 4 cm için 758,1 kWh, 6 cm için 709,7 kWh ve 8 cm için için 681,6 kWh hesaplanırken, en düşük ısıtma yükü değeri Ekim ayında, yalıtım kalınlıklarına göre; 4 cm için 18,2 kWh, 6 cm için 16,3 kWh ve 8 cm için 16,1 kWh görülmüştür. En yüksek soğutma yükü değeri Ağustos ayında, yalıtım kalınlıklarına göre; 4 cm için 109,8 kWh, 6 cm için 109,9 kWh ve 8 cm için 103,8 kWh olarak hesaplanırken, en düşük ısıtma kullanım değerleri Ekim ayında, yalıtım kalınlıklarına göre; 4 cm için 3,4 kWh, 6 cm için 3,5 kWh ve 8 cm için 3,2 kWh olarak hesaplanmıştır.

Tablo 17. Selüloz yalıtım malzemesi kalınlıklara göre aylık ısıtma ve soğutma (kWh) yükleri

	4 cm Selüloz Yalıtım + Alçı		6 cm Selüloz Yalıtım + Alçı		8 cm Selüloz Yalıtım + Alçı	
	Isıtma	Soğutma	Isıtma	Soğutma	Isıtma	Soğutma
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
Ocak	758,1998	0	709,7039	0	681,6345	0
Şubat	560,9986	0	518,4387	0	497,4655	0
Mart	334,8277	0	303,0824	0	291,7431	0
Nisan	122,6638	0	109,09	0	105,7797	0
Mayıs	29,75162	5,960385	26,45604	6,243646	25,85286	5,83766
Haziran	0	30,61834	0	31,2385	0	29,34241
Temmuz	0	81,63317	0	82,24666	0	78,23271
Ağustos	0	109,875	0	109,9987	0	103,8999
Eylül	0	30,55679	0	30,51657	0	29,16414
Ekim	18,26482	3,475017	16,33651	3,522328	16,13713	3,296825
Kasım	195,5592	0	181,0601	0	175,0186	0
Aralık	582,1678	0	544,1209	0	523,2349	0

Selüloz yalıtım malzemesi için farklı kalınlıklar kullanılarak oluşturulan CLT duvar U değeri Tablo 18 'de verilmiştir.

Tablo 18. Selüloz yalıtım malzemesiyle oluşturulan alternatif duvar katmanı U değerleri

	4 cm Selüloz +Alçı	6 cm Selüloz + Alçı	8 cm Selüloz +Alçı
Isı Geçirgenlik Kat Sayı Değeri U (W/m ² K)	0,435 W/m ² K	0,358 W/m ² K	0,303 W/m ² K

3.1.2.6. Senaryo 5

Senaryo 5' de dış cephe kaplama malzemesi olarak lambri uygulaması ile keten yalıtım malzemesi 4 cm, 6 cm ve 8 cm kalınlıklarda uygulanmış olup aylık kullanılan ısıtma ve soğutma yükleri hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 19' de verilmiştir. En yüksek ısıtma yükü değeri Ocak ayında, yalıtım kalınlıklarına göre; 4 cm için 773,8 kWh, 6 cm için 728,5 kWh ve 8 cm için 695,5 kWh hesaplanırken, en düşük ısıtma yükü kullanım

değeri Ekim ayında, yalıtım kalınlıklarına göre; 4 cm için 18,6 kWh, 6 cm için 16,3 kWh ve 8 cm için 16,4 kWh hesaplanmıştır. En yüksek soğutma yükü değeri Ağustos ayında, yalıtım kalınlıklarına göre; 4 cm için 110,3 kWh, 6 cm için 107,2 kWh ve 8 cm için 104,9 kWh olarak hesaplanırken, en düşük ısıtma kullanım değerleri Ekim ayında, yalıtım kalınlıklarına göre; 4 cm için 3,3 kWh, 6 cm için 3,3 kWh ve 8 cm için 3,2 kWh olarak hesaplanmıştır.

Tablo 19. Keten yalıtım malzemesi kalınlıklara göre aylık ısıtma ve soğutma (kWh) yükleri

	4 cm Keten Yalıtım + Lambri		6 cm Keten Yalıtım + Lambri		8 cm Keten Yalıtım + Lambri	
	Isıtma	Soğutma	Isıtma	Soğutma	Isıtma	Soğutma
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
Ocak	773,8461	0	728,512	0	695,5997	0
Şubat	573,8126	0	535,8466	0	508,9002	0
Mart	343,3093	0	317,9417	0	299,2815	0
Nisan	126,5405	0	116,4504	0	109,024	0
Mayıs	30,72358	5,808118	28,45789	5,806005	26,66989	5,804037
Haziran	0	30,3735	0	29,88851	0	29,36446
Temmuz	0	82,48394	0	80,10922	0	78,52229
Ağustos	0	110,353	0	107,2466	0	104,963
Eylül	0	30,14991	0	29,64838	0	29,2277
Ekim	18,65034	3,367343	17,36726	3,311513	16,4462	3,267443
Kasım	199,6115	0	187,7535	0	179,0048	0
Aralık	594,1965	0	558,9185	0	533,6887	0

XPS yalıtım malzemesi için farklı kalınlıklar kullanılarak oluşturulan CLT duvar U değeri Tablo 20 'de verilmiştir.

Tablo 20. Keten yalıtım malzemesiyle oluşturulan alternatif duvar katmanı U değerleri

	4 cm Keten + Lambri	6 cm Selüloz +Lambri	8 cm Selüloz + lambri
Isı Geçirgenlik Kat Sayı Değeri U (W/m ² K)	0,464 W/m ² K	0,385 W/m ² K	0,328 W/m ² K

3.1.2.7. Senaryo 6

Senaryo 6’ de dış cephe kaplama malzemesi olarak kontrplak uygulaması ile taş yünü yalıtım malzemesi 4 cm, 6 cm ve 8 cm kalınlıklarda uygulanmış olup aylık ısıtma ve soğutma yükleri hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 21’ de verilmiştir. En yüksek ısıtma yükü değeri Ocak ayında, yalıtım kalınlıklarına göre; 4 cm için 773,3 kWh, 6 cm için 692,5 kWh ve 8 cm için 663,4 kWh hesaplanırken, en düşük ısıtma yükü kullanım değeri Ekim ayında, yalıtım kalınlıklarına göre; 4 cm için 16,3 kWh, 6 cm için 15,4 kWh ve 8 cm için 14,7 kWh görülmüştür. En yüksek soğutma yükü değeri Ağustos ayında, yalıtım kalınlıklarına göre; 4 cm için 115,3 kWh, 6 cm için 111,6 kWh ve 8 cm için 108,5 kWh olarak hesaplanırken, en düşük ısıtma kullanım değerleri Ekim ayında, yalıtım kalınlıklarına göre; 4 cm için 3,9 kWh, 6 cm için 3,7 kWh ve 8 cm için 3,6 kWh olarak hesaplanmıştır.

Tablo 21. Taş Yünü yalıtım malzemesi kalınlıklara göre aylık ısıtma ve soğutma (kWh) yükleri

	4 cm Taş Yünü Yalıtım + Kontrplak		6 cm Taş Yünü Yalıtım + Kontrplak		8 cm Taş Yünü Yalıtım + Kontrplak	
	Isıtma (kWh)	Soğutma (kWh)	Isıtma (kWh)	Soğutma (kWh)	Isıtma (kWh)	Soğutma (kWh)
Ocak	733,3888	0	692,5289	0	663,4662	0
Şubat	536,54	0	503,7202	0	479,547	0
Mart	311,9938	0	291,0154	0	276,221	0
Nisan	110,4477	0	102,7045	0,001586	97,22929	0,005045
Mayıs	26,56613	6,890685	24,88685	6,671644	23,64423	6,527016
Haziran	0	33,45562	0	32,43521	0	31,65867
Temmuz	0	86,61556	0	83,90338	0	81,49956
Ağustos	0	115,3775	0	111,6254	0	108,5285
Eylül	0	32,79597	0	31,33904	0	30,64534
Ekim	16,37956	3,924218	15,42577	3,736839	14,7635	3,614084
Kasım	185,3305	0	175,1756	0	167,8334	0
Aralık	561,5434	0	530,3792	0	507,8022	0

Taş Yünü yalıtım malzemesi için farklı kalınlıklar kullanılarak oluşturulan CLT duvar U değeri Tablo 22’de verilmiştir.

Tablo 22. Taş yünü yalıtım malzemesiyle oluşturulan alternatif duvar katmanı U değerleri

	4 cm Taş Yünü + Kontrplak	6 cm Taş Yünü +Kontrplak	8 cm Taş Yünü +Kontrplak
Isı Geçirgenlik Kat Sayı Değeri U (W/m ² K)	0,423 W/m ² K	0,346 W/m ² K	0,293 W/m ² K

3.1.2.8. Senaryo 7

Senaryo 7' de dış cephe kaplama malzemesi olarak kontrplak uygulaması ile cam yünü yalıtım malzemesi 4 cm, 6 cm ve 8 cm kalınlıklarda uygulanmış olup aylık ısıtma ve soğutma yükleri hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 23' de verilmiştir. En yüksek ısıtma yükü değeri Ocak ayında, yalıtım kalınlıklarına göre; 4 cm için 738,0 kWh, 6 cm için 697,3 kWh ve 8 cm için 668,1 kWh görülürken, en düşük ısıtma yükü kullanım değeri Ekim ayında, yalıtım kalınlıklarına göre; 4 cm için 16,5 kWh, 6 cm için 15,5 kWh ve 8 cm için 14,8 kWh hesaplanmıştır. En yüksek soğutma yükü kullanım değeri Ağustos ayında, yalıtım kalınlıklarına göre; 4 cm için 115,8 kWh, 6 cm için 111,9 kWh ve 8 cm için 109 kWh olarak görülürken, en düşük ısıtma kullanım değerleri Ekim ayında, yalıtım kalınlıklarına göre; 4 cm için 3,9 kWh, 6 cm için 3,7 kWh ve 8 cm için 3,6 kWh olarak hesaplanmıştır.

Tablo 23. Cam yünü yalıtım malzemesi kalınlıklara göre aylık ısıtma ve soğutma (kWh) yükleri

	4 cm Cam Yünü + Kontrplak		6 cm Cam Yünü + Kontrplak		8 cm Cam Yünü + Kontrplak	
	Isıtma	Soğutma	Isıtma	Soğutma	Isıtma	Soğutma
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
Ocak	738,0333	0	697,3149	0	668,1822	0
Şubat	540,4445	0	507,6398	0	483,4127	0
Mart	314,4537	0	293,3973	0	278,5374	0
Nisan	111,3394	0	103,5891	0,00119	98,15036	0,004079
Mayıs	26,71621	6,90352	25,07686	6,672926	23,81172	6,53381
Haziran	0	33,52894	0	32,50604	0	31,67751
Temmuz	0	86,91728	0	84,20891	0	81,72533
Ağustos	0	115,8058	0	111,9695	0	109,0845
Eylül	0	32,90368	0	31,38969	0	30,67176
Ekim	16,50099	3,936577	15,53472	3,741504	14,8722	3,611524
Kasım	186,4578	0	176,3973	0	168,9633	0
Aralık	565,2256	0	534,2484	0	511,4925	0

Cam Yünü yalıtım malzemesi için farklı kalınlıklar kullanılarak oluşturulan CLT duvar U değeri Tablo 24’de verilmiştir.

Tablo 24. Cam yünü yalıtım malzemesiyle oluşturulan alternatif duvar katmanı U değerleri

	4 cm Cam Yünü + Kontrplak	6 cm Cam Yünü + Kontrplak	8 cm Cam Yünü +Kontrplak
Isı Geçirgenlik Kat Sayı Değeri U (W/m ² K)	0,433 W/m ² K	0,356 W/m ² K	0,302 W/m ² K

Elde edilen verilere göre ısıtma yükünün en fazla gerçekleştiği Ocak ayı için senaryo 6 ve soğutma yükünün en fazla gerçekleştiği Ağustos ayı için senaryo 4 iyi sonuçları vermiştir. Ekim ayının ilk haftaları için soğutma derecesi sonlandırılırken, son haftaları için ısıtma derecesi başlamaktadır. Mevsimsel değişime bağlı olarak görülen ısıtma ve soğutma yüklerinin en düşük gerçekleştiği Ekim ayı için sonuçlar birbirine yakın değerler çıkmıştır. Yılın en soğuk ayları olarak nitelendirilen Aralık, Ocak, Şubat ve Mart aylarında diğer senaryolara göre daha yüksek farkların ortaya çıktığı görülmektedir. Taş yünü ve cam yünü yalıtım için sadece Nisan ayında 6 cm ve 8 cm kalınlık için görülen soğutma yükleri sırasıyla; 0,001586 kWh, 0,005045 kWh, 0,00119 kWh ve 0,004079 kWh olup, senaryolar için değerlendirilen en düşük yüke dahil edilmemiştir.

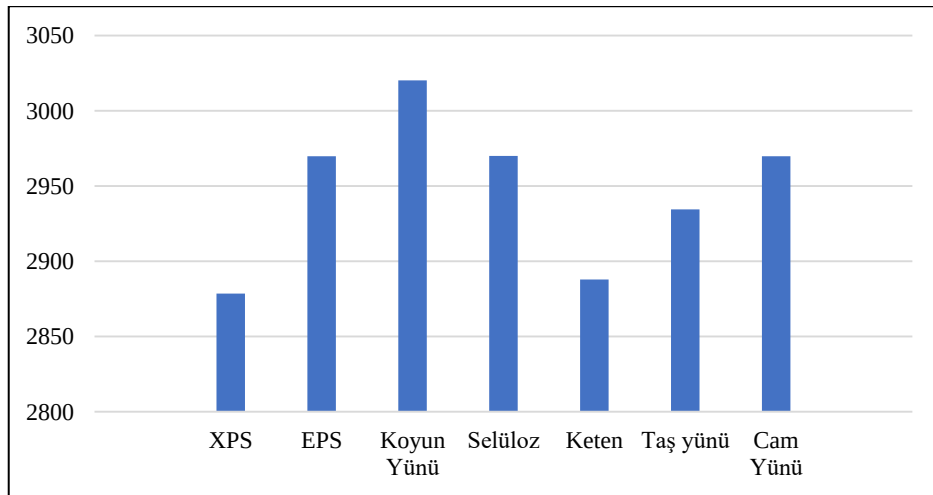
Tablo 25. Alternatif duvar katmanları U değerleri

Alternatif duvarlar U Değerleri (W/m²K)	4 CM YALITIM	6 CM YALITIM	8 CM YALITIM
SENARYO 1 U (W/m²K) (Mantolama + XPS)	0,427 W/m ² K	0,333 W/m ² K	0,272 W/m ² K
SENARYO 2 U (W/m²K) (Mantolama + EPS)	0,465 W/m ² K	0,367 W/m ² K	0,303 W/m ² K
SENARYO 3 U (W/m²K) (OSB + Koyun yünü)	0,438 W/m ² K	0,367 W/m ² K	0,304 W/m ² K
SENARYO 4 U (W/m²K) (Alçı +Selüloz)	0,435 W/m ² K	0,358 W/m ² K	0,303 W/m ² K
SENARYO 5 U (W/m²K) (Lambri + Keten)	0,464 W/m ² K	0,385 W/m ² K	0,328 W/m ² K
SENARYO 6 U (W/m²K) (Kontrplak+ Taş yünü)	0,423 W/m ² K	0,346 W/m ² K	0,293 W/m ² K
SENARYO 7 U (W/m²K) (Kontrplak+ Cam yünü)	0,433 W/m ² K	0,356 W/m ² K	0,302 W/m ² K

Tablo 25’de karşılaştırmalı olarak verilen duvar katmanları için yapılan ölçümlerde en düşük U değeri (W/m^2K), 4 cm yalıtım kalınlığı için senaryo 6, 6 cm ve 8 cm yalıtım kalınlığı için senaryo 1’ de görülmektedir. TS 825 standartlarına göre tüm senaryolarda, 2. Bölge için verilen U değerinin altında değerler çıkmıştır. Senaryo 2 ve 3 için 6 cm yalıtım kalınlığında U değerleri aynı çıkarken, senaryo 4 ve 7 için yakın değerler çıkmıştır. 8 cm kalınlık için senaryo 2, 3, 4 ve 7’de U değerleri 0,001 farkla birbirine yakın değerlerdir. Yalıtım kalınlığının artmasına bağlı 6 ve 8 cm kalınlıklarda çoğu senaryo için U değerlerinin birbirine yaklaştığı görülmüştür. En büyük U değeri farkları 4 cm kalınlıkta elde edilmiştir.

3.1.2.9. Yıllık Isıtma Yükleri

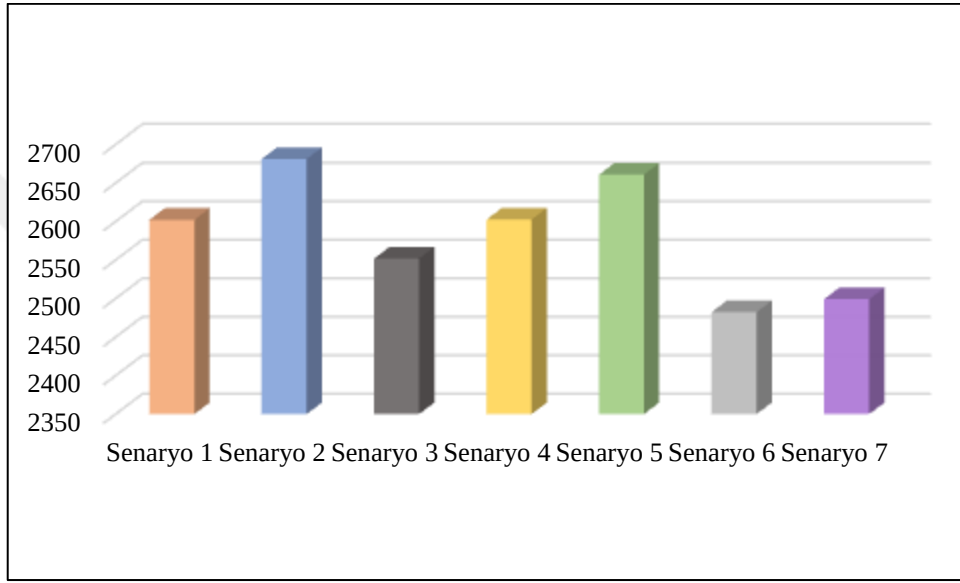
Dış duvarları tuğla ile oluşturulan ve mantolama yapılan referans binanın yıllık ısıtma yükü ölçüm sonuçları şekil 88’de gösterilmektedir. Referans binada tüm yalıtım malzemeleri 4 cm kalınlığında kullanılmıştır. Yalıtım türlerine göre ısıtma yükleri sırasıyla XPS yalıtım için 2878,4 kWh, EPS yalıtım için 2969,8 kWh, koyun yünü yalıtım için 3020 kWh, selüloz yalıtım için 2969,9 kWh, keten yalıtım için 2887,8 kWh, taş yünü yalıtım için 2934,4 kWh ve cam yünü yalıtım için 2969,8 kWh ’dir.



Şekil 88. Referans bina yıllık toplam ısıtma yükleri

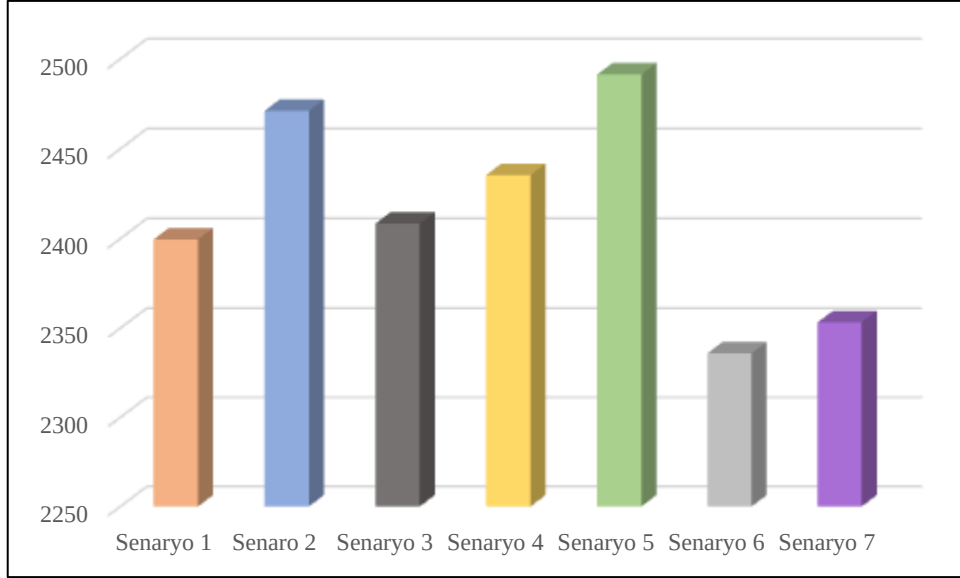
DesingBuilder simülasyon programıyla oluşturulan CLT model bina yıllık ısıtma yükleri, seçilen yalıtım malzemelerinin farklı kalınlıklarına göre (4 cm, 6 cm ve 8 cm)

hesaplanmıştır. Elde edilen veriler Şekil 89-91’de grafik olarak verilmiştir. 4 cm kalınlıkta yalıtım uygulanan model binada yıllık toplam ısıtma yükleri, senaryo 1 için 2602,1 kWh, senaryo 2 için 2601 kWh, senaryo 3 için 2551,7 kWh, senaryo 4 için 2602,4 kWh, senaryo 5 için 2660,6 kWh, senaryo 6 için 2482,1 kWh ve senaryo 7 için 2499,1 kWh olarak hesaplanmıştır. En yüksek ısıtma yükü senaryo 2’ de 2660,6 kWh, en düşük ısıtma yükü ise senaryo 6’ da 2482,19 kWh sonucu ile görülmüştür.



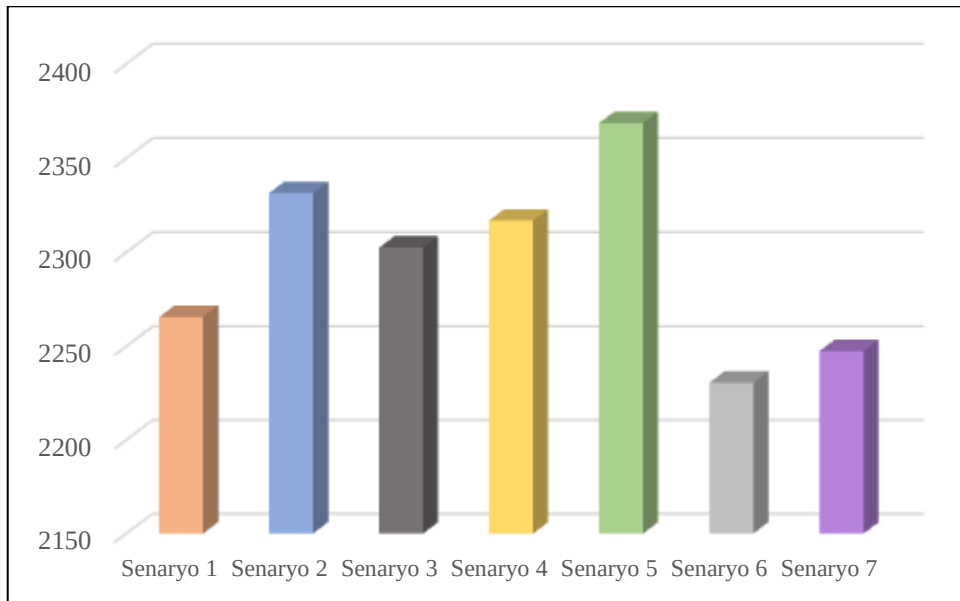
Şekil 89. 4 cm yalıtım kalınlığı için yıllık toplam ısıtma yükleri

Model bina 6 cm yalıtım kalınlığı için yıllık toplam ısıtma yükleri Şekil 90’de grafik olarak verilmiştir. Senaryo 1 için 2399,5 kWh, senaryo 2 için 2471,0 kWh, senaryo 3 için 2408,2 kWh, senaryo 4 için 2435,3 kWh, senaryo 5 için 2491,2 kWh, senaryo 6 için 2335,8 kWh ve senaryo 7 için 2353, 1 kWh olarak hesaplanmıştır. En yüksek ısıtma yükü senaryo 5’ de 2491,2 kWh, en düşük ısıtma yükü ise senaryo 6’ da 2335,8 kWh sonucu ile görülmüştür.



Şekil 90. 6 cm yalıtım kalınlığı için yıllık toplam ısıtma yükleri

Model bina 8 cm yalıtım kalınlığı için yıllık toplam ısıtma yükleri Şekil 91’de grafik olarak verilmiştir. Senaryo 1 için 2265,6 kWh, senaryo 2 için 2331,4 kWh, senaryo 3 için 2302,5 kWh, senaryo 4 için 2316,8 kWh, senaryo 5 için 2368,6 kWh, senaryo 6 için 2230,5 kWh ve senaryo 7 için 2247,4 kWh olarak hesaplanmıştır. En yüksek ısıtma yükü senaryo 5’ de 2368,6 kWh, en düşük ısıtma yükü ise senaryo 6’ da 2230,5 kWh sonucu ile görülmüştür.

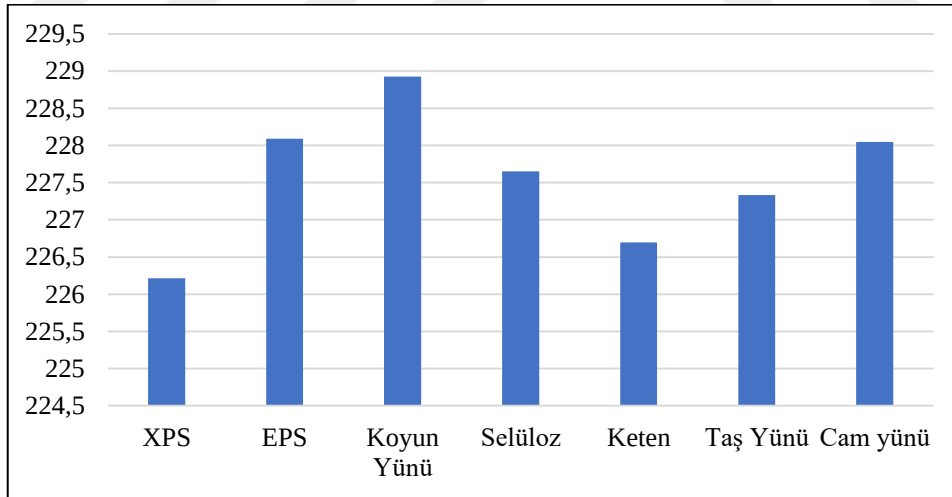


Şekil 91. 8 cm yalıtım kalınlığı için yıllık toplam ısıtma yükleri

Yıl geneli ısıtma yükleri sonuçlarına bakıldığı zaman tüm senaryoların olumlu sonuç verdiği görülmektedir. En düşük ısıtma yükü senaryo 6'da ve senaryo 2'de elde edilirken, en yüksek ısıtma yükü senaryo 5'de görülmektedir. Yalıtım kalınlığının artmasına bağlı olarak ısıtma yükü verilerinde azalma görülmektedir. Yalıtım kalınlığının artmasına bağlı olarak ısıtma yükü verilerinde azalma görülmektedir. 4 cm yalıtım kalınlığı için en yüksek ve en düşük değer arasında 71,5 kWh, 6 cm yalıtım kalınlığı için 155,4 kWh ve 8 cm yalıtım kalınlığı için 138,1 kWh fark görülmüştür.

3.1.2.10. Yıllık Soğutma Yükleri

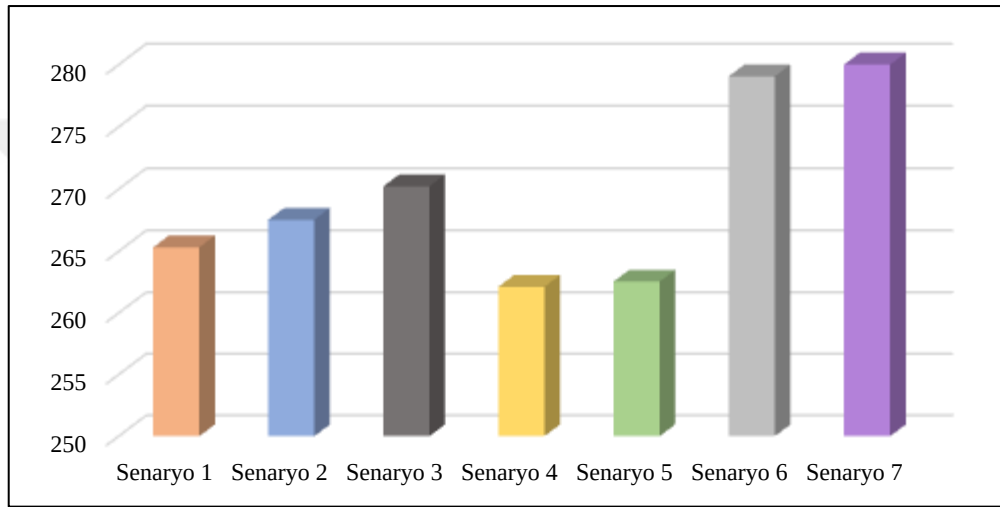
Yaz aylarında model binayı soğutmak için elektrik ile çalışan klima sistemi kullanılmıştır. Kullanıma bağlı olarak referans bina soğutma yükleri Şekil 92'de verilmiştir. Referans bina soğutma yükleri seçilen yalıtım malzemelerine göre sırasıyla XPS yalıtım için 226,2 kWh, EPS yalıtım için 228 kWh, koyun yünü yalıtım için 228,9 kWh, selüloz yalıtım için 227,6 kWh, keten yalıtım için 226,6 kWh, taş yünü yalıtım için 227,3 kWh ve cam yünü yalıtım için 228 kWh'dir



Şekil 92. Referans bina yıllık toplam soğutma yükleri

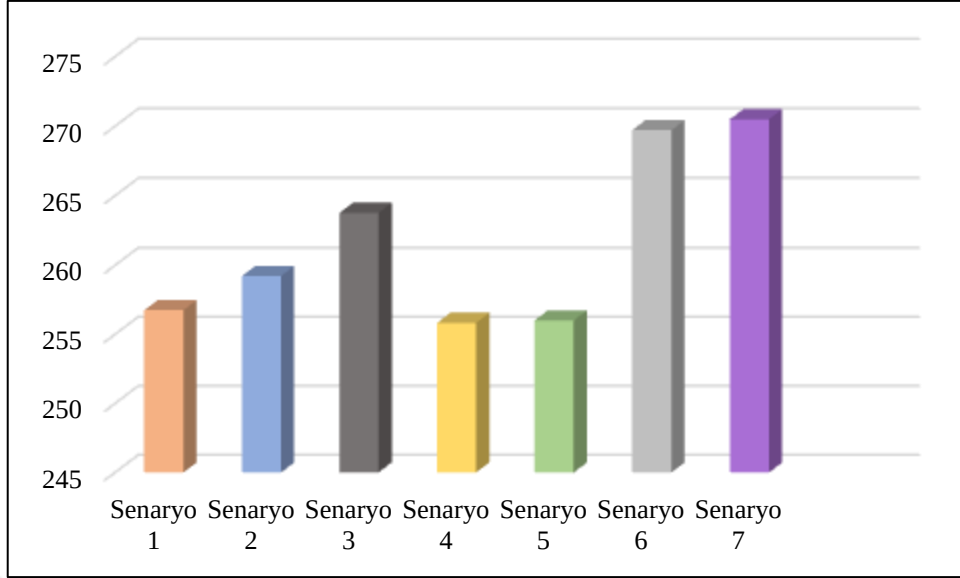
CLT model binada seçilen yalıtım malzemelerinin farklı kalınlıklarına göre (4 cm, 6 cm ve 8 cm) hesaplanan yıllık soğutma yükleri Şekil 93-95' deki grafiklerde gösterilmektedir.

CLT model bina 4 cm yalıtım kalınlığı için yıllık toplam soğutma yükleri Şekil 93’de grafik olarak verilmiştir. Senaryo 1 için 256,3 kWh, senaryo 2 için 267,5 kWh, senaryo 3 için 270,2 kWh, senaryo 4 için 262,1 kWh, senaryo 5 için 262,5 kWh, senaryo 6 için 279,0 kWh ve senaryo 7 için 279, 9 kWh olarak hesaplanmıştır. En yüksek soğutma yükü senaryo 7’ de görülmektedir. Ardından çok yakın bir değerle senaryo 6 gelmektedir. En düşük ısıtma yükü senaryo 4’ de görülürken ardından yakın bir değerle senaryo 5 gelmektedir.



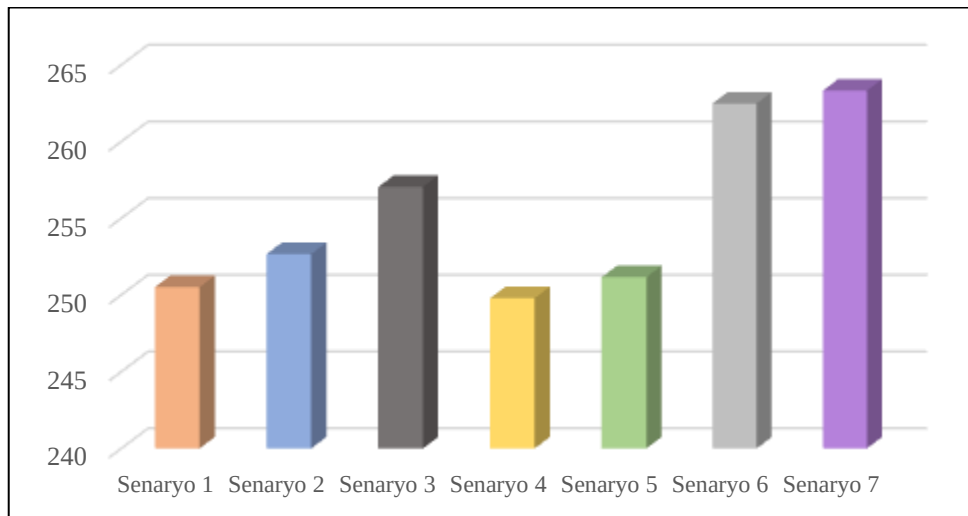
Şekil 93. 4 cm yalıtım kalınlığı için yıllık toplam soğutma yükleri

Model bina 6 cm yalıtım kalınlığı için yıllık toplam soğutma yükleri Şekil 94’de grafik olarak verilmiştir. Senaryo 1 için 256,7 kWh, senaryo 2 için 259,2 kWh, senaryo 3 için 263,7 kWh, senaryo 4 için 255,8 kWh, senaryo 5 için 256,0 kWh, senaryo 6 için 269,7 kWh ve senaryo 7 için 270,4 kWh olarak hesaplanmıştır. En yüksek soğutma yükü alternatif senaryo 7’ de görülmektedir. Ardından çok yakın bir değerle senaryo 6 gelmektedir. En düşük ısıtma yükü senaryo 4’ de görülürken ardından yakın bir değerle senaryo 5 ve senaryo 1 gelmektedir.



Şekil 94. 6 cm yalıtım kalınlığı için yıllık toplam soğutma yükleri

Model bina 8 cm yalıtım kalınlığı için yıllık toplam soğutma yükleri şekil 95’de grafik olarak verilmiştir. Senaryo 1 için 250,5 kWh, senaryo 2 için 252,6 kWh, senaryo 3 için 257,0 kWh, senaryo 4 için 249,7 kWh, senaryo 5 için 251,1 kWh, senaryo 6 için 262,4 kWh ve senaryo 7 için 263,3 kWh olarak hesaplanmıştır. En yüksek soğutma yükü senaryo 7’ de görülmektedir. Ardından çok yakın bir değerle senaryo 6 gelmektedir. En düşük ısıtma yükü senaryo 4’ de görülürken ardından yakın bir değerle senaryo 1 ve senaryo 5 gelmektedir.



Şekil 95. 8 cm yalıtım kalınlığı için yıllık toplam soğutma yükleri

Yıl geneli toplam soğutma yükleri incelendiğinde en düşük değeri senaryo 4'ün ve en yüksek değeri ise senaryo 7'nin verdiği görülmektedir. Yalıtım kalınlığının artmasına bağlı olarak soğutma yükleri arasında büyük değişimler görülmemiştir.



4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan araştırmalar doğrultusunda çevresel kirlenme ve enerji kaynakları tüketiminin gün geçtikçe arttığı ve yüksek enerji tüketimi olan binaların çevresel sorunların oluşumunda büyük bir orana sahip oldukları görülmektedir. Bu bağlamda mimarlık sektöründe düşük enerjili bina oluşumlarını artırmak için pasif bina tasarımlarına olan ilgi artmakta ve sera gazı emisyonları ve enerji tüketimlerini azaltmaya yönelik çalışmalar zorunlu hale gelmektedir. Enerji tüketiminin çoğunluğunu oluşturan ısıtma ve soğutma giderleri için yalıtım uygulamalarının daha etkin hale getirilmesi gerekmektedir. Bu durum geçmişten günümüze mimari alanda her türlü tasarımda kullanılan ahşabın teknolojik gelişmeler ile uygulama alanlarının genişlemesini ve günümüz ihtiyaçlarını karşılayabilen CLT, Glulam vb. yapısal ahşap malzemelerin kullanım alanının artmasını sağlamıştır.

Bu çalışmada Doğu Karadeniz bölgesi, Trabzon ilinde oluşturulan tek katlı model bina üzerine tanımlanan veriler ile enerji performans analizleri yapılmıştır. CLT masif ahşap panel sayısız avantajlarının yanında üstün ısıl performans özelliklerine sahiptir. Isı kaybının en fazla görüldüğü yer binanın dış katmanı olduğu için yalıtım çalışması öncelikli olarak bu kısımda yapılması gerekir. Çalışmada CLT model binası dış duvarında, geleneksel ve alternatif yalıtım malzemeleri arasından seçilen 7 farklı tip yalıtım malzemesi kullanılarak, ısıtma ve soğutma yükleri ile U değerleri yerel iklimsel veriler kullanılarak DesignBuilder simülasyon programında analiz edilmiştir. Hesaplamalar 4 cm, 6 cm ve 8 cm olarak üç farklı yalıtım kalınlığı için yapılmıştır. Geleneksel yalıtım malzemesi olarak taş yünü, EPS, XPS ve cam yünü, alternatif yalıtım malzemesi olarak koyun yünü, selüloz ve kenevir kullanılmıştır. Yalıtım malzemesi alternatiflerine ek olarak 5 tip dış cephe kaplama malzemesi (lambri, OSB, kontraplak, alçıpan ve mantolama) yalıtımlı CLT duvar paneli üzerine eklenerek, Fox-314 cihazında ısıl iletkenlik kat sayıları ölçülmüştür. EPS ve XPS yalıtım malzemeleri mantolama şeklinde, geri kalan 5 tip yalıtım malzemesi de dış cephe kaplama malzemeleriyle birlikte uygulanarak, toplam 26 alternatif duvar katmanı için ısıl iletkenlik katsayıları hesaplanmıştır. Deneysel ölçümlerden elde edilen değerlere göre simülasyonda kullanılacak yalıtım malzemeleri belirlenmiştir.

Simülasyonda öncelikle referans bina modeli oluşturulup daha sonra CLT bina modeli hesaplamaları yapılmıştır. Referans binanın dış duvarlarında konut yapımında sıklıkla tercih edilen tuğla malzemesi kullanılmış, ardından dış yüzeye mantolama

uygulanması yapılmıştır. Mantolamada yalıtım kalınlığı Trabzon ili için 4 cm olarak seçilmiştir. CLT binası için kullanılan alternatif yalıtım malzemeleri referans bina içinde kullanılmıştır.

CLT model bina için, XPS + mantolama, EPS + mantolama, koyun yünü + OSB, selüloz + alçı, keten + lambri, taş yünü + kontrplak ve cam yünü + kontrplak malzemeleri ile duvar katmanları alternatifleri oluşturulmuştur.

Referans bina için elde edilen ısıtma ve soğutma yüklerinde XPS yalıtım en düşük değeri verirken koyun yünü yalıtım en yüksek değeri vermiştir. U değerlerinde elde edilen sonuçlarda XPS yalıtım en düşük değeri verirken keten yünü yalıtım en yüksek değeri vermiştir. Simülasyon sonuçlarına göre, referans binada ısı iletkenlik kat sayısı birbirine çok yakın olan yalıtım malzemelerinin duvarların U değerleri, ısıtma ve soğutma yüklerine etkisinin benzer olduğu görülmüştür. Ayrıca referans binada yalıtım malzemesi türünün soğutma yükü üzerine ciddi etkiler yapmadığı görülmüştür.

Referans bina simülasyon sonuçları, CLT model binası sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, Trabzon ilinde max. ısıtma ihtiyacının olduğu Ocak ayında senaryo 1' de %

10, senaryo 2' de %8, senaryo 3' de %13, senaryo 4' de %11, senaryo 5'de %7, senaryo 6'de %13 ve senaryo 7'de %13 oranında ısıtma yüklerinde azalma görülmüştür. Yıllık toplam ısıtma yüklerinde ise, referans binaya göre CLT model binasında, senaryo 1' de %10, senaryo 2' de %13, senaryo 3' de %16, senaryo 4' de %14, senaryo 5'de %8, senaryo 6'da %15, senaryo 7'de %15 oranında azalma görülmüştür. Ayrıca CLT model bina simülasyon verilerine göre, ısıtma ihtiyacının en fazla olduğu Ocak ayında 4 cm, 6 cm ve 8 cm kalınlıklarda taş yünü yalıtım için sırasıyla 733,3 kWh, 692,5 kWh ve 663,4 kWh ısıtma yükü değerleri elde edilmiştir. CLT model binada taş yünü yalıtımlı senaryo 6, yıllık ısıtma yüklerinde en düşük değeri vermiştir.

Trabzon ilinde max. soğutma ihtiyacının olduğu Ağustos ayında referans binaya göre, CLT model binasında senaryo 1 için %8, senaryo 2 için %9, senaryo 3 için, %9 senaryo 4 için %7, senaryo 5 için % 8, senaryo 6 için %13 ve senaryo 7 için %13 soğutma yüklerinde artış görülmüştür. Yıllık toplam soğutma yüklerinde ise, referans binaya göre CLT model binasında, senaryo 1' de %13, senaryo 2' de %17, senaryo 3' de %17, senaryo 4' de %15, senaryo 5'de %16, senaryo 6'da %23, senaryo 7'de %23 oranında artış görülmüştür. Ayrıca CLT model bina simülasyon verilerine göre, soğutma ihtiyacının en fazla olduğu Ağustos ayında 4 cm, 6 cm ve 8 cm yalıtım kalınlıklarında selüloz yalıtım için

sırasıyla 109,8 kWh, 109,9 kWh ve 103,8 kWh soğutma yükü değerleri elde edilmiştir. CLT model binada selüloz yalıtımlı senaryo 4, yıllık soğutma yüklerinde en düşük değeri vermiştir.

CLT yüksek yoğunluklu masif ahşap oluşu ve çok düşük oranda hava sızdırmazlığına sahip olmasından dolayı termal kütle etkisi yaratmaktadır. Bu durum enerji verimliliğini artırırken, soğutma yükleri açısından olumsuz bir etki oluşturmaktadır. Simülasyonda elde edilen veriler ışığında CLT model binası soğutma yükleri, referans bina ile karşılaştırdığında bahsedilen konuyu doğrulamaktadır. Glass (2013) ve Khavari vd., (2016) yaptıkları çalışmalarda, CLT binalarının soğutma yükünün daha yüksek olduğunu fakat üst sınır değerinin referans binadan düşük olduğunu belirtmişlerdir. CLT panellerin kalınlığı arttıkça duvar katmanının U değeri azalmaktadır. Böyle durumlarda kalınlığı artırılan CLT duvarlarda yalıtım malzemesinin kalınlığı azaltılabilir. CLT binası enerji performans değerlendirilmesinde, iklim bölgesi, binanın işlevi, yapısal özellikleri, ebatları, HVAC sistemleri ve ortamdaki ısı yük, enerji tüketimini düşürmek için dikkat edilmesi gereken özelliklerdir.

Rönnelid vd., (2013)'deki çalışmalarında yaptıkları test binasındaki uygulama örneğinde dış duvarlar, yalıtım uygulanan CLT panelinden oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlarda yalıtımlı CLT duvarın yüksek enerji performansı gösterdiği ve U değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir.

Hyun Mi Cho vd., (2019) çalışmasında, referans bir binada yıllık ısıtma enerjisi tüketimini 130.6 MWh olarak hesaplarken, CLT model binasında denenen 4 tip yalıtım malzemesi (EPS, cam yünü, hibrit yalıtım ve taş yünü) için sırasıyla ısıtma yükünün 67,1 MWh, 66,9 MWh, 66,9 MWh ve 63.49 MWh'e düştüğünü belirtmişlerdir. Bu çalışmada da taş yünü yalıtım malzemesi uygulanan CLT model binada en düşük ısıtma enerji tüketimi görülmüştür.

CLT model binası tüm senaryoları için yapılan simülasyon sonuçlarına göre, TS 825 standardında 2. bölge için verilen U değerinin altında değerler elde edilmiştir. En düşük U değeri 4 cm kalınlıktaki taş yünü yalıtım malzemesinde $0,42 \text{ W/m}^2\text{K}$, 6 cm ve 8 cm kalınlıklarındaki XPS yalıtım malzemesinde sırasıyla $0,33 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve $0,27 \text{ W/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. En yüksek U değerleri EPS'de 4 cm kalınlığı için $0,465 \text{ W/m}^2\text{K}$, 6 ve 8 cm yalıtım kalınlığı için keten malzemede sırasıyla $0,385 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve $0,328 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak hesaplanmıştır. U değerleri, farklı yalıtım malzemelerinde seçilen kalınlıklara bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. Referans bina ile CLT model bina duvar katmanlarının U

değerleri karşılaştırıldığında, senaryo 1’de %19, senaryo 2’de %18, senaryo 3’de %26, senaryo 4’de %23, senaryo 5’de %23, senaryo 6’da %22 ve senaryo 7’de %23 oranında azalma görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre yalıtımlı CLT duvar katmanı, yalıtımlı tuğla duvar katmanına göre yüksek enerji performansı göstermiş ve doğal içerikli yalıtım malzemelerinin kullanılması U değerini önemli ölçüde azaltmıştır.

Yapılan çalışmada ayrıca CLT model bina yalıtımsız olarak da analiz edilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre, 2. iklim bölgesinde bulunan Trabzon ilinde tavsiye edilen U değerinin sağlanması için yalıtımsız CLT duvar kalınlığının en az 16 cm olarak uygulanması gerekmektedir. Bu durum ekonomik olarak maliyette önemli bir artışa neden olacağı için kalınlığın artırılması yerine uygun yalıtımlarla birlikte CLT duvar katmanının oluşturulması daha mantıklıdır. CLT binası enerji performans değerlendirilmesinde, iklim bölgesi, binanın işlevi, yapısal özellikleri, ebatları, HVAC sistemleri ve ortamdaki ısı yük, enerji tüketimini düşürmek için dikkat edilmesi gereken özelliklerdir.

Çalışma sonucunda CLT kullanılarak oluşturulan duvarların, geleneksel duvar malzemesi (tuğla) kullanılarak oluşturulan duvarlara göre ılıman iklim bölgesinde bina enerji performansını arttırdığı görülmektedir. Bu durum birçok avantaja sahip CLT malzemesi ile tasarlanan binaların, günümüzde kontrolsüz şekilde gelişen betonarme yapılara iyi bir alternatif olabileceğini göstermektedir.

Fosil yakıt kullanımına bağlı sera gazı emisyonlarındaki artış ve doğal kaynakların hızla tükenmesi göz önünde bulundurulduğunda, dünya genelinde mimari sektörde ahşap yapı malzemesi CLT’nin sahip olduğu üstün performans özellikleri nedeniyle (çağdaş kullanım olanakları, yapısal özellikleri, deprem dayanımı, yapım ve montaj hızı, yüksek katlı binalarda uygulanabilir olması, geri dönüştürülebilir oluşu, CO₂ depolaması, enerji performansı, doğal malzeme olması vb.) kullanım oranı hızla artmaktadır. Ülkemizde bu malzemenin özellikle konut sektöründe ve hertürlü mimari alanda kullanımının arttırılması için gerekli standartların oluşturulması, CLT üretiminin teşvik edilmesi ve bu alanda yapılan akademik çalışmaların arttırılması gerekmektedir.

5. KAYNAKÇA

- Abrahamsen, R. B. ve Malo, K. A. (2014, August). Structural Design and Assembly of "Treet"—A 14-Storey Timber Residential Building In Norway, In World Conference on Timber Engineering, Vol: 2014, No: 8.
- K. A. E. A. G. (2009). Ahşap Uygulamaları, Büyükşehir Belediyesi Başkanlığı.
- Aigbomian, E. P. ve Fan, M. (2013). Development of Wood-Crete Building Materials From Sawdust and Waste Paper, Construction and Building Materials, 40, 361-366.
- Akın, T. C. ve Kaplan S. (2019). Enerji Kimlik Belgelerinin Enerji Etkin Mimari Tasarım Kriterleri Açısından Değerlendirilmesi, DÜMF Mühendislik Dergisi, 10(1), 373-384.
- Akpan, I. J. ve Shanker, M. (2017). The confirmed realities and myths about the benefits and costs of 3D visualization and virtual reality in discrete event modeling and simulation: A descriptive meta-analysis of evidence from research and practice, Computers & Industrial Engineering, Vol:112, 197-211.
- Al-Homoud, M. S. (2005). Performance Characteristics and Practical Applications of Common Building Thermal Insulation Materials, Building and Environment, 40(3), 353-366.
- Alam, M., Singh, H. ve Limbachiya, M. C. (2011). Vacuum Insulation Panels (Vips) for Building Construction Industry—A Review of The Contemporary Developments and Future Directions, Applied Energy, 88(11), 3592-3602.
- ANSI/APA (2012). Standard for Performance-Rated Cross-Laminated Timber, ANSI/APA PRG 320.
- ANSI/APA PRG 320-2012. (2012). "Standard for performance-rated cross-laminated timber," American National Standards Institute, Washington, DC.
- APA, (2005). Wood: Sustainable Building Solutions, The Engineered Wood Association.
- APA, (2016). Cross-Laminated Timber Selection and Specification, An E Xc E Rpt O F The E Ngine E Red Wood Cons Truct Ion Guide
- APA,(2017). Glulam Product Guide.

- Araki, Kamoto K., Matsuoka D. ve Shin-Ichi, (2008). Characteristics About Thermal Insulation of High Temperature Type Vacuum Insulation Panel Using Soluble Polyimide, Transactions of The Japan Society of Mechanical Engineers Series A. 74 (744), 1181-1183.
- Arntzen, Charles J., ed. (1994). Encyclopedia of Agricultural Science, Orlando, FL: Academic Press: 549-561. Vol. 4.
- Asdrubali, F., Pisello, A. L., D'alessandro, F., Bianchi, F., Fabiani, C., Cornicchia, M. ve Rotili, A. (2016). Experimental and Numerical Characterization of Innovative Cardboard Based Panels: Thermal and Acoustic Performance Analysis and Life Cycle Assessment, Building and Environment, Vol:95, 145-159.
- Asdrubali, F., Ferracuti, B., Lombardi, L., Guattari, C., Evangelisti, L. ve Grazieschi, G. (2017). A Review of Structural, Thermo-Physical, Acoustical and Environmental Properties of Wooden Materials for Building Applications, Building and Environment, 114, 307–332.
- Augenbroe, G. (2002). Trends in building simulation, Building and Environment, 37(8-9), 891-902.
- Augustin, M. (2008). Wood Based Panels (in particular Cross Laminated Timber). In Handbook 1- Timber Structures, Educational Materials for Designing and Testing of Timber Structures, 67-103.
- Avlar, E. (1998). Türkiye’de Konut Açığının Giderilmesinde Ön Yapımlı Konut Üretiminin Uygulanabilirliği Yönünden Bir Model Araştırması (Bursa Örneği), Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ayata, İ. (1974), Ahşap Yapı ve Kafes sistemlerin Hesap Esasları, Diner Matbaası, İstanbul.
- Aydın, Ö. ve Alemdağ, L.E. (2014). Karadeniz Geleneksel Mimarisinde Sürdürülebilir Malzemeler; Ahşap ve Taş, Journal of International Social Research, 7 (35).
- Baetens, R., Jelle, B. P., Thue, J. V., Tenpierik, M. J., Grynning, S., Uvsløkk, S. ve Gustavsen, A. (2010). Vacuum Insulation Panels for Building Applications: A Review and Beyond, Energy and Buildings, 42(2), 147-172.
- Baetens, R., Jelle, B. P. ve Gustavsen, A. (2011). Aerogel Insulation for Building Applications: A State-of-The-Art Review, Energy and Buildings, 43(4), 761-769.
- Baetens, R., Jelle, B. P., Gustavsen, A. ve Grynning, S. (2010). Gas-Filled Panels for Building Applications: A State-of-The-Art Review, Energy and Buildings, 42(11), 1969–1975.

- Bakar, N. N. A., Hassan, M. Y., Abdullah, H., Rahman, H. A., Abdullah, M. P., Hussin, F. ve Bandi, M. (2015). Energy Efficiency Index as an Indicator for Measuring Building Energy Performance: A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 44, 1-11.
- Bal, O. (2007). Türkiye'deki Geleneksel Ahşap Yapıların Çevre ve Ekoloji Kapsamında Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans, Haliç Üniversitesi Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Barber, D. (2018). Fire Safety of Mass timber Buildings with CLT in USA, Wood and Fiber Science, 50, 83-95.
- Barreto, M. I. M., De Araujo, V., Cortez-Barbosa, J., Christoforo, A. L. ve Moura, J. D. M. (2019). Structural Performance Analysis of Cross-Laminated Timber-Bamboo (CLTB), BioRes, 14(3), 5045-5058.
- Başkan, S. (2008). Geleneksel Doğu Karadeniz Evleri, Erdem Dergisi, 52, 41-90.
- Batard, A. (2017). Modélisation Du Comportement Thermique A Long Terme Des Panneaux Isolants Sous Vide:(PIV), Doctoral Dissertation, Université Savoie Mont Blanc, France.
- Batur, A. (2004). Gelişmiş Ahşap Yapım Sistemleri ve Türkiye Koşulları Yönünden Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mimarlık ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Bayrakçı, H., Davraz, M. ve Başpınar, E. (2011). Yeni Nesil Isı Yalıtım Malzemesi: Vakum Yalıtım Paneli, Teknik Bilimler Dergisi, 1(2), 1-12.
- Bayraktar, D. ve Bayraktar, E. (2016). Mevcut Binalarda Isı Yalıtımı Uygulamalarının Değerlendirilmesi, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7(1), 59-66.
- Beck, A., Frank, O. ve Binder, M. (2007). Influence of Water Content on The Thermal Conductivity of Vacuum Panels with Fumed Silica Kernels, In Proceedings of The 8th International Vacuum Insulation Symposium, 18-19 September 2007, Würzburg, Germany, 13-14.
- Bergman, R., Puettmann, M., Taylor, A. ve Skog, K. E. (2014). The Carbon Impacts of Wood Products, Forest Products Journal, 64(7), 220-231.
- Berkel, A. (1970). Ağaç Malzeme Teknolojisi, Birinci Cilt, İstanbul.
- Bilgin, H. (2009). Ahşap Yapıların Tarihsel Süreç İçindeki Gelişimi ve Günümüzde Ahşap Yapı Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Bilici, S., (2006). Ahşap konut üretim sistemleri; Almanya örneği, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Bosia, D., Savio, L., Thiebat, F., Patrucco, A., Fantucci, S., Piccablotto, G. ve Marino, D. (2015). Sheep Wool for Sustainable Architecture, Energy Procedia, 78, 315-320.
- Bostancıoğlu, E. ve Düzgün, Birer E. (2004). Ekoloji ve Ahşap – Türkiye’de AhşapMalzemenin Geleceği, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 9, Sayı 2, 37- 44.
- Bozkurt, Y. A. (1982), Ağaç Teknolojisi, İkinci Baskı, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, İstanbul.
- Bozkurt, Y. ve Göker, Y. (1996). Fiziksel ve mekanik ağaç teknolojisi, Ders Kitabı, Orman Endüstrisi Bölümü.
- Bredel, D.H. (2003). Performance Capabilities of Light-Frame Shear Walls Sheathed with Long OSB Panels, Doctoral dissertation, Master of Science in Civil Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Brandner, R., Flatscher, G., Ringhofer, A., Schickhofer, G. ve Thiel, A. (2016). Cross Laminated Timber (CLT): Overview and Development, European Journal of Wood and Wood Products, 74(3), 331-351.
- Breyer, D.E., Fridley, K. J., Pollock, J. D. G. ve Cobeen, K. (2006). Design of Wood Structures-ASD/LRFD, sixty edition, McGraw-Hill, New York, 205-297.
- Can, Ö. ve Tokgöz, H. (2008). Ahşap Çatı Makaslarının Düğüm Noktalarında Ön Ahşap Uzunluğun Deneyisel Yöntemle Tayini, Technological Applied Sciences, 3(4), 571-579.
- Can, Ö. ve Tokgöz, H. (2008). Ahşap Çatı Makaslarının Düğüm Noktalarında Ön Ahşap
- Candan N., (2007). Isı Yalıtım Sistemleri ve Özelliklerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Ceccotti, A., Sandhaas, C., Okabe, M., Yasumura, M., Minowa, C. ve Kawai, N. (2013). SOFIE Project – 3D shaking table test on a seven-story full-scale cross-laminated timber building, Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 42(13), 2003-2021.
- Chang, S. J., Wi, S. ve Kim, S. (2019). Thermal Bridging Analysis of Connections in Cross-Laminated Timber Buildings Based on ISO 10211, Construction and Building Materials, Vol: 213, 709-722.

- Chen, Y.J. (2012). Comparison of Environmental Performance of a Five-storey Building Built with Cross-laminated Timber and Concrete (Thesis), Department of Wood Science, University of British Columbia, Canada.
- Chen, C. X., Pierobon, F. ve Ganguly, I. (2019). Life Cycle Assessment (LCA) of Cross-Laminated Timber (CLT) Produced in Western Washington: The Role of Logistics and Wood Species Mix, Sustainability, 11(5), 1278.
- Cho, H. M., Park, J. H., Wi, S., Chang, S. J., Yun, G. Y. ve Kim, S. (2019). Energy Retrofit Analysis of Cross-Laminated Timber Residential Buildings In Seoul, Korea: Insights From A Case Study of Packages, Energy and Buildings, Vol:202, 109329.
- Cho, H. M., Wi, S., Chang, S. J. ve Kim, S. (2019). Hygrothermal Properties Analysis of Cross-Laminated Timber Wall With Internal and External Insulation Systems, Journal of Cleaner Production, Vol:231, 1353-1363.
- Crawley, D. B., Hand, J. W., Kummert, M. ve Griffith, B. T. (2008). Contrasting The Capabilities of Building Energy Performance Simulation Programs, Building and Environment, 43(4), 661-673.
- Corscadden, K. W., Biggs, J. N. ve Stiles, D. K. (2014). Sheep's Wool Insulation: A Sustainable Alternative Use for A Renewable Resources, Conservation and Recycling, 86, 9-15.
- Cascone, S., Catania, F. ve Sciuto, G. (2018). Wooden Building Technology and Proposal for an Innovative Solution, 42nd Iahs World Congress The housing for the dignity of mankind 10-13 rd April 2018, Naples, Italy.
- Cuce, E., Cuce, P. M., Wood, C. J. ve Riffat, S. B. (2014). Toward Aerogel Based Thermal Superinsulation in Buildings: A Comprehensive Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 34, 273-299.
- Çakır, S. (2000). Geleneksel Karadeniz Ahşap Konut Yapım Yönteminin Çağdaş Teknoloji Açısından Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çetintaş, K. F. ve Yılmaz, A. Z. (2017). Konut Binaları İçin Isı Yalıtım Malzemesinin ve Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesine Yönelik Yeni Bir Yaklaşım, 13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Binalarda Enerji Performansı Sempozyumu, 19-22 Nisan 2017, İzmir, 649-666.
- Çetiner, I. ve Shea, A. D. (2018). Wood Waste As an Alternative Thermal Insulation for Buildings, Energy and Buildings, 168, 374-384.
- Çetiner, B. (1986). Doğu Karadeniz ve evleri, İlgi Dergisi, 20, 15-22.

- Çorapçioğlu, K. vd. (2008). Yöresel Kırsal Mimari Kimlik, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, 35-118.
- ÇŞB,2015, Isı Yalıtım Klavuzu, Ankara.
- Demirrenk, E. İ. ve Erarslan, A. (2018). Geleneksel Rize İkizdere Evlerinin Plan Tipolojisi ve Yapım Sistemi Açısından İncelenmesi, *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 13(50), 47-66.
- Díaz, A. R., Flores, E. I. S., Yanez, S. J., Vasco, D. A., Pina, J. C. ve Guzmán, C. F. (2019). Multiscale modeling of the thermal conductivity of wood and its application to cross-laminated timber, *International Journal of Thermal Sciences*, 144, 79-92.
- Dodoo, A., Gustavsson, L. ve Sathre, R. (2014). Lifecycle Primary Energy Analysis of Low-Energy Timber Building Systems for Multi-Storey Residential Buildings, *Energy and Buildings*, Vol:81, 84-97.
- Dong, Y., Cui, X., Yin, X., Chen, Y. ve Guo, H. (2019). Assessment of Energy Saving Potential by Replacing Conventional Materials by Cross Laminated Timber (CLT)-A Case Study of Office Buildings in China, *Applied Sciences*, 9(5), 858.
- Doyle, A. ve Lewis, B., (2017). Wooden 'Plyscrapers' Challenge Concrete and Steel. Reuters.
- Dorcheh, A. S. ve Abbasi, M. H. (2008). Silica Aerogel; Synthesis, Properties and Characterization, *Journal of Materials Processing Technology*, 199(1-3), 10-26.
- Duman, N. ve Ökten, S. (1981). Ahşap Yapılar Dersleri 1, İ.T.Ü Yayınları, İstanbul.
- Ekinci, S. ve Arpacıoğlu, Ü. (2004). Geleneksel Ahşap Yapılarda Yapı Fiziği ve Malzeme Sorunlarının Taşıyıcı Sisteme Etkileri, 2. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, 6-8 Ekim 2004.
- Eriç, M. (2010), Yapı Fiziği ve Malzemesi, 3. Baskı, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- Erkoç, M. (2004). Günümüz Teknolojisiyle Üretilen Ahşap Konutların Tasarım-Uygulama-Kullanım Üçgeninde Değerlendirilmesi: İstanbul Örnekleri, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Erşen, N. (2000), Ahşap Yapılar Problem ve Çözümleri, Birsan Yayınları, İstanbul.
- Eruzun, C. (1997). Ahşabın Kimlik Bulduğu Rize Geleneksel Mimarisi, (Ed. Seyfi Başkan), Rize Kültür Bakanlığı Yayınları: Tanıtma Eserleri Dizisi:72, Ankara.

- Eruzun C. (1981). Türk Folkloru Araştırmaları, Kültür Bakanlığı Milli Folklor Araştırma Dairesi Yayınları, 32, Ankara.
- Evans, L. (2013). Cross Laminated Timber: Taking Wood Buildings to the Next Level, Architectural Records.
- EWPA, (2018). Structural Plywood and LVL, Design Guide, VERSION: 5.
- Falk, R. H. (2009). Wood as a sustainable building material, Forest products journal, 59(9), 6-12.
- Falk, R. H. (2010). Wood as a sustainable building material. Wood handbook: wood as an engineering material: chapter 1. Centennial ed. General technical report FPL; GTR-190. Madison, WI: US Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1.1-1.6., 190.
- Fathi, S., Srinivasan, R., Fenner, A. ve Fathi, S. (2020). Machine Learning Applications In Urban Building Energy Performance Forecasting: A Systematic Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol:133, 1-13.
- Ferk, H. (2013). Some building science aspects for building with CLT. In Focus solid timber solutions-European conference on cross laminated timber (CLT), University of Bath, Bath, United Kingdom, 207-250.
- Fleming, P., Smith, S. ve Ramage, M. (2014). Measuring-Up in Timber: A Critical Perspective on Mid- and High-Rise Timber Building Design, Architectural Research Quarterly, 18, 20-30.
- Foster, R. M., Reynolds, T. P. ve Ramage, M. H. (2016). Proposal For Defining A Tall Timber Building, Journal of Structural Engineering, 142, (12).
- Frangi, A., Fontana, M., Hugi, E. ve Jübstl, R. (2009). Experimental analysis of cross-laminated timber panels in fire, Fire Safety Journal, 44(8), 1078-1087.
- Fridley, K. J., Pollock, J. D. G. ve Cobein, K. (2006). Design of Wood Structures-Asd/Lrfd, McGraw-Hill.
- Gagnon, S. ve Crespell, P. (2010). Cross Laminated Timber: a Primer. FPInnovations, Special publication, 52.
- Gagnon, S., Bilek, E. T., Podesto, L. ve Crespell, P. (2013). CLT Introduction to cross-laminated timber. In: CLT handbook: cross-laminated timber/edited by Erol Karacabeyli, Brad Douglas,--US ed. 2013; 1-45., 1-57.
- Geving, S., Lunde, E. ve Holme, J. (2015). Laboratory Investigations of Moisture Conditions In Wood Frame Walls With Wood Fiber Insulation, Energy Procedia, 78, 1455-1460.

- Gijzen, R. P. T. (2017). Modular cross-laminated timber buildings.
- Glass, S. V., Wang, J., Easley, S. ve Finch, G. (2013). Enclosure--Building enclosure design for cross-laminated timber construction. In: CLT handbook: cross-laminated timber/edited by
- Green, M. ve Eric Karsh, J. (2012). Tall Wood. The Case for Tall Wood Buildings. How Mass Timber Offers a safe, economical and Environmentally Friendly Alternative for Tall Building Structures, British Columbia, 1-237.
- Güler, K. ve Bilge, C.A. (2013). Doğu Karadeniz Ahşap Karkas Yapı Geleneği ve Koruma Sorunları, Ahşap Yapılarda Koruma ve Onarım Sempozyumu 2, 24-25 Aralık 2013, Bildiri Kitabı, İstanbul, 178-194.
- Gür, Ş. Ö. ve Batur, A. (2005). Doğu Karadeniz'de Kırsal Mimari, Milli Reasürans T.A.Ş.
- Güzel, N. ve Karaman Ö. Y. (2015). Sürdürülebilir Bir Alternatif Olarak Çok Katlı Ahşap Yapılar, Ege Mimarlık, 91, 30-35.
- Glass, S. V. ve Zelinka, S. L. (2010). Moisture relations and physical properties of wood. Wood handbook: wood as an engineering material: chapter 4. Centennial ed. General technical report FPL; GTR-190. Madison, WI: US Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 4.1-4.19., 190.
- Grasser, K. K. (2015). Development of Cross Laminated Timber in the United States of America, Master's Thesis, University of Tennessee, Knoxville, Tennessee.
- Gurav, J. L., Jung, I. K., Park, H. H., Kang, E. S. ve Nadargi, D. Y. (2010). Silica Aerogel: Synthesis and Applications, Journal of Nanomaterials, 1-11.
- Guo, H., Zhou, S., Qin, T., Huang, L., Song, W. ve Yin, X. (2020). Energy Sustainability of Bio-Based Building Materials in the Cold and Severe Cold Regions of China—A Case Study of Residential Buildings, Applied Sciences, 10(5), 1582.
- Guo, H., Liu, Y., Chang, W. S., Shao, Y. ve Sun, C. (2017). Energy saving and carbon reduction in the operation stage of cross laminated timber residential buildings in China, Sustainability, 9(2), 292.
- Güngör H. (1969), Ahşap yapı Bilgisi, ikinci baskı, İ.T.Ü. Teknik Okulları Yayınları, sayı:72, İstanbul.
- Günay, R. (2020). Geleneksel Ahşap Yapılar Sorunları ve Çözüm Yolları, Birsen Yayınları, İstanbul.

- Halıcıoğlu, F. H. (1999). Konvansiyonel ve Geliştirilmiş Konvansiyonel Yapım Sistemleriyle Üretilen Yapılarda Betonarme Elemanların Dayanıklılığını Olumsuz Olarak Etkileyen Etkenlerin İrdelenmesi, Yüksek Lisan Tezi, D.E.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Hasol, D. (2010). Mimarlık ve yapı sözlüğü, Yapı yayıncılık
- Havel, G. (2006). Construction Concerns: CLT: Insulation of Exterior Walls, FIRE ENGINEERING.
- Hildebrandt, J., Hagemann, N. ve Thrän, D. (2017). The Contribution of Wood-Based Construction Materials for Leveraging A Low Carbon Building Sector In Europe, Sustainable Cities and Society, 34, 405-418.
- Hensen, J. L. M. (2003). Simulating Building Performance: Just How Useful Is It?, REHVA Journal, Brussels, 3(4), 18-24.
- Horx-Strathern, O., Varga, C. ve Guntschnig, G. (2017). The future of Timber Construction. CLT–Cross Laminated Timber, Zukunftsinstitut GmbH, StoraEnso, 1-59.
- Hossain, M. U. ve Ng, S. T. (2020). Strategies for enhancing the accuracy of evaluation and sustainability performance of building, Journal of Environmental Management, 261.
- Hui, S. C. M. (2002). Using performance-based approach in building energy standards and codes, In Proc. of the Chongqing-Hong Kong Joint Symposium, 8-10 July 2002, Chongqing, China, A52-61.
- Hurtado, P.L., Rouilly A., Vandenbossche V. ve Raynaud C. (2016). A Review on The Properties of Cellulose Fibre İnsulation, Building and Environment, 96, 170–177.
- Islam, S. ve Bhat, G. (2019). Environmentally-Friendly Thermal and Acoustic İnsulation Materials From Recycled Textiles, Journal of Environmental Management, 251, 109-536.
- İşbilir, D. (2009). Binalarda Isı Yalıtımı Uygulamaları ve Sorunlarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya
- Jelle, B. P. (2011). Traditional, State-of-The-Art and Future Thermal Building İnsulation Materials and Solutions–Properties, Requirements and Possibilities, Energy and Buildings, 43(10), 2549-2563.

- Jelle, B. P., Tilset, B. G., Jähren, S., Gao, T. ve Gustavsen, A. (2011). Vacuum and Nanotechnologies for the Thermal Insulation Materials of Beyond Tomorrow-From Concept to Experimental Investigations. In Proceedings of The 10th International Vacuum Insulation Symposium (IVIS-X), 15-16 September, (2011), Ottawa, Canada, 171-178.
- Jiang, F., Li, T., Li, Y., Zhang, Y., Gong, A., Dai, J. ve Hu, L. (2018). Wood-based nanotechnologies toward sustainability, Advanced Materials, 30(1).
- Joseph, P. ve Tretsiakova-Mcnally, S. (2010). Sustainable Non-Metallic Building Materials, Environmental Sustainability and the Built Environment, 2(2), 400-427.
- Karaağaçlıoğlu, İ. E. (2012). Bor ve Mineral Katkılı Selülozik Yalıtım Malzemesi Üretimi ve Karakterizasyonu, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Karamanos, A., Hadjirakou, S. ve Papadopoulos, A. M. (2008). The Impact of Temperature and Moisture on The Thermal Performance of Stone Wool, Energy and Buildings, 40(8), 1402-1411.
- Karayılmazlar, S., Çabuk, Y., Atmaca A. ve Aşkın A. (2007). Orman Ürünleri Endüstrisinde Laminasyon Tekniği ve Önemi, Orman Fakültesi Dergisi, 9(11), 78-86.
- Karpuz, H. (1987). Halk Mimarimizde Ahşap Yığma. Çantı” Yapılar”, III. Milletlerarası Türk Folklor Kongresi Bildirileri, V’den Ayırbasım, Ankara, 165-181.
- Karpuz, H. (2001). Erzurum ve Konya Evlerinde Ahşap Malzeme Kullanımı, A. Özköse (ed.) Ahşap Kültürü: Anadolu’nun Ahşap Evleri, 113-128.
- Karaman, G. N. (2014).“ Çorum İskilip’de Geçmişten Günümüze Aktarılan Bir Miras: Ahşap Oyuncaklar”, Karadeniz Sosyal Bilimler Dergisi, 4, 104-116.
- Kartal, B. (2015). Yapılarda Ahşap Kullanımı ve Çağdaş Yapı Teknolojisinde Ahşap Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kasal, B., Friebe, S., Gunschera, J., Salthammer, T., Schirp, A., Schwab, H. ve Thole, V. (2015). Wood-Based Materials. Ullmann’s Encyclopedia of Industrial Chemistry, 1–56.
- Kaya, T. (2016). Yapılarda Kullanılan Yalıtım Malzemelerinin Enerji Verimliliği Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik.

- Khan, S. (2017). Basic of Cross Laminated of Timber and Optimal Location for New CLT Plant, Thesis Centria University of Applied Sciences, Industrial Management.
- Khavari, A. M., Pei, S. ve Tabares-Velasco, P. C. (2016). Energy consumption analysis of multistory cross-laminated timber residential buildings: a comparative study, Journal of Architectural Engineering, 22(2).
- Kraler, A., Kögl, J., Maderebner, R. ve Flach, M. (2014). Sherpa-CLT-Connector for Cross Laminated Timber (CLT) Elements, In Proceedings of 13th World Conference on Timber Engineering (WCTE2014), 10-14 August 2014, Quebec, Canada.
- Kralj A., Žnidaršič, M., Firš J.P. ve Remec, C., (2011), Gas-Filled Panels As A High Insulation Alternative for 21st Century Building Envelopes, Word Engineres Convention, 4-9 Semptember, 2011, Trebnje, Slovenia.
- Kocagül, M. (2013). Isı Yalıtımında İdeal Yalıtım Malzemesi Kullanılmasının Deneysel Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ.
- Korjenic, A., Petránek, V., Zach, J. ve Hroudová, J. (2011). Development and performance evaluation of natural thermal-insulation materials composed of renewable resources, Energy and Buildings, 43(9), 2518-2523.
- Kosny, J., Asiz, A., Smith, I., Shrestha, S. ve Fallahi, A. (2014). A Review of High R-Value Wood Framed and Composite Wood Wall Technologies Using Advanced Insulation Techniques, Energy and Buildings, 72, 441–456.
- Kuban, D. (1966). Türkiyede Malzeme Kosullarina Bağli Geleneksel Konut Mimarisi Üzerinde Bazi Gözlemler, Mimarlık, 4(36), 15-20.
- Kawasaki, T. ve Kawai, S. (2006). Thermal insulation properties of wood-based sandwich panel for use as structural insulated walls and floors, Journal of wood science, 52(1), 75-83.
- Laguarda Mallo, M. (2017). Critical Factors İn The Willingness to Adopt Innovative Wood-Based Building Materials İn the Construction Industry: The Case of CLT, University of Minnesota Ph.D. Dissertation.
- Latif, E., Lawrence, R. M. H., Shea, A. D. ve Walker, P. (2018). An Experimental Investigation Into the Comparative Hygrothermal Performance of Wall Panels Incorporating Wood Fibre, Mineral Wool and Hemp-Lime, Energy and Buildings, Vol:165, 76-91.
- Leichti, R.J., Falk, R.H. ve Laufenberg, T.H. (1990). Prefabricated Wood Composite I-Beams: A Literature Auburn University Review, Wood And Fiber Science, 22(1), 62-79.

- Leydecker, S. (2008). Nano Materials: In Architecture, Interior Architecture and Design. Walter De Gruyter, Berlin.
- Lewis, W. C. (1968). Thermal Insulation From Wood for Buildings: Effects of Moisture and Its Control (No. Fsrp-Fpl-86). Forest Products Lab Madison Wis.
- Li, J., Zhang, A., Zhang, S., Gao, Q., Zhang, W. ve Li, J. (2019). Larch Tannin-Based Rigid Phenolic Foam with High Compressive Strength, Low Friability, and Low Thermal Conductivity Reinforced By Cork Powder, Composites Part B: Engineering, 156, 368-377.
- Liao, Y., Tu, D., Zhou, J., Zhou, H., Yun, H., Gu, J. ve Hu, C. (2017). Feasibility of Manufacturing Cross-Laminated Timber Using Fast-Grown Small Diameter Eucalyptus Lumbers, Construction And Building Materials, 132, 508-515.
- Liu, L., Li, H., Lazzaretto, A., Manente, G., Tong, C., Liu, Q. ve Li, N. (2017). The development history and prospects of biomass-based insulation materials for buildings, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 69, 912-932.
- Lukacs, I., Björnfor, A. ve Tomasi, R. (2019). Strength and Stiffness of Cross-laminated Timber (CLT) Shear Walls: State-of-the-art of Analytical Approaches, Engineering Structures, 178, 136-147.
- Maaloufa, Y., Mounir, S., Khabbazi, A., Kettar, J. ve Khaldoun, A. (2015). Thermal Characterization of Materials Based on Clay and Granular: Cork or Expanded Perlite, Energy Procedia, 74, 1150-1161.
- Mckinsey (2009). Pathways to A Low-Carbon Economy. Version 2 of The Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve, Mckinsey & Company.
- McNatt, J. D. (1980). Hardboard-Webbed Beams: Research and Application, Forest Products Journal, 30(10), 57-64.
- Meftah, R., Berger, S., Jacques, G., Lalluet, J. Y. ve Cnudde, V. (2019). Multiscale Characterization of Glass Wools Using X-Ray Micro-CT, Materials Characterization, Vol:156.
- Mestek, P., Werther, N. ve Winter, S. (2010). Building with Cross Laminated Timber-Load-bearing solid wood components for walls, ceilings and roofs. Studiengemeinschaft Holzleimbau eV, Wuppertal, 67-70.
- Meral, Y. (2008). Ahşap İskelet Yapı Sisteminin Isı Ve Buhar Geçiş Açısından Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

- Moazzen, N., Karagüler, M. E., Ashrafiyan, T. ve Aktürk, Ö. (2019). Bir İlköğretim Binasının Yaşam Döngüsü Enerji Verimliliği Değerlendirilmesi, 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 17-20 Nisan 2019, İzmir.
- Mohammad, M., Douglas, B., Rammer, D. ve Pryor, S. E. (2013). Connections Connections in cross-laminated timber buildings. In: CLT handbook: cross-laminated timber/edited by Erol Karacabeyli, Brad Douglas.-US ed.; 2013; 59.
- Manohar, K., Ramlakhan, D., Kochhar, G. ve Haldar, S. (2006). Biodegradable Fibrous Thermal İnsulation, Journal of The Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 28(1), 45-47.
- Morbitzer, C. A. (2003). Towards the integration of simulation into the building design process, Doctoral dissertation, University of Strathclyde, Glasgow, Scotland.
- Moody, R. C. ve Liu, J. Y. (1999). Glued Structural Members. Wood Handbook: Wood As An Engineering Material. Madison, WI: USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technical Report FPL; GTR-113: Pages 11.1-11.24, 113.
- Mougel, C., Garnier, T., Cassagnau, P. ve Sintès-Zydowicz, N. (2019). Phenolic Foams: A Review of Mechanical Properties, Fire Resistance and New Trends In Phenol Substitution, Polymer, 164, 86-117.
- Nakagaito, A. N., Kondo, H. ve Takagi, H. (2013). Cellulose Nanofiber Aerogel Production and Applications, Journal of Reinforced Plastics and Composites, 32(20), 1547-1552.
- Nguyen, S. T., Tran-Le, A. D., Vu, M. N., To, Q. D., Douzane, O. ve Langlet, T. (2016). Modeling Thermal Conductivity of Hemp İnsulation Material: A Multi-Scale Homogenization Approach, Building and Environment, 107, 127-134.
- Nguyen, T. T. (2017). Modeling of CLT creep behavior and real-time hybrid simulation of a CLT-LiFS building, Doctoral dissertation, University of Alabama Libraries, Tuscaloosa.
- Nicolajsen, A. (2005). Thermal Transmittance of A Cellulose Loose-Fill İnsulation Material, Building and Environment, 40(7), 907-914.
- Nor, M. J. M., Jamaludin, N. ve Tamiri, F. M. (2004). A Preliminary Study of Sound Absorption Using Multi-Layer Coconut Coir Fibers, Electronic Journal Technical Acoustics, 3, 1-8.
- Odabaşı Y. (2000). Ahşap ve Çelik Yapı Elemanları, 3. Baskı, Beta Basım A.Ş., İstanbul.

- Oral, B. (2019). Geleneksel Mimariye Öykünme Bağlamında Günümüz Safranbolu Sivil Mimarisi, İnsan & İnsan dergisi, 6(21), 597-631.
- Örs, Y. ve Keskin H. (2001). Ağaç Malzeme Bilgisi, 1.Baskı, Atlas Yayın, İstanbul.
- Örs, Y. ve Togay, A. (2003). Ahşap Yapı Endüstrisinin Tanımı, Sınıflandırılması, Türkiye’de Uygulanan Üretim Teknikleri, Politeknik Dergisi, 6(3), 569-577.
- Östman, B. A. L., Schmid, J., Klippel, M., Just, A., Werther, N. ve Brandon, D. (2018). Fire Design of CLT in Europe, Wood and Fiber Science, 68-82.
- Öz, B. (2015). Enerji Verimliliği Kriterlerine Göre Otel Tasarımı ve Enerji Modellemesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özel, M. ve Pıhtılı, K. (2005). Bina Duvarlarına Uygulanan Yalıtımın Farklı Konumlarının Isı Kazanç ve Kayıplarına Olan Etkisinin Araştırılması, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt:7, Sayı:1, 87-97.
- Özdemir, B. B. (2005). Sürdürülebilir Çevre için Binaların Enerji Etkin Pasif Sistemler Olarak Tasarlanması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özgüner, O. (1970). Köyde Mimari Doğru Karadeniz, Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Yayınları, (13).
- Özköse, A. (2001). Safranbolu’da Yorgun Ahşap Yapı Kültürü, Anadolu’nun Ahşap Evleri, Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları.
- Özsait, I. (1998). Sivil Mimaride Ahşap Elemanların Konservasyonu.
- Öztank, N. (2004). Orta yükseklikteki (4-8 kat) konut yapılarında ahşap teknolojisinin uygulanabilirliği, Doktora Tezi, D.E.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Pan, D., Chan, M., Deng, S. ve Lin, Z. (2012). The Effects of External Wall Insulation Thickness on Annual Cooling and Heating Energy Uses Under Different Climates, Applied Energy, 97, 313-318.
- Papadopoulos, A. M. (2005). State of The Art İn Thermal Insulation Materials and Aims for Future Developments, Energy and Buildings, 37(1), 77-86.
- Papadopoulos, A. M. ve Giama, E. (2007). Environmental performance evaluation of thermal insulation materials and its impact on the building, Building and environment, 42(5), 2178-2187.

- Perker S. Z. ve Akıncıtürk N. (2011), Geleneksel Cumalıkızık Evlerinde Ahşap Konut Sistemi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 16 (1), 41-51.
- Pınar, E. (2018). Doğu Karadeniz Kırsal Mimarisinde Taşıyıcı Sistem Detaylarının İrdelenmesi, ADP Özel Sayısı, 6, 60-74.
- Pirvu, C., Thomas, T. ve Ramzi, R. (2016), Sound İnsulation Performance at Wood Innovation and Design Centre-A Case Study. In INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings (Vol. 252, No. 2, Pp. 522-530). Institute of Noise Control Engineering.
- Popovski, M. ve Karacabeyli, E. (2012). Seismic behaviour of cross-laminated timber structures, In Proceedings of the World Conference on Timber Engineering, 15-19 July 2012, 335-244.
- Ramage, M.H., Burrige, H. Busse-Wicher, M. Fereday, G., Reynolds, T., Shah, D.U., Wu, G., Yu, L., Fleming, P., Densley-Tingley, D., et al. (2017). The Wood From the Trees: The use of Timber in Construction, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 68, 333–359.
- Ramage, M., Foster, R., Smith, S., Flanagan, K. ve Bakker, R. (2017). Super Tall Timber: Design Research for The Next Generation of Natural Structure, The Journal of Architecture, 22(1), 104-122.
- Rajan, A. ve Abraham, T. E. (2007). Coir Fiber Process and Opportunities, Journal of Natural Fibers, 3:4(1), 1-11.
- Ricciardi, P., Belloni, E. ve Cotana, F. (2014). Innovative panels with recycled materials: thermal and acoustic performance and life cycle assessment, Applied Energy, 134, 150-162.
- Ringhofer, A. ve Schickhofer, G. (2013). Timber-İn-Town–Current Examples for Residential Buildings İn CLT and Tasks for The Future. In Proceedings of Focus Solid Timber Solutions-European Conference on Cross Laminated Timber (CLT). COST Action FP1004: Graz, Austria, 184-206.
- Ritter, M. A., Skog, K. ve Bergman, R. (2011). Science Supporting The Economic and Environmental Benefits of Using Wood and Wood Products in Green Building Construction, General Technical Report FPL-GTR-206. Madison, WI: US Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 9, 206.
- Rowell, R. M. (Ed.). (2012). Handbook of wood chemistry and wood composites, CRC press.

- Rönnelid, M., Wik, T., Janols, H., Brännström, M., Helling, H. ve Lövenvik, T. (2013). Passive crosslaminated timber buildings: Final report Cerbof-project, no; 76.
- Samuel, J., (1914). The Mechanical Properties of Wood Including a Discussion of The Factors Affecting the Mechanical Properties and Mothods of Timber Testing First Edition, Yale University.
- Santi, S., Pierobon, F., Corradini, G., Cavalli, R. ve Zanetti, M. (2016). Massive wood material for sustainable building design: the Massiv-Holz-Mauer wall system, Journal of wood science, 62(5), 416-428.
- Salenikovich, A.J. (2000). The Racking Performance of Light-Frame Shear Walls, Doctor of Philosophy in Wood Science and Forest Products, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Schiavoni, S., Bianchi, F. ve Asdrubali, F. (2016). Insulation Materials for The Building Sector: A Review and Comparative Analysis, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 62, 988-1011.
- Schmid, J., Werther, N., Klippel, M. ve Frangi, A. (2019). Structural Fire Design-Statement on the Design of Cross-Laminated Timber (CLT), Civil Engineering Research Journal, 7(5), 113-117.
- Schultz-Falk, V., Agersted, K., Jensen, P. A. ve Solvang, M. (2018). Melting Behaviour of Raw Materials and Recycled Stone Wool Waste, Journal of Non-Crystalline Solids, 485, 34-41.
- Schiavoni, S., Bianchi, F. ve Asdrubali, F. (2016). Insulation Materials for The Building Sector: A Review and Comparative Analysis, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 62, 988-1011.
- Schwab, H., Heinemann, U., Beck, A., Ebert, H. P. ve Fricke, J. (2005). Dependence of Thermal Conductivity on Water Content in Vacuum İnsulation Panels with Fumed Silica Kernels, Journal of Thermal Envelope and Building Science, 28(4), 319-326.
- Secchi, S., Asdrubali, F., Cellai, G., Nannipieri, E., Rotili, A. ve Vannucchi, I. (2016). Experimental and Environmental Analysis of New Sound-Absorbing and İnsulating Elements İn Recycled Cardboard, Journal of Building Engineering, 5, 1-12.
- Seçkin, P. N., (2006). Ekolojik Değerlere Göre Ahşap Kompozit Malzemenin Seçim Kriterleri, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Serrano, E. (2009). Documentation of The Limnologen Project: Overview and Summaries of Sub Projects Results, School of Technology and Design Reports, Växjö University, Växjö, Sweden, No:56.1-14.
- Shmulsky, R. ve Jones, P. D. (2011). Forest Products and Wood Science: An Introduction. Wood Handbook, 2010, Wood as an Engineering Material. Madison, Wisconsin: United States Department of Agriculture, Forest Products Laboratory, General Technical Report FPL-GTR-190.
- Shin, M. ve Haberl, J. S. (2019). Thermal zoning for building HVAC design and energy simulation: A literature review, Energy and Buildings, Vol:203, 1-13.
- Shrestha, S. S., Desjarlais, A. O. ve Atchley, J. A. (2014). Thermal Performance Evaluation of Walls With Gas Filled Panel Insulation (No. ORNL/TM-2014/564). Oak Ridge National Lab.(ORNL), Oak Ridge, TN (United States), Building Technologies Research and Integration Center (BTRIC).
- Sierra-Pérez, J., García-Pérez, S., Blanc, S., Boschmonart-Rives, J. ve Gabarrell, X. (2018). The Use of Forest-Based Materials For The Efficient Energy of Cities: Environmental and Economic Implications of Cork As Insulation Material, Sustainable Cities and Society, 37, 628-636.
- Simmler, H. ve Brunner, S. (2005). Vacuum Insulation Panels For Building Application: Basic Properties, Aging Mechanisms and Service Life, Energy and Buildings, 37(11), 1122-1131.
- Simmler, H., Brunner, S., Heinemann, U., Schwab, H., Kumaran, K., Mukhopadhyaya, P. ve Stramm, C. (2005). Vacuum Insulation Panels- Study on VIP-Components and Panels For Service Life Prediction of VIP In Building Applications (Subtask A), IEA/ECBCS Annex, 39, 1-153.
- Silva, A. ve Gesualdo, F. A. R. (2005). Numerical Analysis of The Boundary Conditions of Wooden Shear Walls In The Light Platform System, Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing), 6(3), 113-126.
- Silva, C. V., Branco, J. M. ve Lourenço, P. B. (2013). A Project Contribution to The Development of Sustainable Multi-Storey Timber Buildings, Tn Portugal SB13-Contribution of Sustainable Building to Meet EU 20-20-20 Targets, 379-386.
- Silva, C. V., Branco, J. M. ve Lourenço, P. B. (2014). UT System: A Structural System to Build Taller Urban Timber Houses with Aspired Spatial Flexibility, in 40th IAHS World Congress on Housing: Sustainable Housing Construction, Institute For Research and Technological Development In Construction Sciences (Itecons).

- Silvestre, J. D., Pargana, N., De Brito, J., Pinheiro, M. D. ve Durão, V. (2016). Insulation Cork Boards—Environmental Life Cycle Assessment of An Organic Construction Material, Materials, 9(5), 394.
- Šilih, E.K., Premrov, M. ve Šilih, S. (2012). Numerical analysis of timber-framed wall elements coated with single fibre-plaster boards, Engineering Structure, 41, 118–125.
- Sjökqvist, L. G. ve Brunskog, J. (2013). An Experimental and Statistical Study of The Behavior of The Vibration Field In Two Coupled Lightweight Wooden Joist Floors, Applied Acoustics, 74(4), 517-520.
- Slavin, A., Grigoryan, S., Popandopulo, E. ve Balaeva, A. (2019). Multi-storey wooden house building, In E3S Web of Conferences, Vol. 110.
- Solmaz, Ş. A. (2015). Bina Enerji Performansını Geliştirmede Optimum Çözümleri Belirlemeye Yönelik Simülasyon ve Çok Amaçlı Optimizasyon Tabanlı Bir Karar Destek Modeli, Yüksek Lisan Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Steiger, R., Gülzow, A. ve Gsell, D. (2008, October). Non Destructive Evaluation of Elastic Material Properties of Crosslaminated Timber (CLT), Second Conference of COST Action E53, Quality Control for Wood and Wood Products, Delft, Hollanda, Vol:53, 29-30.
- Store Enso (2014). General finger joint for CLT Technical data. Lukacs, I., Björnfot, A., and Tomasi, R. (2019). Strength and Stiffness of Cross-Laminated Timber (CLT) Shear walls: State-of-the-art of Analytical Approaches, Engineering Structures, 178, 136-147.
- Store Enso (2017). Stora Enso CLT Technical Brochure
- Store Enso (2018). CLT Rib Panel By Stora Enso.
- Sutton, A., Black, D. ve Walker, P. (2011). Cross-laminated timber: An introduction to low-impact building materials
- Sümerkan, R. M. (1990). Biçimlendiren Etkenler Açısından Doğu Karadeniz Kırsal Kesiminde Geleneksel Evlerin Yapı Özellikleri, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon
- Sümerkan, M. R. (1993). Doğu Karadeniz Köy Evlerinde Yapı Malzeme ve Konstrüksiyonların Dağılımı, 5. Uluslararası Yapı-Yaşam Kongresi, Mimarlar Odası Bursa Şubesi, 4-9 Mayıs Bursa.

- Stauder, C. (2013). Cross-Laminated Timber. An Analysis of the Austrian Industry and Ideas for Fostering its Developments in America, Itavalt: Fachhochschule salzburg: university of Applied Sciences.
- Şimşek, O. (2016). Yapı Malzemesi II, 5. Baskı, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Tannert, T. ve Eng, P. (2019). Design Provisions for Cross-Laminated Timber Structures. In Structures Congress, April 24–27, 2019, Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 171-178.
- Temiz, H. ve Olgar, K. (2017). Doğal ve Yapay Liflerden Üretilen Panellerin Yalıtım Özelliklerinin Araştırılması, Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 7(2), 608-618.
- Tenwolde, A., Mcnatt, J. D. ve Krahn, L. (1988). Thermal Properties of Wood and Wood Panel Products For Use İn Buildings, Oak Ridge National Lab., TN (USA); Forest Service, Madison, WI (USA).
- İMH, (2015). Yapı Malzemeleri, Binalarda Isı Yalıtımı ve Isı Yalıtım Malzemeleri, Türkiye Mühendislik Haberleri (TMH), İMO Yapı Malzemeleri Komisyonu, 487(4), 62-75.
- Togay, A. (2002). Ahşap Yapılar, Türkiye'de Ahşap Yapı Endüstrisinin Durumu, Sorunları ve Çözüm Önerileri, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- TS 825, (2013). Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Türkmen, A. (1967). Malzeme ve Ahşap Yapı Elemanlarının Hesap Metodları, Beşinci Baskı, İstanbul Teknik Üniversitesi, Sayı;690.
- Tunçkol, P. (2012). Ahşap Yığma Sistem Kuruluşu ve Gelişmiş Üretim Yönteminin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Uluata, A. R. (2011). Ağaç Malzemenin Mekanik Özelliklerine Etki Eden Faktörler, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 18 (1-4).
- Upton, B., Miner, R., Spinney, M. ve Heath, L. S. (2008). The Greenhouse Gas and Energy Impacts of Using Wood Instead of Alternatives in Residential Construction in the United States. Biomass and Bioenergy, 32(1), 1–10.
- Usta, İ. (2019). Ahşap Tasvirleri: Ahşap Herkesindir, Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 6 (2), 171-178.
- Uzun, Ç., İ. (2015). Isı Yalıtımı ve Eps, Eps Haber, Yıl:5, Sayı:17

- URL-1. <https://www.iea.org/topics/buildings>. 14.10.2020.
- URL-2. <https://sipbuilding.wordpress.com/2006/12/01/how-to-wire-sips/> .22.04. 2020.
- URL-3. <https://www.woodproducts.fi/tr/metsa-wood-kertor-lvl-qp-beam> .14.04.2020.
- URL-4. <https://www.weyerhaeuser.com/woodproducts/engineered-lumber/parallam-psl/parallam-psl-beams/> .17.04.2020.
- URL-5. <https://newnordictimber.com/articles/engineered-wood-products> .17.04.2020.
- URL-6. <https://tr.acumeninterior.com/3616854-drewniane-belki-dwuteowe>. 07.03.2020
- URL-7. <https://abalusoft.ru/tr/production-of-a-wooden-ibeam-as-a-home-business-wooden-ibeam-with-my-own-hands.html>. 08.03.2020
- URL-8. <https://www.ambista.com/en/wood-glue-components/glulam-beams25805>. 20.01.2021.
- URL-9. <https://www.thinkwood.com/our-projects/ubc-earth-sciences-building> 07.04.2020.
- URL-10. <https://www.designboom.com/architecture/drmm-maggies-oldham-centre-hardwood-clt-england-06-26-2017/>.29.01.2020.
- URL-11. <https://www.orsiad.com.tr/en/the-smile-by-ahec-alison-brooks-architects-and-arup-paves-the-way-forward-for-the-use-of-hardwood-clt-in-the-construction-industry.html> .29.01.2020
- URL-12. [designboom.com/architecture/endless-stair-by-drmm-architects-at-london-design-festival-2013/](https://www.designboom.com/architecture/endless-stair-by-drmm-architects-at-london-design-festival-2013/).29.01.2020.
- URL-13. <https://www.mbansw.asn.au/excellence-awards/lendlease-1>. 20.12.2020.
- URL-14. <https://inhabitat.com/clt-gives-a-sustainable-community-center-in-copenhagen-a-welcoming-feel/>. 06. 04.2020
- URL-15. <https://www.arkitera.com/proje/beykoz-riva-evi/> .23.08.2020
- URL-16. <http://www.nashouse.com.tr/clt-3-katli-ahsap-otel-rixos-tekirova> /.24.08.2020.
- URL-17. <https://www.ahsapkarkas.com/projeler/clt-dag-evi-bursa/> .24.08.2020
- URL-18. CTI, 2017, A glimpse into the future: mass timber projects, confederation of timber industries (CTI), <http://cti-timber.org/content/glimpse-future-mass-timber-projects>. 24/12/2019.

- URL-19. <https://waughthistleton.com/murray-grove/> 24/12/2019
- URL-20. <https://waughthistleton.com/dalston-works/> .24/12/2019.
- URL-21. Mjøsa Tower -World's Tallest Wooden Building - Completed in Norway, <https://industry europe.com/mjosa-tower-worlds-tallest-wooden-building-completed-in-norway/>.24/12/2019.
- URL-22. Doyle, A. ve Lewis, B., 2017, Wooden 'plyscrapers' challenge concrete and steel. Reuters. <https://www.reuters.com/article/us-construction-environment/wooden-plyscrapers-challenge-concrete-and-steel-idUSKBN1611U5>. 24.12.2019.
- URL-23. Zoya Gül Hasan. Inside Vancouver's Brock Commons, the World's Tallest Mass Timber Building. <https://www.archdaily.com/879625/inside-vancouvers-brock-commons-the-worlds-tallest-timber-structured-building/>.31 Ocak 2020.
- URL-24. <https://www.housingevolutions.eu/project/hoho-wien-the-worlds-tallest-wooden-high-rise/>. 07.04,2020
- URL-25. Marsh, J., 2018, Tokyo to build world's tallest timber tower. CNN. <https://edition.cnn.com/style/article/wooden-skyscrapers-timber-trend-catching-fire-duplicate-2/index.html>. 24/12/2019.
- URL-26. <https://www.greenspec.co.uk/building-design/crosslam-timber-performance-characteristics/> 27.11.2020.
- URL-27. ThinkWood, 2019 <https://www.thinkwood.com/performance/acoustics-and-thermal> .29.12.2019.
- URL-28. <https://galaakustik.com/akustik-ahsap-panel/> .19.08.2020.
- URL-29. <https://www.izocam.com.tr/f2-tasyunu.html>.28.12.2019.
- URL-30. http://www.camyunu.gen.tr/cati-siltesi-12cm14kg_m3.shtml .30.03.2020.
- URL-31. <https://www.pozitifizolasyon.com/uygulamalar/sprey-poliuretan-kopuk-uygulamalari/> .30.03.2020.
- URL-32. <http://www.xpsturkiye.org/sayfa.asp?ID=129>. 28.12 2019.
- URL-33. Nick Connor, 2019,What is Cavity Wall Insulation – Definition, <https://www.thermal-engineering.org/what-is-extruded-polystyrene-xps-definition/>. 30.12.2019.
- URL-34. <http://www.timas.net/xps-extrude-polistren/>. 30.03.2020.

- URL-35. <http://www.megaboard.com.tr/urunler/eps/#1544698153073-bdb23840-9ae8/>. 20.12.2020.
- URL-36. <http://www.cytopbuilding.com/factory-direct-phenolic-insulation-board-exterior-wall-foam-fireproof-phenolic-board.html>. 31. 03. 2020.
- URL-37. <https://balkotrade.com/yalitim-levhasi-knauf-mineral-plus-yun-5cm.html>. 01.04.2020.
- URL-38. <http://www.greenspec.co.uk/building-design/woodfibre-insulation-intro/>. 28.12.2019.
- URL-39. <https://eci.com.tr/en/cellulose-based-batt-blanket/> .31. 03. 2020.
- URL-40. <https://eci.com.tr/en/hemp-insulation-batt/> .01.04.2020.
- URL-41. <https://www.sesizolasyonu.org/mantar-silte.html> .02.04.2020.
- URL-42. <https://www.eci.com.tr/productdetail/hemp-wool-insulation-batt> .01.04.2020.
- URL-43. <http://amaaerogel.com/aerogel/> .14.04.2020.
- URL-44. <https://nanografi.com/blog/promising-invention-in-the-insulation-industry-by-nanotechnology-aerogel/>.20.08.2020.
- URL-45. <https://trabzon.ktb.gov.tr/TR-126647/cografi-yapi-ve-iklimsel-ozellikler.html#:~:text=Trabzon%20nemli%20bir%20iklime%20sahip,%C3%A7%C4%B1k%C4%B1ld%C4%B1k%C3%A7a%20ya%C4%9Fmur%20oran%C4%B1%20da%20artmaktad%C4%B1r>. 29.08.2020.
- URL-46. <https://tr.climate-data.org/asya/tuerkiye/trabzon/trabzon-4750/> .29. 08. 2020.
- URL-47. <https://www.ttso.org.tr/dosyalar/Trabzon-il-raporu.pdf> .29.08. 2020.
- URL-48. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=TRABZON> .09.09.2020.
- Ülker, S. (2009). Isı Yalıtım Malzemelerinin Özelliklerinin Uygulamaya Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Van De Kuilen, Ceccotti, J.W., Xia A., Minjuan, Z. H. ve Li, S. (2010). Wood Concrete Skyscrapers. 11th World Conference On Timber Engineering.
- Vatanen, M., Ahoranta, T., Sirkka, A. ve Pirttinen, V. (2017). CLT–versatile, fast and ecological construction material, Sirkka A., Pirttinen V. (Eds.) Lapland Uas Publications Series B. Research Reports and Compilations

- Viot, H., Sempey, A., Pauly, M. ve Mora, L. (2015). Comparison of Different Methods For Calculating Thermal Bridges: Application To Wood-Frame Buildings, Building and Environment, 93, 339–348.
- Volf, M., Diviš, J. ve Havlík, F. (2015). Thermal, Moisture and Biological Behaviour of Natural Insulating Materials, Energy Procedia, 78, 1599-1604.
- Vassallo, D., Follesa, M. ve Fragiaco, M. (2018). Seismic Design of A Six-Storey CLT Building In Italy, Engineering Structures, 175, 322-338.
- Yalçın, Ö. R. S. ve Togay, A. (2003). Ahşap Yapı Endüstrisinin Tanımı, Sınıflandırılması, Türkiye’de Uygulanan Üretim Teknikleri, Politeknik Dergisi, 6(3), 569-577.
- Ye, Z., Wells, C. M., Carrington, C. G. ve Hewitt, N. J. (2006). Thermal Conductivity of Wool and Wool–Hemp Insulation, International Journal of Energy Research, 30(1), 37-49.
- Yeh, B., Kretschmann, D. ve Wang, B. J. (2013). Manufacturing Cross-Laminated Timber Manufacturing. In: Clt Handbook: Cross-Laminated Timber/edited by Erol Karacabeyli, Brad Douglas, US ed. 2013, (2), 1-34.
- Yeşilyurt M. K., (2013). Expanded Polystyrene Styrofoam (Eps) Isı Yalıtım Malzemelerinde Gözenekliliğin Isıl İletkenliğe Etkisinin Deneysel ve Sayısal İncelenmesi. “Yalıtım” Sıva ve Boyaları’nın Isı Yalıtım Performansı, EPS Haber, Sayı:17.
- Yoo, J., Chang, S. J., Lee, J., Wi, S. ve Kim, S. (2019). Numerical Analysis of Hygrothermal Properties and Behavior of Korean Based Cross-Laminated Timber (CLT) Wall System To Deduce Optimal Assemblies, Journal of Cleaner Production, Vol:213, 1217-1227.
- Youngs, R. L. (2009). History, Nature, and Products of Wood. Owens, John N. ve Lund, H. Gyde, Forests and Forest Plants, vol:2.
- Yüksek, İ. ve Sıvacılar, S. (2017). Türkiye Şartlarında TS 825 Kapsamında Farklı Duvar Tiplerinin Isıl Etkinlikleri Üzerine Karşılaştırmalı Bir Çalışma, Politeknik Dergisi, 20(2), 291-302.
- Wang, X., Que, Y., Hu, Y., Que, Z. ve Jiang, G. (2018). Effect of Different Thickness of the Layers of Cross-laminated Timber Made from Chinese Fir on the Mechanical Performance, BioResources, 13(3), 7002-7016.
- Wakili, K. G., Bundi, R. ve Binder, B. (2004). Effective Thermal Conductivity of Vacuum Insulation Panels, Building Research & Information, 32(4), 293-299.

- Weatherwax, R. C. ve Stamm, A. J. (1956). The Coefficients of Thermal Expansion of Wood and Wood Products, Forest Products Laboratory, Oregon State University.
- Wood Handbook (2010), Wood as an engineering material. Madison, Wisconsin: United States Department of Agriculture, Forest products Laboratory, General Technical Report FPL-GTR-113.
- Xie, W., Lu, Y., Wang, Z., Wang, X., Wu, X. ve Gao, Z. (2019). Feasibility of Predictive Assessment of Bending Performance of CLT Plates of Canadian Hemlock, BioRes, 14(3), 6047-6059.
- Xiao, Y., Shan, B., Chen, G., Zhou, Q. ve She, L. Y. (2008). Development of a new type Glulam-GluBam, In Modern bamboo structures, 53-60.
- Zach, J., Korjenic, A., Petránek, V., Hroudová, J. ve Bednar, T. (2012). Performance Evaluation and Research of Alternative Thermal Insulations Based on Sheep Wool, Energy and Buildings, 49, 246-253.
- Zhang, L. (2014). Simulation Analysis of Built Environment Based on Design Builder Software, In Applied Mechanics and Materials, Vol:580, 3134-3137.
- Żmijewski, T. ve Wojtowicz-Jankowska, D. (2017). Timber-Material of the Future-Examples of Small Wooden Architectural Structures, In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol:245, No: 8, 1-9.

ÖZGEÇMİŞ

[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED] Ya [REDACTED]
20 [REDACTED]
[REDACTED] ir.

