

ÇAPRAZ LAMİNE AHŞAP (CLT) YAPILAR:

Tasarım, Performans ve Uygulama Örnekleri

ESRA LAKOT ALEMDAĞ
AYÇA AKKAN ÇAVDAR



Genel Yayın Yönetmeni • Eda Altunel

Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Esra LAKOT ALEMDAĞ,
Ayça AKKAN ÇAVDAR

Birinci Basım / First Edition • © Aralık 2025

ISBN • 978-625-5749-64-2

© copyright

Bu kitabın yayın hakkı Serüven Yayınevi'ne aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

The right to publish this book belongs to Serüven Publishing. Citation can not be shown without the source, reproduced in any way without permission.

Serüven Yayınevi / Serüven Publishing

Türkiye Adres / Turkey Address: Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak

Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA

Telefon / Phone: 05437675765

web: www.serüvenyayınevi.com

e-mail: serüvenyayınevi@gmail.com

Baskı & Cilt / Printing & Volume

Sertifika / Certificate No: 42488

**ÇAPRAZ LAMİNE AHŞAP (CLT)
YAPILAR:
TASARIM, PERFORMANS VE UYGULAMA
ÖRNEKLERİ**

Aralık 2025

DOÇ. DR. ESRA LAKOT ALEMDAĞ

ARŞ. GÖR. AYÇA AKKAN ÇAVDAR

ÇAPRAZ LAMİNE AHŞAP (CLT) YAPILAR:

TASARIM, PERFORMANS VE UYGULAMA ÖRNEKLERİ

İÇİNDEKİLER	I
Önsöz	II
BÖLÜM 1 – Çapraz Lamine Ahşap (CLT) Sistemlerine Giriş	1
1.1 CLT Nedir?	2
1.2 CLT'nin Üretim Süreci	3
1.3 Malzeme Özellikleri	14
1.4 Sürdürülebilirlik ve Çevresel Etkiler	15
1.5 CLT'nin Kullanım Alanları	17
1.6 Diğer Ahşap ve Geleneksel Yapım Sistemleri ile Karşılaştırma	21
BÖLÜM 2 – CLT Yapılarda Tasarım ve Performans İlkeleri	23
2.1 Yapısal Tasarım ve Performans	24
2.2 Bağlantı Sistemleri ve Detaylar	26
2.3 Yangın Tasarımı ve Yangın Performansı	30
2.4 Akustik Tasarım ve Akustik Performans	32
2.5 Isıl Tasarım ve Enerji Performansı	33
2.6 Nem, Dayanıklılık ve Uzun Ömürlülük	37
2.7 Estetik ve Mimari Tasarım İlkeleri	39
BÖLÜM 3 – CLT Yapı Örnekleri	52
3.1 Dünya Geneline CLT Yapılar	53
BÖLÜM 4 – Türkiye’de CLT’nin Gelişimi ve Yapı Pratikleri	114
4.1 Türkiye’de Ahşap Yapı Kültürü ve CLT	115
4.2 Türkiye’de CLT Sektörü	116
4.3 Türkiye’de CLT Yapı Uygulama Örnekleri	118
Yazarlar Hakkında	127

ÖNSÖZ

Ahşap, insanlığın yapı üretiminde kullandığı en eski malzemelerden biridir. Barınaktan tapınağa, köprüden eve uzanan bu serüvende ahşap; yalnızca bir yapı malzemesi değil, aynı zamanda doğayla kurulan ilişkinin bir ifadesi olmuştur. Bugün ise ahşap, bu uzun geçmişinin ötesinde, sürdürülebilirlik, enerji verimliliği ve düşük karbonlu tasarım hedefleri doğrultusunda yeniden gündeme gelmektedir. İklim krizi, artan enerji gereksinimleri ve yapı sektörünün çevresel etkileri, mimarlık ve mühendislik disiplinlerini daha sorumlu ve yenilikçi çözümler üretmeye zorlamaktadır. Bu arayış içinde ahşap, yenilenebilir bir kaynak olması, karbon depolama potansiyeli ve kullanıcı konforuna katkılarıyla öne çıkmaktadır. Ancak geleneksel ahşap yapı malzemeleri ve tekniklerinin yüksek katlı, geniş açıklıklı çağdaş yapı gereksinimlerini karşılamakta yetersiz kalmaktadır. Bu bağlamda mühendislik ürünü ahşap malzemeler ve özellikle Çapraz Lamine Ahşap (CLT), ahşabın modern yapı ölçeğindeki potansiyelini ortaya çıkarmaktadır. Dünyanın birçok ülkesinde hayata geçirilen CLT malzemeli yapılar, ahşabın modern mimarideki yerinin artık geçici bir eğilim değil, kalıcı bir dönüşüm olduğunu göstermektedir.

Bu kitap, CLT'nin yalnızca teknik özelliklerini aktarmayı değil; aynı zamanda bu malzemenin mimarlık ve yapı kültürü içindeki yerini ve sunduğu olanakları bütüncül bir bakış açısıyla ortaya koymayı amaçlamaktadır. Kitapta CLT'nin üretim süreci; yapısal, akustik, ısı ve yangın performansı; tasarım ilkeleri; uygulama detayları ve dünya ile Türkiye'den seçilmiş yapı örnekleri yer almaktadır. Bu çalışma, mimarlar, mühendisler, akademisyenler, öğrenciler ve ahşap yapı sistemlerine ilgi duyan tüm okuyucular için bir başvuru kaynağı olmayı hedeflemektedir. Bu çerçevede, ahşabın geçmişten gelen bilgeliğini çağdaş mühendislik ve mimarlık yaklaşımlarıyla buluşturan CLT'nin, daha yaşanabilir, sürdürülebilir ve nitelikli yapı çevrelerinin oluşturulmasında önemli bir rol üstleneceğine inanıyoruz. Bu kitabın, okuyucuya ilham vermesi ve yeni çalışmalara zemin hazırlaması dileğiyle...

Doç. Dr. Esra LAKOT ALEMDAĞ
Arş. Gör. Ayça AKKAN ÇAVDAR
Aralık 2025

BÖLÜM 1

Çapraz Lamine Ahşap (CLT) Sistemlerine Giriş

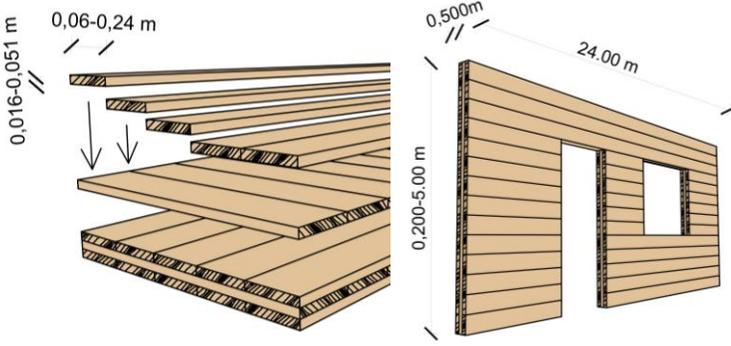
1.1 CLT Nedir?

Ahşap, mimarlık ve yapı sektöründe en önemli malzemelerden biridir. Hafiflik, dayanım, yoğunluk, taşıyıcılık, yalıtım gibi mekanik ve fiziksel özellikleri, ahşabın yapı malzemesi olarak tercih edilmesinde belirleyici rol oynar (Breyer vd., 1999). Ancak geleneksel ahşabın doğal kusurları ve boyutsal sınırlılıkları, özellikle yüksek katlı ve geniş açıklıklı yapılarda kullanımını kısıtladığından, zamanla daha kontrollü ve yüksek performanslı çözümlere ihtiyaç duyulmuştur. “Mühendislik ürünü ahşap” yaklaşımı bu şekilde geliştirilmiştir (Tandoğan Kibar & Lakot Alemdağ, 2023). Günümüzde Glulam, LVL, PSL, LSL ve CLT gibi mühendislik ürünü ahşap malzemeler sayesinde geniş açıklık geçebilen ve yüksek katlı yapılara yönelik uygulamalar artmıştır. Bu malzemeler yalnızca tek katlı ahşap yapılarda değil, köprüler, otogarlar, eğitim yapıları, spor salonları, endüstriyel yapılar ve konutlar gibi pek çok alanda kullanılmaktadır (Rowell, 2012).

CLT 1990’ların başında İsviçre’de geliştirilmiş, 1996’da Avusturya’da sektör ve akademi iş birliğiyle bugünkü formuna kavuşmuş ve 2000’li yıllarda CLT ile yapı üretimi hız kazanmıştır. CLT’nin konut ve eğitim yapıları gibi alanlarda öne çıktığı ülkeler arasında Avusturya, İsveç, İsviçre, Norveç ve Birleşik Krallık örnek olarak verilebilir (Lakot Alemdağ, Tandoğan & Artun, 2021).

CLT yapısal olarak, kesilmiş ahşap veya yapısal kompozit kereste (SCL) tabakalarının formaldehit içermeyen poliüretan (PU) yapıştırıcı ile birleştirilmesiyle oluşturulan bir masif ahşap ürünüdür (Karacabeyli, & Douglas, 2013). Bu tabakaların alternatif yönlerde (45 veya 90° açı ile) birbirine yapıştırılmasıyla üretilir ve yüksek hassasiyetli CNC ile işlenebilen büyük ve sağlam paneller oluşturulur (Şekil 1) (Crawley, 2021; Pfeifer Timber, 2025).

Küçük boyutlu kerestelerin lif yönleri birbirine dik olacak şekilde katmanlandırılıp yapıştırılması ve preslenmesiyle (laminasyon) elde edilen CLT sayesinde büyük, rijit ve boyutsal olarak kararlı paneller üretilmektedir. Bu üretim yaklaşımı, ahşabın dönme ve bükülme gibi çalmasını sınırlandırarak daha öngörülebilir bir taşıyıcı davranışın elde edilmesini mümkün kılmaktadır (Şanlı & Vural, 2021).



Şekil 1. Ahşap tabakaların 90° açı ile birleşerek CLT elemanı oluşturulması ve boyutları

CLT panellerin kalınlığı yaklaşık 50 cm'ye ulaşabilir; genişlikleri 0,2–5 m, uzunlukları ise 24 m'ye kadar çıkabilir. Üç katmanlı CLT elemanlar genellikle 6–12 cm, beş katmanlı elemanlar ise 10–20 cm kalınlıktadır. Katmanlarda kullanılan kerestelerin kalınlığı 1,6–5,1 cm, genişliği 6–24 cm aralığındadır (Şekil 1 ve 2) (Karacabeyli & Douglas, 2013; Şanlı & Vural, 2021).



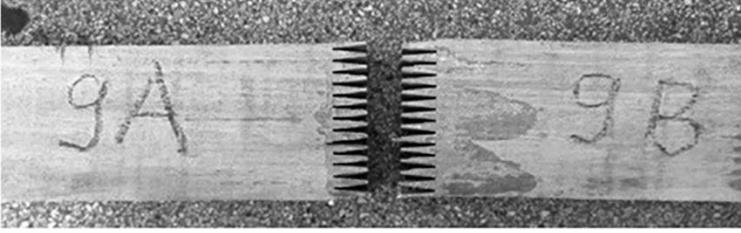
Şekil 2. Üç ve beş katmanlı CLT panel örnekleri ve boyutları

1.2 CLT'nin Üretim Süreci

CLT, saha dışı üretim tesislerinde kontrollü fabrika koşullarında üretilen bir masif ahşap ürünüdür (Walsh, 2023). CLT teknolojisi ilk olarak Orta Avrupa'da bol bulunan, hızlı büyüyen ve nispeten düşük kaliteli beyaz ağaçlara, özellikle Norveç ladinine (*Picea abies*), değer kazandırmak amacıyla geliştirilmiştir. Bölgesel ağaç türü ve tedarik koşullarına bağlı olarak Kuzey Amerika'da Douglas köknarı (*Pseudotsuga menziesii*) ve Avustralya'da Radiata çamı (*Pinus radiata*) gibi diğer yumuşak ağaç türleri de CLT üretiminde kullanılmaktadır (Crawley, 2021).

CLT üretimi genel olarak standartlaştırılmış ve teknoloji destekli bir dizi işlemden oluşur. İlk aşamada kereste; görsel veya makine sınıflandırması ile seçilir ve fırın kurutma uygulanır. Bu süreçte nem

oranı, boyutsal değişimleri ve yüzey çatlamalarını azaltmak amacıyla genellikle $12 \pm 3\%$ düzeyinde hedeflenir (Karacabeyli, & Douglas, 2013). Bazı endüstriyel uygulamalarda kurutma koşulları proses tasarımına göre tanımlanmakta; örneğin $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 48 saat kurutma ile nem oranının yaklaşık $8\text{--}16\%$ aralığına getirildiği ifade edilmektedir (Pfeifer Timber, 2025). Kurutma ve sınıflandırma sonrasında düğüm gibi kusurlar ayıklanır; ardından lameller, gerekli uzunluklara erişmek için parmak eklemli şekilde birleştirilerek süreklilik sağlanır (Şekil 3) (Pfeifer Timber, 2025).

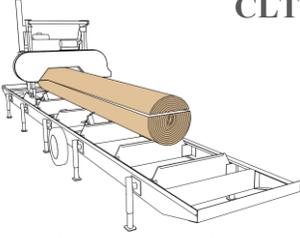


Şekil 3. Parmak eklemli iki kerestenin birleştirilmeden önceki mevcut durumu (Pereira ve ark., 2016).

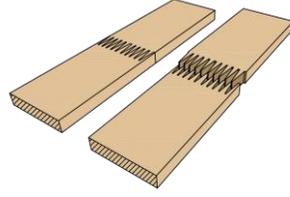
Hazırlanan lameller planyalanarak düzgün ve pürüzsüz yüzeyler elde edilir; sonrasında katmanlar çapraz yönlerde (genellikle birbirine dik) düzenlenir ve yapısal yapıştırıcı uygulanır. Kullanılan yapıştırıcı sistemleri üreticiye ve standarda bağlı olarak poliüretan, melamin veya fenolik bazlı olabilmekte; bazı kaynaklar poliüretan (PUR) kullanımını özellikle vurgulamaktadır. Yapıştırıcı uygulamasını takiben katmanlar hidrolik veya vakum presleriyle basınç altında birleştirilerek rijit panel elde edilir (Karacabeyli, & Douglas, 2013; Karacabeyli, & Gagnon, 2019).

Son aşamada paneller, istenen boyut ve detaylara göre CNC (Bilgisayarlı Sayısal Kontrol) ekipmanı ile yüksek hassasiyetle işlenir. Bu işlem kapsamında kapı-pencere açıklıkları, servis ve montaj kanalları ile nihai format kesimleri milimetre düzeyinde gerçekleştirilebilir. Gerekli görsel yüzey kalitesinin sağlanması için zımparalama gibi yüzey işlemleri de uygulanabilmektedir (Karacabeyli, & Douglas, 2013; Karacabeyli, & Gagnon, 2019; Pfeifer Timber, 2025). Şekil 4 içerisinde 10 aşamadan oluşan CLT üretim süreçleri görülmektedir.

CLT Üretim Aşamaları



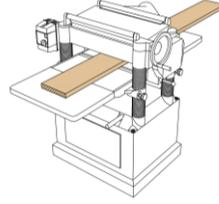
1 Hammadde seçimi, tür belirleme ve keresteleri hazırlama



4 Parmak eklem (finger-joint) ile boy birleştirme (sonsuz lamel elde etme)



2 Sınıflandırma (görsel/makine) ve firın kurutma (hedef nem aralığı)



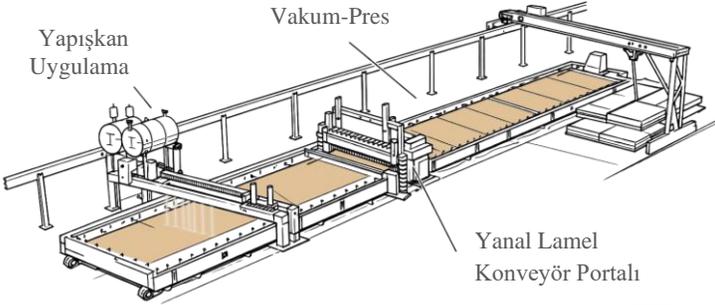
5 Planyalama / yüzey düzeltme (pürüzsüz yüzey)



3 Kusur ayıklama (düğüm vb.) ve lamel hazırlığı

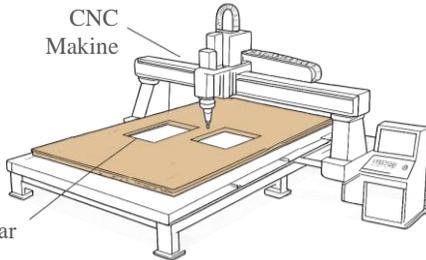


6 Katman dizilimi



7 Yapıştırıcı uygulaması

8 Presleme ve panelin rijitleştirilmesi



9 CNC ile nihai işleme

10 Yüzey işlemleri ve Kalite kontrol

Şekil 4. CLT üretim aşamaları

● Hammadde seçimi, tür belirleme ve keresteleri hazırlama

Çapraz Lamine Ahşap, düşük karbonlu bir yapı malzemesi olarak giderek daha fazla kullanılmaktadır. CLT' de seçilen ahşap türü ise panelin dayanımı, dayanıklılığı ve kullanım ömrünü doğrudan etkilemektedir. Son zamanlarda yapılan çalışmalar, nem oranı, mekanik performans ve yapışma kalitesinin ilgili standartları karşıladığı sürece, sadece geleneksel yumuşak ağaçlara (örneğin ladin ve köknar) güvenmekten ziyade yerel, geleneksel olmayan ve hibrit türleri de içeren daha geniş bir portföye doğru açık bir geçiş olduğunu göstermektedir. Örneğin, platin tik ve yağ palmiyesi sapı atıkları, sertlik ve eğilme mukavemetleri JAS 1152 (Japanese Agricultural Standards (JAS): Glulam Standardı) gerekliliklerini karşılayabildiğinden uygun hammaddeler olarak önerilmiştir (Triwibowo vd., 2020).

Ağaç seçiminde yapısal özellikler önem taşımaktadır. Örneğin, sarıçamdan üretilen CLT panellerin yoğunluğu ($\sim 0.471 \text{ gr/cm}^3$), ladin panellere göre daha yüksektir. Bu yoğunluk farkı doğrudan yük taşıma kapasitesine yansımaktadır. Sarıçam paneller, Ladin panellere göre daha yüksek maksimum yük taşıma kapasitesi ve sismik performans sergiler (Birinci vd., 2020).

Sumatra çamı ve hindistancevizi gövdesi gibi kombinasyonlardan üretilen ve poliüretan yapıştırıcılarla bağlanan paneller de bina uygulamaları için yeterli yapısal kapasiteye sahiptir (Baskara vd., 2023). Bu alternatiflerin yanı sıra, bölgesel olarak mevcut kaynakları kullanarak CLT üretimini genişletmek için İskoç çamı gibi yumuşak ağaçların geçerliliğini doğrulamak amacıyla araştırmalar devam etmektedir (Huang vd., 2024) ve dar bir tür grubuna bağımlılığı azaltmak için Amerikan lale ağacı gibi yenilikçi seçenekler de araştırılmaktadır (Klosinska, 2021). Bu çalışmalar, CLT üretiminde tür çeşitliliğini artırma arayışının yalnızca yeni türleri denemekle sınırlı kalmadığını; aynı zamanda farklı türleri bir arada kullanmaya dayalı hibrit ve karışık tür yaklaşımlarını da gündeme getirmektedir.

Hibrit ve karma tür stratejileri de bunlardandır. Hibrit kavak umut verici olabilir, ancak hedef sertliğe ulaşmak için daha yüksek kaliteli lameller veya diğer türlerle kombinasyon gerekebilir (Markó vd., 2015) ve karışık yumuşak ağaç-sert ağaç katmanları, kullanılabilirlik ile performans gereksinimlerini dengelemek için pratik bir yol olarak tartışılmaktadır (Lee & Kim, 2021).

Bu çalışmaların tamamında, en belirleyici kriterler mekanik özellikler, yapıştırıcı bağ performansı ve zamanla sünme ve bağlantıları etkileyen nem ve sıcaklık değişikliklerine duyarlılık olmaya devam etmektedir. Bu faktörler, hem konut hem de ticari binalarda CLT'nin güvenilir kullanımı için gereklidir (Gašparík vd., 2024; Wang & Yin, 2023).

• Sınıflandırma (görsel/makine) ve fırın kurutma

CLT kalitesi ve yapısal performansı, lamellerin yapıştırma öncesinde nasıl sınıflandırıldığına (derecelendirildiğine) ve kurutulduğuna büyük ölçüde bağlıdır. Ahşap sınıflandırması, ilk olarak kusurlu levhaların ayıklanması ile başlamaktadır. Ardından levhalar yoğunluk, sertlik ve mukavemet gibi temel fiziksel ve mekanik göstergelere göre gruplandırır, böylece yük taşıyan CLT' de yalnızca uygun sınıflar kullanılır ve büyüme koşulları, kusurlar ve nemle ilgili değişkenlik daha güvenilir bir şekilde yönetilebilir. Doğru sınıflandırma önemlidir, çünkü mekanik kapasite ve sertlik genellikle yoğunluk ve büyümeyle ilgili özelliklerle bağlantılıdır, yani köken ve iç yapıdaki farklılıklar, çekme mukavemeti ve elastik davranış/rijitlik gibi performans göstergelerinde ölçülebilir farklılıklara yol açabilir (Concu vd., 2018).

Kurutma süreci de aynı derecede önemlidir: nem oranını uygun ve tekdüze bir seviyeye düşürmek, boyutsal kararlılığı artırır, büzülmeyle ilgili gerilmeleri sınırlar ve dayanıklı yapıştırıcı bağlanmasını destekler. Geleneksel fırın kurutma yaygın olarak kullanılmaya devam etmektedir, ancak sonuçlar kurutma programı ve koşullandırmaya oldukça duyarlıdır; bunlar nemin tekdüzeliğini belirler ve dolayısıyla kararlılığı ve mekanik performansı etkiler (Şekil 5) (Rahimi vd., 2023; Rahimi vd., 2021). Yüksek sıcaklık programları daha hızlı bir şekilde daha düşük nem oranı elde edilmesini sağlayabilir, ancak geçirgenliği olumsuz etkileyebilirken, daha kademeli programlar iç gerilme gelişimini azaltarak genel kalitenin korunmasına yardımcı olabilir (Terziev, 2002; Rabidin vd., 2017). Ayrıca, fırın kurutma ve radyo frekansı vakum kurutma gibi alternatif tekniklerin kurutma süresini kısalttığı ve mekanik özellikleri koruduğu veya iyileştirdiği, CLT üretimi için lamellerin verimli bir şekilde hazırlanmasını desteklediği bildirilmiştir (Rabidin vd., 2017; Vaz vd., 2013). Kurutma davranışı türe bağlı olduğundan, ahşap türüne göre uyarlanmış programlar, emprenye verimliliği gibi sonraki işlem performansını da etkileyebilir (Wu vd., 2011).

Üretim sırasında, ahşabın gerekli hedef nem oranına ulaşmasını ve homojen kalmasını sağlamak için nem izleme ve kontrolü önemlidir, bu



Şekil 5. Kerestelerin yüklendiği geleneksel laboratuvar fırını (Rahimi vd., 2021).

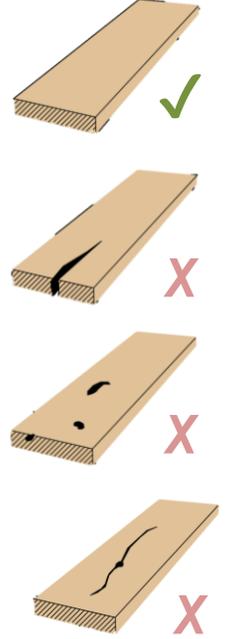
da elde edilen CLT'nin boyutsal kararlılığını ve mukavemet tutarlılığını iyileştirir (Rahimi vd., 2023; Rahimi vd., 2021).

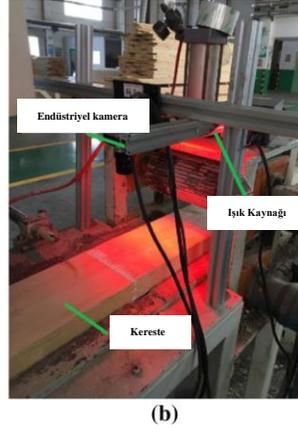
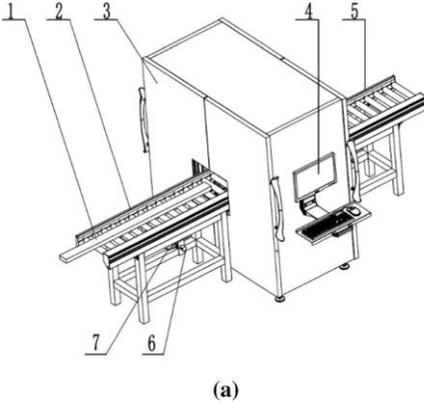
Dış ortam koşulları, özellikle sıcaklık ve bağıl nem, hem kurutmayı hem de kurutma sonrası depolamayı etkileyebilir ve nem güvenliği yönetilmezse boyutsal kararsızlığa yol açabilir. Nemdeki değişiklikler, mühendislik ahşap ürünlerinde hareketlere neden olabilir, bu nedenle CLT kalitesini uygulamada korumak için depolama ve inşaat sırasında dikkatli koşul kontrolü ve açık nem güvenliği stratejileri önerilir (Time vd., 2023).

- **Kusur ayıklama (dügüm vb.) ve lamel hazırlığı**

Ürün kalitesini ve yapısal performansı olumsuz etkileyen ahşap özellikleri, kereste endüstrisinde kusur olarak kabul edilir. En yaygın olanları arasında, ahşap damarlarıyla bütünleşmiş sağlam budaklar ve çürümüş veya düşmeye meyilli sağlam olmayan (çürümüş/gevşek) budaklar bulunur. Diğer sık görülen yapısal kusurlar arasında kurutma veya iç gerilimler nedeniyle oluşan çatlaklar ve yarıklar, böcek larvalarının oluşturduğu solucan delikleri ve daha küçük iğne delikleri bulunur (Cherry vd., 2019; Longuetaud vd., 2012; Wang vd., 2009). Estetiği ve yüzey kalitesini bozan başlıca faktörler arasında küf, mavi leke ve kahverengi leke gibi mantar kaynaklı renk değişimleri ile reçine sızıntısı, yonga (kesilmiş kerestenin kenarındaki kabuk veya eksik ahşap), öz ve çatlaklar sayılabilir (He vd., 2019; Ruz vd., 2009). Ayrıca, yüzey dokusu, kalite değerlendirmesinde yoğunluk ve mukavemet kadar önemli bir parametre olarak kabul edilir (Feio ve Machado, 2015; Bai vd., 2005).

Geleneksel olarak, kusurlar deneyimli denetçiler tarafından yapılan görsel sınıflandırma ile tespit edilir (Lukacevic vd., 2019; Mahram, 2012). Ancak bu yaklaşım, öznel ve nispeten yavaş olması ve kişiler arasında tutarsız sonuçlar verebilmesi nedeniyle verimsiz olabilir. Bu sınırlamaları gidermek için modern denetim sistemleri giderek daha fazla derin öğrenmeye güvenmektedir. Derin öğrenme yöntemleri, insan algısının belirli yönlerini taklit ederek, düşük seviyeden yüksek seviyeye kadar ilgili özellikleri doğrudan verilerden otomatik olarak öğrenir ve böylece yüksek boyutlu, karmaşık görüntüleri işleyebilir ve kusur tespitinde insan hatasını azaltabilir (Şekil 6) (Wang vd., 2021).





Şekil 6. Biçilmiş kereste yüzeyi için görüntü edinim platformu: (a) Sistem şeması; (b) Sahadaki görüntü edinim cihazı (Wang vd., 2021).

● Parmak eklem (finger-joint) ile boy birleştirme

Parmak eklemesi ve uçtan eklemesi, Çapraz Lamine Ahşap üretiminde iki önemli eklem tekniğidir ve her ikisi de nihai panellerin mekanik performansı ve güvenilirliği üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Parmak eklemeleri, kısa ahşap segmentlerin uç uca birleştirilerek daha uzun lamellere dönüştürülmesini sağlar, böylece malzeme verimliliğini artırır ve atıkları azaltır (Le vd., 2023). Eklem, yapıştırıcı ile birbirine bağlanan “parmaklar”dan oluştuğu için, kapasitesi esas olarak temel ahşap kalitesi, parmak eklem geometrisi ve kullanılan yapıştırıcı sistemi tarafından belirlenir (Fortuna vd., 2020). Deneysel çalışmalar, iyi tasarlanmış parmak eklemelerinin (örneğin, *Eucalyptus* türlerinde poliüretan yapıştırıcı ile birleştirilen eklemeler) yapısal uygulamalar için uygun yüksek gerilme kapasitelerine ulaşabileceğini ve bu da mühendislik ahşap ürünlerinde kullanımlarını desteklediğini göstermektedir (Şekil 7) (Pereira vd., 2016).



Şekil 7. Yapıştırma öncesi ve yapıştırma anında parmak eklemli keresteler (Cree Buildings, 2015).

Parmak eklemesi, hem performansı hem de kaynak verimliliğini artırarak CLT üretiminde birçok pratik avantaj sunar. Doğru şekilde tasarlanıp üretildiğinde, parmak eklemeler ahşap elemanların çekme ve eğilme kapasitesini artırabilir ve yapısal uygulamalarda kullanımlarını destekleyebilir (Fortuna vd., 2020).

Ayrıca, bu teknik üreticilerin daha kısa ahşap parçalarından daha uzun lameller monte etmelerini sağlar, bu da daha ekonomik olabilir ve kullanılabilir hammadde tedarikini genişletebilir (Yadav & Kumar, 2022). Daha kısa bölümleri yapısal uzunlukta elemanlara yükseltmek suretiyle parmak ekleme, malzeme israfını da azaltır ve daha verimli ahşap kullanımını teşvik eder, bu da sürdürülebilirlik odaklı üretim hedefleriyle uyumludur (Nocetti vd., 2017).

- **Planyalama / yüzey düzeltme (pürüzsüz yüzey)**

Planyalama, CLT üretiminde önemli bir yüzey hazırlama aşamasıdır, çünkü güvenilir laminasyon ve yapıştırıcı bağlanmasını destekleyen pürüzsüz, boyutsal olarak doğru lamella yüzeyi oluşturur. Yüzey düzensizliklerini gidererek ve dalgalanma ve pürüzlülük gibi kusurları azaltarak, genel yüzey kalitesini iyileştirir ve yapıştırıcı performansını bozabilecek faktörleri en aza indirmeye yardımcı olur (Ogun vd., 2013; Brown & Parkin, 1999). Yapıştırma kalitesi ahşap yüzey dokusuna oldukça duyarlı olduğundan, düzgün bir şekilde planyalanmış yüzeyler etkili temas alanını artırabilir ve yapıştırıcı etkileşimini iyileştirebilir, bu da yapıştırılmış montajlarda daha yüksek gerilme performansı ile ilişkilendirilmiştir (Knorz vd., 2015; Hovanec, 2015). Bununla tutarlı olarak, farklı yüzey hazırlama yöntemlerinin karşılaştırılması, planya ve zımpara gibi işlemlerin yapıştırma mukavemetinde ölçülebilir farklılıklara yol açabileceğini göstermektedir. Bu da, sağlam birleşim elde etmek için laminasyondan önce yüzey koşullarının kontrol edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır (Leggate vd., 2020).

- **Katman dizilimi, Yapıştırıcı uygulaması ve Presleme**

CLT, birbiriyle sıkı bir şekilde bağlantılı üç aşamadan oluşur: katman düzenleme, yapıştırıcı uygulama ve presleme koşulları. CLT katmanları genellikle ortogonal bir düzenlemede birleştirilir; burada, bitişik katmanlar genellikle 90° döndürülerek masif ahşaba kıyasla yapısal ve boyutsal stabilite iyileştirilir ve nem kaynaklı şişme ve büzülme etkilerini azaltırken yükler daha eşit bir şekilde dağıtılır (Şekil 8) (Amin vd., 2023; Gong vd., 2016; Lee & Kim, 2021). Ancak 2016'da yapılan deneysel bir çalışmaya göre, ara katmanların 45° açıyla yerleştirilmesi durumunda, eğilme dayanımının %35 daha yüksek olduğu ve daha geniş döşeme açıklıklarının geçilebildiği tespit edilmiştir (Şanlı & Vural, 2021).



Şekil 8. 90° döndürülerek yerleştirilen kerestelerin preslenmeden önceki görüntüsü (Kallesoe Machinery, 2025).

Panel davranışı ayrıca katman kalınlığı ve tür seçimine de duyarlıdır: daha kalın lameller genellikle sertliği ve mukavemeti artırır, ancak ağırlığı da artırır, bu nedenle yapısal verimlilik ve malzeme kullanımını dengelemek için kalınlığı optimize etmek önemlidir (O’Ceallaigh vd., 2018; Gao & Gong, 2022). Sert ve yumuşak ağaçların birleştirilmesi ise tasarım hedeflerine ve bölgesel mevcudiyete bağlı olarak düzlem içi performansı, gerilme davranışını ve kütleyi ayarlamak için stratejik olarak kullanılabilir (Amin vd., 2023; Lee & Kim, 2021).

Yapıştırma kalitesi, yapıştırıcı sistemi ve uygulamasına bağlıdır. Yaygın CLT yapıştırıcıları arasında PF ve MUF reçineleri ile daha yeni biyo-bazlı seçenekler bulunur ve seçim genellikle nem direnci, mukavemet gereksinimleri ve çevresel faktörlere göre yapılır (Amin vd., 2023; Hamid vd., 2013; Pang vd., 2021). Uygulama yöntemi (ör. rulo, sprej, yayma) ve yayılma oranı, ahşap yüzeyine nüfuz ve dağılımı kontrol ettiği için çok önemlidir; yetersiz veya aşırı yapıştırıcı, bağlanma etkinliğini azaltabilir, bu nedenle israfı ve bağlanma hattı kusurlarını önlerken bağlanmayı en üst düzeye çıkarmak için optimize edilmiş yayılma oranları önerilir (Şekil 9) (Amin vd., 2023; Hamid vd., 2013; Pang vd., 2021; Spulle vd., 2021; Kurt & Çil, 2012).



Şekil 9. Kerestelerin platforma taşınması ve katmanlara uygulanan yapıştırıcı ile laminasyon işleminin gerçekleştirilmesi (Kallesoe Machinery, 2025).

Son olarak, presleme aşaması katmanları birleştirir ve yapıştırıcıyı kürlür, bu da basınç, sıcaklık ve presleme süresinin, ahşabı veya yapıştırıcıyı bozmadan tam kürlüme elde etmek için kontrol edilmesi gerektiği anlamına gelir. Daha yüksek pres basıncı, penetrasyonu ve yapışma mukavemetini artırabilir, ancak eksik kürlüme veya termal hasarı önlemek için uygun bir sıcaklık-zaman aralığı ile eşleştirilmelidir (Şekil 10) (Amin vd., 2023; Kurt & Çil, 2012; Spulle vd., 2021; Bekhta vd., 2020; Żenkiewicz, 2004; Gong vd., 2016). Bu adımların tümünde, nem yönetimi çok önemlidir, çünkü kontrolsüz nem, delaminasyon, çarpılma veya yapışma hattının dengesizliğine neden olabilir; bu nedenle, özellikle yüksek performanslı yapısal uygulamalar için sıcaklık kontrollü presleme ve dikkatli nem kontrolü önemlidir (Bekhta vd., 2020; Valchev vd., 2024; Pang vd., 2021; Gul vd., 2017).



Şekil 10. CLT presleme aşaması (Kallesoe Machinery, 2025).

- **CNC ile kesme, yüzey işlemleri ve kalite kontrol**

CNC tabanlı son işlem; hassas boşluk oluşturma, kontrollü yüzey bitirme ve sistematik kalite kontrolü sağlayarak CLT üretiminde önemli bir rol oynar. CNC işleme, CLT panellerini frezeleme, delme ve yönlendirme yoluyla; kanallar, borular ve mekanik sistemler gibi bina hizmetlerini entegre etmek için gereken hassas boyutlu boşluklar ve karmaşık geometriler oluşturabilir (Şekil 11) (Zhang vd., 2017). Süreç otomatik olduğu için, genellikle boyutsal doğruluğu artırır, geleneksel yöntemlere göre daha karmaşık boşluk tasarımları oluşturulabilir, işçilik ve üretim süresini azaltır (Hazır & Koç, 2020).

İşleme sonrasında, genellikle CNC destekli zımparalama, taşlama ve parlatma ile gerçekleştirilen yüzey bitirme işlemleri, hem estetik hem de işlevsel performans için gerekli yüzey kalitesini elde etmek için kullanılır (Mumtaz vd., 2019). Zımparalama sıralamaları aşındırıcı kum seçimi ile ayarlanabilirken, parlatma gerektiğinde görünümü daha da iyileştirebilir (Reddy & Rani, 2017; Volpato & Amorim, 2011).



Şekil 11. CNC kesme ünitesi ile CLT üzerinde açılan boşluklar (Timber Tools, 2025).

Boyutsal ve mekanik gerekliliklere uyumu sağlamak için, CLT hatları, işleme sonrasında makine görüşüne dayalı inceleme ve hassas boyutsal doğrulama (ör. lazer ölçümü) gibi kalite kontrol önlemlerini giderek daha fazla içermektedir (Krishna vd., 2020; Mehtedi vd., 2024). Bu denetimler geri bildirim döngülerine bağlandığında, ölçülen sapmalar CNC parametrelerini gerçek zamanlı olarak ayarlamak veya malzemeyle ilgili sorunları erken tespit etmek için kullanılabilir, bu da sürekli süreç optimizasyonunu destekler ve kusur veya yeniden işleme riskini azaltır (Wang vd., 2007).

1.3 Malzeme Özellikleri

CLT'nin boyutsal kararlılığının temelinde çapraz laminasyon prensibi yer alır. Çapraz laminasyon, nem değişimlerinden kaynaklanan büzülme ve şişmeyi sınırlandırarak elemanın çalşmasını kontrol altında tutar. Nem oranı değiştikçe bir miktar büzülme görülebilse de CLT genel olarak boyutsal olarak stabil kabul edilir (Walsh, 2023). Bu stabilite özellikle panel düzleminde oldukça sınırlıdır; boyutsal hareket panel düzleminde yaklaşık ~%0,01 iken panele dik yönde daha yüksek değerlere (~%0,20) çıkabilmektedir (Pfeifer Timber, 2025).

Yapısal açıdan CLT, betonarme levhalara benzer şekilde iki yönde çalşan bir davranış sergileyerek hem düzlem içinde hem de düzlem dışında yüksek sertlik ve mukavemet sağlayabilir. Bununla birlikte, uygun derz ve arayüz detaylandırması ile CLT montajlarının yüksek düzeyde hava sızdırmazlığı sunabileceği de belirtilmektedir (Karacabeyli, & Gagnon, 2019). Hava sızdırmazlığı performansı açısından CLT panellerin, EN 12207:2001 (Pencere ve Kapılarda Hava Geçirgenliği) standardına göre Sınıf 4 seviyesine ulaşabildiği; panellerin ise genellikle üç katmandan itibaren hava sızdırmaz kabul edildiği ifade edilmektedir (Pfeifer Timber, 2025).

CLT panellerin öne çıkan özelliklerinden biri de, doğal hava sızdırmazlığı sayesinde geleneksel plastik buhar bariyerlerine olan ihtiyacı azaltması, bazı durumlarda ise tamamen ortadan kaldırmasıdır. Ayrıca CLT'nin yüksek boyutsal kararlılığı, elemanın formunu iyi korumasını sağlar; bu sayede pencere ve kapı çerçeveleri çoğu zaman boşluk riski minimum olacak şekilde doğrudan panellere monte edilebilir. Ahşap kurudukça yüzey çatlakları oluşabilse de, test binalarında yapılan termografik incelemeler bu çatlakların ek hava sızıntısına yol açmadığını göstermektedir (Rönnelid vd., 2013).

CLT, çelik ve betona kıyasla benzer düzeyde mukavemet, yangın performansı ve sismik performans sunabilmekle birlikte, aynı zamanda önemli ölçüde daha hafif bir yapı malzemesidir. Bu durum taşıma, montaj ve yapı genel ağırlığı açısından avantaj sağlarken; CLT'nin geleneksel beton ve çelik sistemlere kıyasla çoğu zaman daha düşük karbon yoğunluğuna sahip olması da sürdürülebilirlik açısından önemli bir artı olarak değerlendirilmektedir (Walsh, 2023).

Malzemenin fiziksel/ısı özellikleri incelendiğinde, CLT'nin yoğunluğu yaklaşık 480 kg/m³ olup (genellikle yük/ağırlık hesaplarında kullanılmaktadır), ısı iletkenliği $\lambda = 0,12 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ ve özgül ısı



480 kg/m³

Yaklaşık yoğunluk değeri



0,12 W/mK

Isı iletkenliği



1600 J/kgK

Özgül ısı kapasitesi



EN 12207

Sınıf 4

Hava sızdırmazlık sınıfı



≥3

Katman

Sızdırmaz

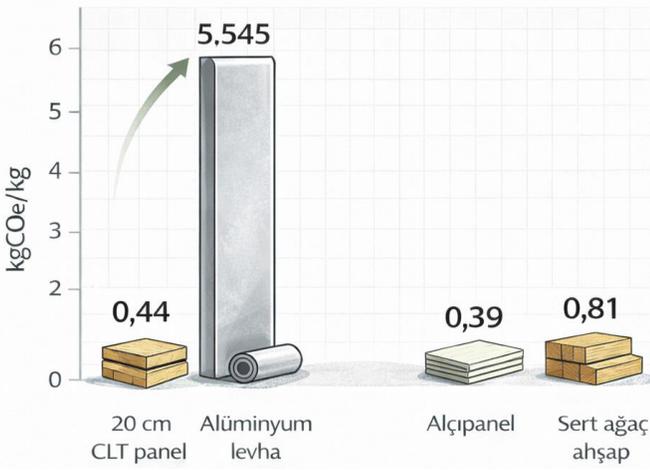
kapasitesi $c_p = 1600 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ olarak verilmektedir (Pfeifer Timber, 2025).

1.4 Sürdürülebilirlik ve Çevresel Etkiler

Genel çevresel profil: Beton ve çelik gibi geleneksel malzemelerle karşılaştırıldığında, CLT genellikle daha olumlu bir çevresel ayak izi ile ilişkilendirilir (Karacabeyli, & Douglas, 2013). CLT'yi hücreli plastikler veya mineral yün yerine, ahşap elyaf yalıtım gibi yenilenebilir yalıtım seçenekleriyle birlikte kullanmak da sıklıkla önerilmektedir (Rönnelid vd., 2013). Özellikle ahşap esaslı olması, prefabrikte sistemlerde atık oluşturmaması ve kullanım ömrü bittiğinde geri dönüştürülebilir olması önemli bir avantaj olarak görülmektedir. Hızlı üretilir, kolay nakliye edilir ve en önemlisi sökülüp tekrar depolanmaya elverişlidir (Abanoz, & Vural, 2023).

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA): LCA çalışmaları, üretim, inşaat ve ömür sonu senaryoları (örneğin, enerji geri kazanımı ile yakma) dikkate alındığında, CLT'nin fosil yakıt kullanımını ve sera gazı emisyonlarını azaltmaya yardımcı olabileceğini göstermektedir (Karacabeyli, & Douglas, 2013). Ahşap, sürdürülebilir şekilde yönetilen ormanlardan elde edildiğinde, tüm üretim döngüsü boyunca sera gazı emisyonları daha da azaltılabilir (Walsh, 2023).

Karbon depolama: CLT kullanımı, düşük karbonlu tasarım hedefleri ve Pasif Ev sertifikası gibi performans odaklı yaklaşımlarla uyumlu bir yapı sistemi olarak değerlendirilmektedir (Walsh, 2023). Beton gibi karbon yoğun malzemelerin, ahşap bazlı ve yenilenebilir hammaddelerle ikame edilmesinin yapı sektöründe CO₂ emisyonlarının azaltılmasına katkı sağlayabileceği belirtilmektedir (Rönnelid vd., 2013). Bu kapsamda ahşabın biyojenik karbon döngüsü öne çıkmaktadır: ağaçlar büyüme sürecinde CO₂ emer ve bu karbonun, CLT gibi dayanıklı ahşap ürünlerde binanın hizmet ömrü boyunca (örneğin ~60 yıl) depolanabileceği ifade edilmektedir. Söz konusu geçici depolama, iklim değişikliğinin azaltılması bağlamında literatürde kimi çalışmalarda bir tür "karbon kredisi" olarak yorumlanmaktadır (Karacabeyli, & Douglas, 2013). Ayrıca, ahşap ürünlerin çoğu durumda betona kıyasla daha düşük karbon ayak izine sahip olduğu ve betonun yerine ahşap kullanımının hem emisyonları azaltma hem de yapı içinde geçici bir karbon yutağı etkisi oluşturma potansiyeli taşıdığı vurgulanmaktadır (Walsh, 2023).



Şekil 12. CLT, alüminyum levha, alçı panel ve sert ağaç ahşabın gömülü karbon miktarı karşılaştırması

Gömülü karbon değerlerine ilişkin sayısal karşılaştırmalar da bu yaklaşımı destekleyebilecek bulgular sunmaktadır. Yaklaşık 20 cm genişliğindeki bir CLT panelin gömülü karbon değeri 0.44 kgCO₂e/kg iken; bu değer alüminyum levhada 5.545 kgCO₂e/kg, alçıpanelde 0.39 kgCO₂e/kg ve sert ağaç ahşapta 0.81 kgCO₂e/kg düzeyinde olduğu görülmektedir (Şekil 12) (Akkan Çavdar & Vural, 2024). Benzer biçimde, Inventory of Carbon & Energy veritabanından (ICE, 2019) elde edilen gömülü karbon değerleri esas alınarak yapılan hesaplamalarda, 10 cm CLT'ye kıyasla 10 cm betonun yaklaşık % 164,8; alüminyumun % 155,134; tuğlanın %898,6; gaz betonun %485 oranında daha yüksek karbon emisyonuna karşılık geldiği görülürken, XPS–EPS–PUR gibi yalıtım elemanlarının ise %55,8–173 aralığında artışla ilişkilendirildiği ifade edilmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, bu bulgular CLT ve ahşap esaslı sistemlerin sürdürülebilirlik açısından avantajlı olabileceğine işaret etmektedir.

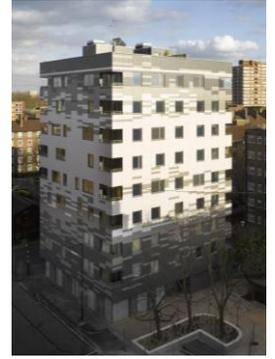
Orman kaynakları: Kuzey Amerika'da orman büyüme oranları hasat oranlarını aşmaktadır, bu da CLT üretiminin sürdürülebilir orman yönetimi uygulamalarıyla desteklenebileceğini göstermektedir (Karacabeyli, & Douglas, 2013).

İç hava kalitesi: Testler, CLT ürünlerinden kaynaklanan formaldehit ve diğer VOC emisyonlarının katı standartlara (örneğin, CARB sınırları) uygun olduğunu ve iç hava kalitesi üzerinde ihmal edilebilir bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir (Karacabeyli, & Douglas, 2013).

1.5 CLT'nin Kullanım Alanları

CLT, konut, ticari ve endüstriyel projeler dâhil olmak üzere çok çeşitli bina türlerinde kullanılabilen çok yönlü bir yapı ürünüdür. Tek ve çok aileli konutlar, apartmanlar, ofis binaları, okullar, oteller ve endüstriyel tesisler gibi pek çok uygulamada; yük taşıyıcı duvar sistemleri, zemin panelleri ve çatı elemanları olarak değerlendirilebilir. İç ve dış mekânda kullanılabilmesi sayesinde düz ya da eğimli sistemler dâhil olmak üzere farklı çatı tiplerine de uyum sağlayarak modüler yapılardan büyük ölçekli otellere kadar geniş bir yelpazede çözüm sunar (Karacabeyli, & Douglas, 2013; Pfeifer Timber, 2025).

Bina yüksekliği açısından CLT, yaygın olarak 5–10 kat aralığındaki orta yükseklikte yapılarda tercih edilmekle birlikte, teorik olarak yaklaşık 30 kata kadar olan yapılarda uygulanabilir (Karacabeyli, & Douglas, 2013). Şekil 13'de 9 katlı bir apartman binası olan Murray Grove CLT binası görülmektedir. Son yıllarda CLT'nin orta ve yüksek katlı yapılardaki kullanımını da artmaktadır. Örneğin, Kuzey Amerika'da güncel yönetmelikler (2020 NBCC: National Building Code of Canada ve 2021 IBC: International Building Code dâhil), belirli koşullara bağlı olarak yaklaşık 12–18 katlı konut, ticari ve karma kullanımlı binalarda CLT kullanımına izin vermektedir. Bu kapsamda özellikle öğrenci yurtları, oteller ve sosyal konutlar gibi konut odaklı projelerde uygun bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca hibrit sistemler, maliyet-etkin çözümler sunabilmekte; 7–12 katlı yapılarda CLT zemin panellerinin çelik duvar çerçeveleriyle birlikte kullanıldığı uygun maliyetli yaklaşımlar da olduğu görülmektedir (Walsh, 2023).



Şekil 13.
Murray Grove
9 Katlı CLT
Apartman
(KLH, 2025)

CLT'nin araştırma ve uygulama alanları arasında temel sistemleri de yer almaktadır. Geleneksel betonarme temel yerine, hücresel plastik üzerine desteklenen CLT panelleriyle hafif ve iyi yalıtılmış temel çözümleri geliştirilebileceği; bu yaklaşımın okullar ve sağlık tesisleri gibi geçici binalar için özellikle uygun olabileceği belirtilmektedir (Rönnelid vd., 2013).

Başka bir çalışmada ise betonarme radye temel yerine CLT panel kullanıldığı ve temelin sıkıştırılmış çakıl, 30 cm hücresel plastik levha ve üstte 13 cm CLT panel katmanlarından oluştuğu yeni bir temel yöntemi kullanılmıştır. Temel, nem riskini azaltmak için yükseltilmiş, kenarları ise hücresel plastiğe yapıştırılmış lifli çimento levhalarla kaplanmıştır. Uygulamanın iyi ısı yalıtımı sağladığı, modüler birimler ve geçici yapılar için uygun olabileceği; ayrıca en fazla iki katlı kalıcı

binalarda potansiyel çözüm olabileceği belirtilmiştir (Şekil 14) (Janols, Brännström ve Helling, 2013).



Şekil 14. CLT paneller kullanılarak oluşturulan örnek bina temeli ve fiberçimento kaplamalı plastik levhalar (Janols, Brännström ve Helling, 2013).

CLT'nin uygulama biçimleri, genel olarak taşıyıcı sistem kurgusuna ve kullanılan yapısal eleman türüne göre sınıflandırılabilir. Taşıyıcı sistem açısından CLT; tüm ana sistemin CLT panellerle çözüldüğü saf (tam) CLT yapılar ve CLT'nin çelik/beton veya mühendislik ahşabı elemanlarla birlikte çalıştığı hibrit sistemler olarak ele alınabilir. Saf CLT yapılarda yük aktarımı ve mekânsal kurgu çoğunlukla hücresel (petek) formlar veya çapraz duvar düzenleri üzerinden düzenlenmektedir (Crawley, 2021). Eleman ölçeğinde ise CLT; duvar, döşeme, şaft/çekirdek ve merdiven gibi bileşenlerde farklı katman sayıları ve boyutlarla uygulanarak hem düşey hem yatay yükler için etkin çözümler sunmaktadır (Şanlı & Vural, 2021).

A. Taşıyıcı Sistem Kurgusuna Göre CLT Kullanımı

- Saf CLT Kullanımı

Saf (veya tam) CLT yapılarında CLT; duvarlar, döşemeler ve gerektiğinde çekirdekler dâhil olmak üzere ana taşıyıcı sistemin temel bileşenidir. Tek katlı ve alçak yapılarda yük aktarımı görece basitken, çok katlı CLT yapılarda yük aktarımı, birleşimler ve montaj detayları daha karmaşık çözümler gerektirmektedir. Uygulamada paneller çoğunlukla zemin seviyesinin üzerine yerleştirilir ve yük aktarımı ile nem/zemin etkilerinin denetimi için betonarme temel veya bodrum döşemesi gibi alt sistemler üzerine oturtulur (Şekil 15). Bu yaklaşım, ahşap-beton birleşim detaylarının önemini artırmaktadır. Çünkü bu birleşimler ahşap-ahşap bağlantılarına kıyasla daha yüksek kuvvetleri



Şekil 15. Ankraj elemanları ile doğrudan betonarme döşemeye bağlanmış ve yükseltilmiş CLT taşıyıcı elemanlar (Karacabeyli & Douglas, 2019)

taşımaktadır. Bu nedenle söz konusu bağlantı noktaları üretim-montaj sürecinde ortaya çıkabilecek ölçüsel sapmalar ve imalat kaynaklı farklılıkların yapısal performansını olumsuz etkilemesini önleyecek şekilde tasarlanmalıdır (Crawley, 2021).

Hücresel Formlar

Hücresel (petek) yapısal düzen, küçük açıklıklar ve konut ölçeğindeki mekânlar için uygundur; bu nedenle konutlarda yaygın olarak tercih edilir. Kat yüksekliğindeki CLT duvarlar, platform yapım yaklaşımına benzer biçimde üst döşeme panellerini taşır. Bu sistem bazı durumlarda gerekli olandan daha fazla ahşap kullanılabileceği de, hücresel kurgunun sağladığı güvenlik avantajı ile birlikte, hızlı saha montajı ve tek bir müteahhit tarafından kabuğun büyük ölçüde tamamlanabilmesi gibi pratik faydalar sunar (Crawley, 2021). Şekil 16 'da hücresel formda inşa edilmiş Le Haut-Bois binasının CLT duvar panelleri ve üzerine gelen CLT döşeme elemanlarının oluşturduğu sistem görülmektedir.



Şekil 16.
Le Haut-Bois
(KLH, 2025)

Çapraz Duvar Formları

Çapraz duvar sistemlerinde CLT döşemeler, düşey taşıyıcı duvarlar arasında tek yönde açıklık geçecek şekilde düzenlenir; bu sayede daha geniş mekânlar elde edilebilir. Oda genişlikleri yaklaşık 7 m'ye kadar çıkabilse de, döşemelerin 5,5-6 m'nin altında daha verimli çalıştığı belirtilmektedir. The Ermine Street Church Academy örnekleri, dik CLT çapraz duvarların yapısal sürekliliği bozmadan çevrede daha açık cephe kurgularına olanak sağlayabildiğini göstermektedir (Şekil 17) (Crawley, 2021).



Şekil 17.
Ermine Street
Church Academy
(Morris, 2021)

- Hibrit CLT Kullanımı

CLT, özellikle büyük açıklıklı ticari yapılarda panel açıklık sınırlamalarını aşmak ve yatay rijitliği artırmak amacıyla farklı malzemelerle birlikte hibrit olarak kullanılmaktadır. Bu sistemlerde CLT; glulam kiriş/kolonlar gibi mühendislik ahşap elemanlarla veya çelik ve beton bileşenlerle birleştirilebilir. Çok katlı yapılarda yatay dengeyi sağlamak üzere çekirdeğin sıklıkla beton olarak çözüldüğü görülmektedir. Hibrit yaklaşım, her malzemenin güçlü yönlerinden yararlanarak CLT ile tek başına ulaşılamayabilecek açıklık/rijitlik performanslarını mümkün kılarken, masif ahşabın avantajlarını da sistem içinde korumaktadır. Bu tür sistemlerde yaklaşık 10 m döşeme açıklığı ideal aralık olarak belirtilmiştir (Crawley, 2021; Şanlı & Vural, 2021).



Şekil 18.
Batiment
Multifonctionnel
Saint Exupery
(Stora Enso, 2021)

Şekil 18’de görülen ve sürdürülebilir bir kamu tesisi olarak adlandırılan iki katlı Batiment Multifonctionnel Saint Exupery binası, çekirdekleri (merdiven dahil) betonarme, duvarları ahşap çerçeve ve döşemesi CLT levhalardan oluşmak üzere hibrit yapıda, iki buçuk ayda inşa edilmiş bir binadır (Stora Enso, 2021).

CLT panellerin GLT, PSL veya LVL gibi kolon ve kirişlerle birlikte kullanılması, taşıyıcı sistemin mekânsal esnekliğini artırabilir. Bu tip hibrit kurgularda ideal döşeme açıklığı için 7,5 m değeri de vurgulanmaktadır (Şanlı & Vural, 2021).

B. Yapısal Eleman Türüne Göre CLT Kullanımı

- Duvar Panelleri

CLT duvar panelleri, hem düşey (yerçekimi) hem de yatay (rüzgâr/deprem) yüklere karşı taşıyıcı dayanım sağlayan temel bileşenlerdir. Uygulamada çoğunlukla 3 ve 5 katmanlı paneller tercih edilirken kalınlıklar yaklaşık 6–16 cm aralığında değişebilir. Dış katman liflerinin yerçekimi yüklerini taşımak amacıyla genellikle düşey (boyuna) yönde yönlendirildiği görülmektedir (Şanlı & Vural, 2021).

2.150 m²’lik anaokulu/ilkokul projesi olan ve biyofilik eğitim tesisi olarak geçen Ecole Alice Milliat binası da CLT duvar ve zemin elemanları ile inşa edilmiştir. Şekil 19’da okulun CLT duvar elemanlarının montajı görülmektedir (Stora Enso, 2025).



Şekil 19.
Ecole Alice Milliat
(Stora Enso, 2025)

- Döşeme Panelleri

CLT döşeme panellerinde dış katmanlar, açıklık yönüne paralel yerleştirilmektedir. Panel kalınlığı açıklığa bağlı olarak yaklaşık 6–28 cm aralığında değişebilir ve standart panellerle 7,62–8,00 m seviyelerine kadar açıklık geçilebildiği ifade edilmektedir (Şanlı & Vural, 2021).

Önemli hibrit CLT yapılarından biri olan 18 katlı Brock Commons, beş katmanlı CLT döşeme panellerine sahiptir ve bu elemanların boyutları 4 m’ye kadar çıkabilmektedir (Şekil 20) (Karacabeyli & Douglas, 2019).



Şekil 20.
Brock Commons
(Karacabeyli & Douglas, 2019)

- Şaft (Çekirdek) Elemanları ve Merdiven

CLT, asansör ve merdiven boşluklarında şaft/çekirdek elemanı olarak kullanılabilir. Örneğin 2×3×11 m boyutlarındaki bir şaftın montajının 1–2 gün içinde tamamlanabildiği; betonarme çözümlerde ise bu sürenin 2–3 haftaya uzayabildiği belirtilmektedir. CLT merdivenler, prekast betona göre daha hafif ve hızlı bir alternatif olup, 4,00 m’den büyük açıklıklar geçebilmektedir (Şanlı & Vural, 2021). Hem merdiven sistemi hem de asansör boşluğu gibi çekirdek elemanların CLT olarak tasarlandığı örnek bir yapı olarak Dalston Lane binası verilebilir (Şekil 21). 10 katlı yapının taşıyıcı sisteminin tamamen CLT’den inşa edilmiş olması yapının ”karbon negatif” olarak kabul edilmesinde etkili olmuştur (Stora Enso, 2017).



1.6 Diğer Ahşap ve Geleneksel Yapım Sistemleri ile Karşılaştırma

Ahşap yapı, farklı mekanik davranışlara, tipik kullanım durumlarına ve yapı mantığına sahip çeşitli yapısal sistemleri içerir. Bu bağlamda, CLT genellikle diğer mühendislik ahşapları ve geleneksel yapısal çözümlerle birlikte değerlendirilerek, hangi alanlarda avantaj sağladığı ve hangi alanlarda alternatif sistemlerin daha uygun olabileceği netleştirilir (Karacabeyli, & Douglas, 2013).

- **Glulam (yapıştırılmış lamine ahşap) ile karşılaştırma:** Glulam, paralel yönlendirilmiş liflerle ahşap laminasyonların yapıştırılmasıyla üretilir, bu da onu esas olarak kirişler ve kolonlar için yaygın olarak kullanılan tek yönlü bir yapısal eleman haline getirir. Buna karşılık, CLT, birbirine dik (çapraz) katmanların yapıştırılmasıyla oluşturulur, bu da iki yönlü hareket sağlar ve duvarlar ve zeminler gibi panel tipi elemanlar ortaya çıkarır (Karacabeyli, & Douglas, 2013).
- **Hafif ahşap çerçeve ile karşılaştırma:** Hafif ahşap çerçeve, genellikle alçak binalar için en ekonomik seçenektir. Ancak CLT, “ağır” sistemlerin (örneğin beton veya duvar) yaygın olarak tercih edildiği durumlarda, özellikle daha geniş açıklıklar, daha yüksek duvar konfigürasyonları ve 5-10 kat aralığındaki orta yükseklikteki binalar için rekabetçi bir alternatif haline gelir (Karacabeyli, & Douglas, 2013).
- **Geleneksel ahşap çerçeve sistem ile karşılaştırma:** Geleneksel ahşap çerçeve sistemlerin aksine CLT teknolojisi, küçük boyutlu ve nispeten düşük kaliteli kereste parçalarını

Şekil 21.
Dalston Lane
(IKEO Group, 2025)

birleştirerek büyük boyutlu panellere dönüştürür; böylece ahşabın doğal boyut sınırlarını aşar, yaklaşık 7 metreye varan açıklıkların geçilmesini ve çok katlı yapıların inşa edilmesini mümkün kılar. Ayrıca CLT panellerin doğası gereği daha hava sızdırmaz bir kabuk oluşturması, çerçeve sistemlerde yaygın olan ek kaplama ve sızdırmazlık katmanlarına duyulan ihtiyacı ve bunlara ilişkin işçilik ile malzeme maliyetlerini azaltabilir (Rönnelid vd., 2013).

- **Beton/çelik ile karşılaştırma:** CLT, beton ve çelikten önemli ölçüde daha hafiftir, bu da temel boyutlarını azaltabilir ve sismik talepleri düşürmeye yardımcı olabilir. Ayrıca, yüksek düzeyde prefabrikasyon özelliği, inşaat süresini önemli ölçüde kısaltabilir ve şantiye verimliliğini artırabilir (Karacabeyli, & Douglas, 2013). Üç kata kadar olan binalarda, yerinde dökme beton çerçeveler CLT'den yaklaşık %14 daha ucuz olabilir. Ancak, üç kattan fazla binalarda, CLT prefabrik elemanları sayesinde sahada çok daha hızlı montaj ve daha kısa toplam inşaat süresi sağladığından daha ekonomik hale gelebilir. Ayrıca, bir CLT yapısal çerçeve genellikle eşdeğer bir beton çerçevenin yaklaşık üçte biri ağırlığındadır (Rönnelid vd., 2013). 6 ve 9 katlı iki yapının birleştirilmesi ile kurgulanmış olan Le haut-Bois hibrit yapısı CLT elemanlar kullanılarak inşa edilmiştir fakat yapının yangın durumundaki güvenliği sağlayabilmek için beton ve çelik malzemenin tasarıma katıldığı ve kolon-kiriş sisteminde kullanıldığı görülmüştür (şekil 22) (KLH, 2025).



şekil 22.
Le Haut-Bois
(KLH, 2025)

BÖLÜM 2

CLT Yapılarda Tasarım ve Performans İlkeleri

2.1 Yapısal Tasarım ve Performans

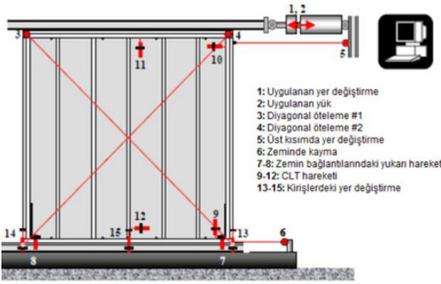
Çapraz lamine üretim prensibi, panelin boyutsal kararlılığını artırırken betonarme döşemelere benzer şekilde iki yönlü yük aktarımına olanak tanır; bu sayede CLT, hem düzlem içinde hem de düzlem dışında yüksek mukavemet ve rijitlik gösterebilen bir yapı elemanı olarak öne çıkar. Karacabeyli ve Douglas'a (2013) göre CLT duvar panelleri etkili bir yanal yük taşıyıcı sistem gibi çalışmakta; sarsma masası deneylerinde panellerin büyük ölçüde hasarsız kaldığı ve enerji sönümlemenin çoğunlukla braket ve çivi gibi bağlantı elemanlarının sünek davranışıyla gerçekleştiği bildirilmektedir. Ayrıca ahşap sistemlerin düşük kütlesi, temele aktarılan yükü azaltarak deprem etkilerini sınırlama potansiyeli de taşımaktadır (Yılmaz, Vural, & Baş, 2020).

CLT'nin yapısal performansı yalnızca panel geometrisine değil, katmanlarda kullanılan kereste sınıfı ve kombinasyonlarına da bağlıdır. İç katmanlarda daha düşük kalite sınıfların kullanılabilirdiği, dış katmanlarda ise daha yüksek kalite sınıfların tercih edildiği belirtilmektedir. Örneğin C24 sınıfı kerestelerin 350 kg/m^3 yoğunluk, 24 MPa eğilme dayanımı ve 21 MPa basınç dayanımı sunduğu; dış duvarlarda kullanılabilen C30 sınıfının ise 380 kg/m^3 yoğunluğa sahip olup 30 MPa eğilme ve 24 MPa basınç dayanımı gösterdiği ifade edilmektedir (Tonyalı, Lakot Alemdağ, & Tandoğan Kibar, 2024).

Bununla birlikte, tüm katmanlarda çok yüksek mukavemetli ahşap kullanımının her zaman en iyi sonucu vermeyebileceği; kimi durumlarda gevrek (anı) kesme kırılmalarına neden olabileceği belirtilmektedir. Bu çerçevede, CLT panellerin iç katmanlarında veya belirli kombinasyonlarda C16 ve C22 gibi daha düşük ve ekonomik sınıfların kullanımının, mekanik özelliklerden belirgin ödün vermeden maliyeti düşürebildiği raporlanmıştır (Birinci vd., 2025). Benzer şekilde, yaygın C24 yerine dış katmanlarda yüksek (C30), orta katmanlarda düşük (C18) sınıf kullanımı (C30–C18–C30) hem daha yüksek yapısal dayanım sağlama hem de maliyetleri azaltma potansiyeli taşımaktadır (Birinci vd., 2024).

CLT tasarımında, çapraz katmanların yuvarlanma/kesme deformasyonlarını (enine katmanlarda liflere dik yönde oluşan kesme kaynaklı şekil değiştirmeler) içeren analitik yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bu kapsamda Kesme Benzerliği yöntemi veya Gama Yöntemi (mekanik olarak bağlı kiriş teorisi) gibi yöntemlerin yaygın olduğu; CLT zeminlerde ise tasarımı çoğu zaman mukavemetten ziyade

titreşim ve kullanıcı konforu kriterlerinin belirlediği, bu nedenle kontrollerin panelin etkin eğilme rijitliği ve kütlesi üzerinde yoğunlaştığı vurgulanmaktadır (Karacabeyli, & Gagnon, 2019). Yatay yüklemeye testleri, CLT duvarlarda panelin kendi kesmesinden çok bağlantıların deformasyonunun etkili olduğunu göstermektedir. Bu nedenle yanal ötelenme çoğunlukla panellerin köşeler etrafında rijit cisim gibi dönmelerinden kaynaklanır. Döşeme ve tavan diyaframları bu dönmeyi kısmen sınırlamaktadır. Şekil 23’de yapılan 20 Ton Kapasiteli Servo Hidro Yüklemeye Sistemi perde duvar analiz testi görülmektedir. Bu test ile CLT panellerin yanal yük altındaki yapısal performansı belirlenmektedir.



Şekil 23. CLT perde duvarın yanal yük altındaki yapısal performansı deneyi (Birinci vd., 2024).

CLT yapımı, panellerin minimum toleransla üretilip monte edilmesi nedeniyle yüksek boyutsal doğruluk gerektirir. Taban ve bağlantıların hassas yerleşimi önem kazandığından, yanlış köşe bağlantı detayları gibi koordinasyon hatalarını azaltmak için yalnızca 2D çizimlere bağlı kalmak yerine 3D modellemenin kritik olduğu ifade edilmektedir (Rönnelid vd., 2013).

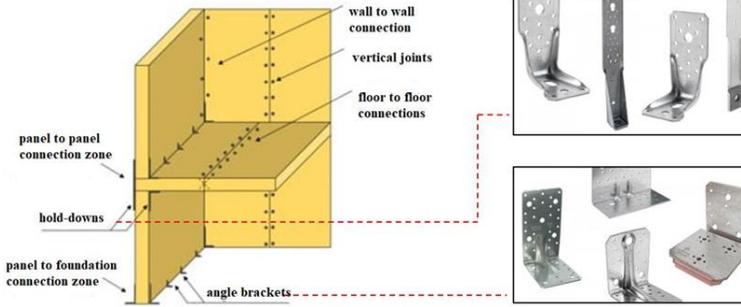
Hücreli formlu yaklaşımlarda CLT zemin panelleri ile çelik çerçeve duvarların birlikte kullanımıyla yaklaşık 12 kata kadar sağlam hibrit sistemler kurulabildiği; tamamlanan her katın bir sonraki kat için çalışma platformu işlevi gördüğü belirtilmektedir. Bu hibrit yapılarda CLT zeminler ve çelik çerçeve duvarların çoğunlukla düşey yük taşıyıcı sistemi oluşturduğu, rüzgâr ve deprem gibi yanal yüklerin ise genellikle beton çekirdek veya çelik çapraz gibi ayrı bir sistemle karşılandığı aktarılmaktadır. Ayrıca CLT zeminlerin çoğunlukla iki ya da üç açıklık üzerinde sürekli elemanlar olarak tasarlandığı ve duvar aralıklarının yaklaşık 12 ft ($\approx 3,7$ m) olacak şekilde optimize edildiği belirtilmektedir (Şekil 24) (Walsh, 2023).



Şekil 24. Çelik çerçeve duvarlar ve CLT döşeme: Bunker Hill Housing ve Beaverton Public Safety Center (Wood Works, 2025).

2.2 Bağlantı Sistemleri ve Detaylar

CLT yapılar da taşıyıcı sistemin sürekliliği, panel birleşimlerinde kullanılan mekanik bağlantı elemanları ile sağlanmaktadır. Şekil 25’de, CLT yapılar da yaygın olarak kullanılan panel–panel, duvar–döşeme ve duvar–temel bağlantı bölgeleri ile bu bölgelerde tercih edilen temel bağlantı elemanları gösterilmektedir.



Şekil 25. CLT binalar da kullanılan bağlantı elemanları (Tandoğan Kibar & Lakot Alemdağ, 2023).

Panel–panel ve duvar–duvar birleşimlerinde yük aktarımı, çoğunlukla kendinden kılavuzlu vidalar ve çelik bağlantı elemanları aracılığıyla sağlanmaktadır. Duvar–döşeme birleşimlerinde çelik köşebent bağlantı elemanları, duvar–temel bağlantılarında ise özellikle deprem etkisi altında oluşan çekme kuvvetlerine karşı hold-down (çekme ankrajı) elemanları kullanılmaktadır. Bu bağlantılar, yapının yatay ve düşey yükler altındaki davranışını belirleyerek CLT yapıların deprem performansında kritik rol oynamaktadır.

CLT yapılar da bağlantı noktaları, taşıyıcı sistemin mukavemeti, sürekliliği ve genel performansı açısından kritik öneme sahiptir. Panel–panel birleşimlerinde genellikle ahşap bazlı spline’lar (kontrplak veya LVL şeritleri) ya da yarım bindirme (half-lap) detayları kullanılır ve bu birleşimler çoğunlukla vidalarla sabitlenir. Duvar–zemin ve duvar–duvar birleşimlerinde ise metal bağlantı elemanları, tutucular ve plakalar ile dikey ve yanal kuvvetlere direnç sağlayan yüksek kapasiteli kendinden kılavuzlu vidalar yaygın olarak tercih edilmektedir (Şekil

26). Sismik tasarımda temel hedef, enerji tüketiminin panellerde değil bağlantı elemanlarında gerçekleşmesi yani sünek akmanın bağlantı noktalarında oluşmasıdır. Yangın dayanımı açısından ise ısı transferini sınırlamak ve kapasite kaybını önlemek için metal bağlantı elemanlarının korunması veya gizlenmesi (örneğin ahşap tapalar veya alçı levhalar ile) gerekmektedir (Karacabeyli, & Douglas, 2013).



Şekil 26. CLT paneller arasında ayrı bir ahşap eleman kullanılarak oluşturulan panel-panel (iç spline) bağlantı detayı (Karacabeyli, & Gagnon, 2019).

CLT binalarda yüksek hava sızdırmazlığı elde etmek amacıyla birleşim detayları özel olarak kurgulanabilmektedir. Panel birleşimlerinde “S-kıvrımı” (çentik/oluk) benzeri geometrilerle hava akışının daha uzun ve dirençli bir yol izlemesi sağlanır; bu yol çoğu zaman genişleyebilen sızdırmazlık şeritleriyle desteklenir (Şekil 27). Pencere ve kapı montajında çerçeveler CLT yüzeyine doğrudan preslenebilir veya vidalanabilir ve araya sızdırmazlık şeridi yerleştirilebilir; böylece geleneksel elyaf dolgu maddelerine duyulan ihtiyaç azaltılabilir. Köşelerde panellerin diyagonal vidalarla sabitlenmesi ise birleşimi sıkılaştırarak sahada daha hızlı montaja katkı sağlayabilmektedir (Rönnelid vd., 2013).



Şekil 27. CLT duvar panelinin, döşeme paneline bağlantısında kullanılan sızdırmazlık şeritleri (Janols, Brännström ve Helling, 2013).

Buna ek olarak, prefabrik CLT panellerin hem kuru hem de ıslak bağlantı yöntemleriyle monte edilebildiği görülmektedir. Kuru bağlantılarda, paneller çoğunlukla vida, bulon ve çelik bağlantı elemanlarıyla birleştirilirken, sızdırmazlık bantları yardımcı eleman olarak kullanılmaktadır. Islak bağlantılarda ise özellikle temel ve döşeme birleşimlerinde beton veya grout gibi dökme bağlayıcı malzemelerden yararlanılmaktadır (Şekil 28) (Akkan & Vural, 2022).



Şekil 28. Örnek bir CLT binada duvar-döşeme bağlantısı (Janols, Brännström ve Helling, 2013).

Ahşap malzemenin nem içeriği azaldıkça büzülmesi, özellikle platform tipi yapılarda kat kat birikerek tesisat ve diğer bina elemanlarında hizalama sorunlarına yol açabilmektedir. Bu soruna yönelik olarak bir çalışmada kullanılan patentli CLT ve çelik çerçeve bağlantı detayında, CLT zemin panelinden geçen ve üst duvardaki yükleri doğrudan alt duvara aktaran çelik ara parçalar kullanıldığı aktarılmaktadır. Böylece ahşap panel büzülse bile genel kat yüksekliği korunur ve yerçekimi yükleri ahşap yerine çelik elemanlar üzerinden taşınır. Hareketi karşılamak ve kuruma-büzülme durumunda bağlantının gevşemesini önlemek için yaylı civataların da kullanıldığı; beton ara parçalar veya sert ahşap dübellerin benzer işlev görebilmekle birlikte, çelik ara parçaların çoğu durumda daha ince ve uygulaması daha pratik olduğu belirtilmektedir (Şekil 29) (Walsh, 2023).



Şekil 29.
Brock Commons
(Walsh, 2023)

Bağlantı elemanı seçimi, hedeflenen performansa göre farklılaşmaktadır. Örneğin çekmeye karşı ankraj elemanları, kesmeye karşı köşebentler ile vidalar ve çivilerin kullanımı örnek olarak verilebilir. Deprem sırasında hasarın ve deformasyonun metal bağlantı noktalarında yoğunlaşması beklenir; bu yaklaşım ahşap panelin korunmasına katkı sağlamaktadır (Tonyalı, Lakot Alemdağ, & Tandoğan Kibar, 2024). Benzer şekilde CLT panellerin doğası gereği rijit olması nedeniyle, deprem yükleri altındaki yer değiştirme ve enerji sönmülme kapasitesinin panellerden ziyade bağlantı elemanlarının

tasarımına bağlı olduğu vurgulanmaktadır (Tandoğan Kibar & Lakot Alemdağ, 2023).

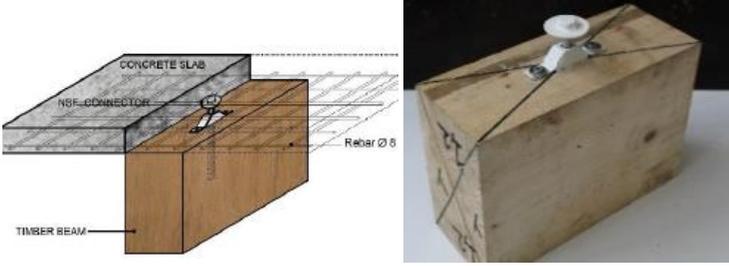
Hibrit ahşap-beton sistemlerde yük aktarımını iyileştirmek amacıyla L tipi metal bağlantı elemanların kullanıldığı görülmektedir. Literatürde bu konuda yapılan akademik çalışmalarda bazı test sonuçlarına göre hasarların çoğunlukla CLT duvarın kendisinde değil; duvarın zemine veya diğer panellere bağlandığı metal birleşim noktalarında (kopma, sıyrılma, kırılma vb.) gerçekleştiği ifade edilmektedir. Uygun bağlantı elemanları kullanıldığında (örneğin standart çözümlere kıyasla daha uzun 45 cm'lik profiller), yapının deprem sırasında daha fazla deformasyon yapabilmesi sağlanarak çökme süresinin dolaylı biçimde uzatılabileceği belirtilmektedir (Şekil 30) (Tandoğan Kibar & Lakot Alemdağ, 2023).



Şekil 30. CLT duvar–temel bağlantı detayları deprem yükü test düzeneği ve testi yapılan bağlantı elemanları (Tandoğan Kibar & Lakot Alemdağ, 2023).

Geleneksel uygulamalarda bağlantı için ahşap kiriş oyulurken, bu tasarımda çentik beton plak içinde bırakılmakta; çelik bir kutu profil ile beton içinde boşluklu bir “metal çentik” oluşturulmaktadır (Şekil 31) (Yılmaz, Demir, & Vural, 2021). Bu yaklaşımda geleneksel çentikli sistemlerde hasarın betonda yoğunlaşarak gevrek davranışa yol açmasına karşılık; yapay çentikli sistemde hasarın betonda değil bağlantı elemanında yoğunlaşarak daha sünek ve kararlı bir davranış elde

edilebildiği ifade edilmektedir. Betonun basınç, ahşabın çekme gerilmelerini karşıladığı bu hibrit sistemin, geleneksel ahşap döşemelere göre daha rijit ve güçlü olduğu ve bunun deprem dayanımına olumlu yansiyebileceği belirtilmektedir (Yılmaz, Vural, & Baş, 2020; Yılmaz vd., 2022).



Şekil 31. Ahşap kirişli beton plak döşeme ve yapay çentik bağlantı elemanı (Yılmaz, 2020).

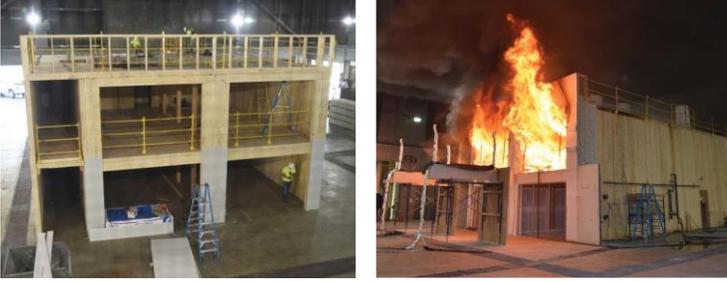
2.3 Yangın Tasarımı ve Yangın Performansı

Masif ahşap bileşimi sayesinde CLT paneller, doğal bir yangın direnci potansiyeli sunar. Kalın ahşap elemanlarda kömürleşme süreci genellikle yavaş ve öngörülebilir biçimde ilerler; oluşan kömür tabakası iç çekirdeği koruyan bir yalıtım bariyeri görevi görerek elemanın daha uzun süre yük taşıma kapasitesini korumasına katkı sağlar (Karacabeyli, & Douglas, 2013).

CLT'nin yangın performansında yalnızca kömürleşme davranışı değil, yapıştırıcı hattının yüksek sıcaklık altındaki dayanımı da belirleyicidir. Yapıştırma hattının ısı kaynaklı delaminasyona karşı dirençli olması önemlidir; çünkü kömür tabakasının ayrılması durumunda yangının daha hızlı ilerleyebileceği belirtilmektedir. Ayrıca yangına dayanım, panellerin alçı levha ile kaplanması gibi kapsülleme yöntemleriyle artırılabilir (Karacabeyli, & Gagnon, 2019). Ayrıca CLT'nin yanıcı bir malzeme olduğu düşünülse de, deneyler CLT yapıların 30, 60 ve 90 dakikaya kadar yangına dayanım sağlayabildiğini göstermektedir. Örneğin bir araştırmada gerçekleştirilen CLT yangın performans testinde yaklaşık 1000°C sıcaklıkla 1 saatlik yanma gerçekleşmesine rağmen dış yüzey sıcaklığının düşük seviyelerde kaldığı ve diğer hacimlerin korunabildiği raporlanmıştır. Bu durum, yangına maruz kalan yüzeyde oluşan kömür tabakasının ısı geçişini yavaşlatarak yangının diğer yüzeylere ilerlemesini zorlaştırmasıyla ilişkilendirilmektedir (Greenspec, 2016).

ABD Tarım Bakanlığı (USDA) Orman Ürünleri Laboratuvarı tarafından yürütülen ve iki katlı masif ahşap (CLT) bir yapıda gerçekleştirilen beş adet ölçekli yangın deneyi çalışmasında, sprinkler

bulunmayan senaryolarda yangının kısa sürede büyüyerek ani yayılma evresine ulaştığı ve yüksek şiddetli bir yanma rejimine geçtiği görülmüştür. Buna karşılık sprinkler kullanılan senaryolarda yangının belirgin biçimde baskılandığı da raporlanmıştır. Ayrıca, kapı ve bağlantı detayları ile montaj kalitesinin yangının yayılımını ve özellikle koridor gibi kaçış güzergâhlarındaki ısı koşulları kritik ölçüde etkileyebildiği vurgulanmıştır. Son olarak, açıkta bırakılan CLT yüzeylerinde tabakalanma gibi hasarların gelişebildiği ve bunun yangın davranışını olumsuz yönde etkileyebileceği ifade edilmiştir (Şekil 32) (Zelinka, 2018).



Şekil 32. İki katlı bir CLT yapının yangın testi (Zelinka, 2018).

Ayrıca CLT ve çelik çerçeve duvarların birlikte kullanıldığı hibrit sistemler de yangın dayanımı konusunda avantajlıdır. Çelik çerçeve duvarların yanmaz olması ve alçı panel ile korunduklarında yaklaşık üç saate kadar yangın direnci sağlayabildikleri görülmektedir. Bu yaklaşım, tamamen ahşaptan yapılmış binalara kıyasla toplam yangıcı malzeme içeriğini azaltmaya yardımcı olur. CLT paneller ise hesaplanan kömürleşme oranları esas alınarak veya alçı panel gibi koruyucu kaplamalar eklenerek yaklaşık iki saat yangın direnci sağlayabilmektedir (Walsh, 2023).

Ön yangın tasarım hesaplamalarında ise yaklaşık 0,7 mm/dk kömürleşme oranının pratikte genel bir kural olarak kullanıldığı belirtilmektedir. Uygun detaylandırma ve kesit boyutlandırma ile CLT montajlarının tipik olarak REI 30 ile REI 90 (30–90 dakika) aralığında yangın direnci derecelerine ulaşabildiği; bunun da ahşabın öngörülebilir kömürleşmesi ve kömür tabakasının iç çekirdeği koruması ile ilişkili olduğu aktarılmaktadır. Yangına tepki sınıflandırması açısından CLT'nin genellikle D-s2, d0 olarak rapor edildiği ifade edilmektedir (Pfeifer Timber, 2025). Ayrıca CLT panellerin, genellikle A2 sınıfı yalıtım malzemeleriyle desteklenmesinin önerildiği belirtilmektedir (Akkan & Vural, 2022).

2.4 Akustik Tasarım ve Akustik Performans

CLT sistemler, uygun detaylandırma ve doğru montaj ile iyi bir ses yalıtım performansı sağlayabilmektedir (Karacabeyli, & Douglas, 2013). Ancak akustik performansın yalnızca panel kalınlığına değil; birleşim detaylarına, katmanlaşmaya ve yapısal ayrıştırma stratejilerine bağlı olduğu vurgulanmaktadır.

Kaplamasız CLT paneller tek başına çoğu zaman ses yalıtımı (STC- Ses Geçiş Sınıfı) (IIC- Darbe Ses Yalıtım Sınıfı) açısından tipik yönetmelik gereksinimlerini karşılamaz. Bu nedenle akustik performans genellikle beton şap veya kaplama, yüzer zemin sistemleri, asma tavanlar ve ek duvar katmanları (alçıpan ve yalıtım) gibi kütle artırma ve ayrıştırma önlemleri ile iyileştirilmektedir. Uygulamada derzler ve bitişik elemanlar üzerinden oluşan yan ses iletimin kontrolü, panellerin kendisi üzerinden gerçekleşen doğrudan iletimi azaltmak kadar kritik kabul edilmektedir (Karacabeyli, & Gagnon, 2019). Şekil 33’de kerestelerin akustik özelliklerinin belirlenebilmesi için yapılan test görülmektedir.



Şekil 33. Akustik test cihazı kullanarak kereste mukavemet sınıflarının belirlenmesi (Birinci vd., 2025).

Nispeten yüksek kütleli masif ahşap paneller, şap veya diğer yüzer zemin sistemleri gibi uygun üst katmanlarla birleştirildiğinde CLT zemin düzenekleri çok iyi hava ve darbe sesi yalıtım performansı sağlayabilmektedir (Pfeifer Timber, 2025). Buna karşın, bazı uygulamalarda CLT’nin ses yalıtım değerinin genellikle 34–39 dB aralığında kaldığı ve Ses Geçiş Sınıfı (STC) değerinin 36–53 dB arasında değişebildiği; ayrıca beton gibi daha rijit ve kütleli sistemlere kıyasla performansın daha zayıf kalabildiği ve güçlendirme gerektirebileceği belirtilmektedir (Akkan & Vural, 2022).

Konutlar arası ses yalıtımı için, cam yünü ile yalıtılmış ve çift katmanlı alçıpanla kaplanmış çelik dikmeli duvar sistemlerinin yaklaşık STC 50 değerine ulaşabildiği ifade edilmektedir. Zeminlerde ise CLT panel

üzerine bir yalıtım katmanı (yaklaşık 2,5 cm) ve beton/şap kaplaması eklenerek akustik performansın genellikle iyileştirildiği aktarılmaktadır (Walsh, 2023).

2.5 Isıl Tasarım ve Enerji Performansı

CLT, sağlam ve çok katmanlı yapısı sayesinde belirli bir düzeyde ısı yalıtımı ve termal kütle sağlayarak iç mekân sıcaklık dalgalanmalarını dengelemeye yardımcı olabilir (Karacabeyli, & Douglas, 2013). Benzer şekilde CLT'nin ısıyı depolama kapasitesi sayesinde enerji performansını desteklediği; kışın sıcaklığın korunmasına katkı sağlarken yazın aşırı ısınma riskini azaltabildiği de bilinmektedir (Pfeifer Timber, 2025).

CLT paneller termal kütle açısından avantaj sağlasa da en iyi uygulama, ahşabı sıcak bölgede tutmak ve termal kırılmaları azaltmak için panelin dışına sürekli yalıtım yerleştirmektir. CLT' nin kendisi yüksek hava sızdırmazlık gösterebilse de panel birleşimlerinde hava kaçakları oluşabildiğinden, güvenilir sızdırmazlık için birleşimlerin dikkatli biçimde bantlanması/sızdırmaz hâle getirilmesi ve buna ek olarak haricî bir hava bariyeri tabakasının kullanılabilmesi de önerilmektedir (Lakot Alemdağ, Tandoğan & Artun, 2021).

Bu yaklaşım doğrultusunda, dıştan sürekli yalıtımın CLT taşıyıcıya güvenli biçimde uygulanması için farklı detay çözümleri kullanılmaktadır. Özellikle kalın dış yalıtım katmanlarında kaplama alt konstrüksiyonunun taşıyıcı elemana bağlanması; ısı köprülerini sınırlandırırken aynı zamanda kaplama yüklerini güvenli şekilde iletmektedir. Şekil 34'de örnek bir çalışmada ele alınan benzer bir çözüm görülmektedir. Bu uygulamada uzun vidalar aracılığıyla CLT' ye sabitlenen fiberglas klipsler ve bu klipslere bağlanan düşey metal profiller kaplama sisteminin taşıyıcı alt yapısını oluşturmaktadır.



Şekil 34. CLT duvar üzerine uygulanan yalıtım detayı (vidalar, fiberglas klipsler ve düşey metal profiller) (Finch & Wang, 2019).

Bu tür bağlantı ve katman kurguları yalnızca konstrüktif bir çözüm sunmakla kalmayıp, aynı zamanda kabuğun ısı performansını ve hava sızdırmazlığı üzerinde de belirleyici olmaktadır. Nitekim CLT tabanlı sistemlerin, dıştan sürekli yalıtım ve ısı köprülerini sınırlayan detaylarla birlikte ele alındığında, düşük enerji hedeflerine ulaşabildiği ve yüksek performans standartlarını karşılayabildiği çeşitli uygulamalarda gösterilmiştir.

Rönnelid vd. (2013), CLT tabanlı bir yapı kabuğu çözümünün İsveç iklim koşullarında Pasif Ev standardını karşılayacak şekilde geliştirildiğini ve çok düşük enerji talebini hedeflediğini belirtmektedir. Çalışmada yer alan test binasında ölçülen ortalama U-değerleri; duvarlarda 0,093 W/m²K, çatıda 0,075 W/m²K ve temelde 0,089 W/m²K olarak raporlanmıştır. Ayrıca 50 Pa basınç farkında gerçekleştirilen hava sızdırmazlık testinde elde edilen sonuçların Pasif Ev gerekliliklerini sağladığı, ısı köprülerinin ise dış yalıtım kutuları gibi detay çözümleriyle daha da azaltıldığı ifade edilmektedir.

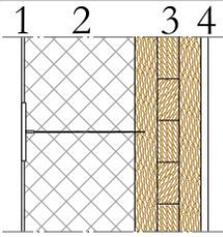
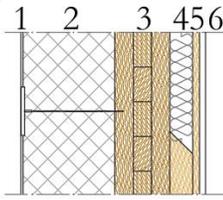
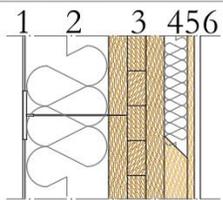
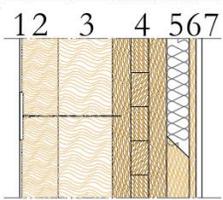
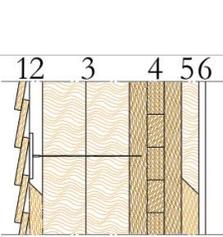
Bunun yanı sıra farklı ve yenilikçi CLT malzemelerin de geliştirildiği görülmektedir. Örneğin, ülkemizde 122O042 nolu TÜBİTAK 1001 AR-GE projesi ile geliştirilen P-CLT paneller, klasik CLT panellerin orta (çekirdek) katmanına EPS/XPS gibi polistren köpük yalıtım malzemesi entegre edilmesiyle oluşturulan hibrit bir panel çözümdür. Bu malzeme, CLT panel kalınlığını artırmadan ısı yalıtımını iyileştirme hedefiyle geliştirilmiştir. P-CLT'nin CLT'den temel farkı, tamamen ahşap çekirdek yerine polistren destekli bir çekirdek kullanmasıdır. Çalışmada P-CLT örneklerinin ısı iletkenlik değerlerinin standart CLT'ye kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir. Şekil 35'de P-CLT panelin müstakil bir konut ölçeğinde uygulaması yer almaktadır.



Şekil 35. P-CLT panel katmanları arasına eklenen köpük yalıtım malzemeleri dış duvarda uygulanması (Berry Wood & Stone, 2025).

Farklı çalışmalarda CLT'nin gözenekli yapısı sayesinde beton ve pişmiş toprak esaslı masif panellere göre daha iyi ısı yalıtımını sağlayabildiği; ısı geçirgenlik katsayısının (U-değeri) ise uygulamaya

bağlı olarak genellikle 0,103 ile 0,9 W/m²K aralığında değişebildiği de ifade edilmektedir. Şekil 36'da farklı CLT duvar sistemlerinin içerdiği malzeme katmanları ve U-değerleri görülmektedir. Ayrıca CLT panellerin yüksek hava geçirimsizliğinin enerji performansında belirleyici bir faktör olduğu vurgulanmaktadır (Akkan & Vural, 2022; Artun & Lakot Alemdağ, 2023).

	Katmanlar	U-Değeri (W/m ² K)
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sıva 2. EPS 3. CLT 4. Yangına dayanıklı alçı panel 	0,13
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sıva 2. EPS 3. CLT 4. Mineral yün+Ahşap çita 5. OSB 6. Yangına dayanıklı alçı panel 	0,11
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sıva 2. Mineral yün 3. CLT 4. Mineral yün+Ahşap çita 5. OSB 6. Yangına dayanıklı alçı panel 	0,13
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sıva 2. Ahşap esaslı yalıtım levhası 3. Hidrofobik ahşap esaslı yalıtım levhası 4. CLT 5. Mineral yün+Ahşap çita 6. OSB 7. Yangına dayanıklı alçı panel 	0,15
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ahşap kaplama ve havalandırma katmanı 2. Buhar geçirgen membran 3. Hidrofobik ahşap esaslı yalıtım levhası 4. CLT 5. Hidrofobik ahşap esaslı yalıtım levhası 6. Yangına dayanıklı alçı panel 	0,15

Şekil 36. CLT dış duvar elemanı farklı katman kombinasyonları ve değişen U-değeri (Akkan Çavdar & Lakot Alemdağ, 2025).

CLT binalarda enerji verimliliği üzerine yapılan bir çalışmada, tuğla binalara kıyasla yıllık toplam ısıtma yüklerinde %8 ile %16 arasında tasarruf sağlanabildiği; buna karşılık soğutma yüklerinde %13 ile %23 arasında artış gözlemlendiği aktarılmaktadır. Bu durumun, CLT binaların ısıyı içeride tutma eğilimi ile ilişkili olabileceği belirtilmektedir (Artun & Lakot Alemdağ, 2023).

Başka bir çalışmada ise; 20 cm kalınlığında, 5 katmandan oluşan ve ısıl iletkenliği 0,15 W/mK olan bir CLT duvar panelin U-değerinin 0,67 W/m²K olarak hesaplandığı rapor edilmiştir. Bu değer, mevcut geleneksel bir ahşap duvara (0,88 W/m²K) kıyasla daha iyi olmakla birlikte (%15,91 enerji tasarrufu), yalıtımlı sandviç ve çerçeve panellerin (0,13–0,26 W/m²K) gerisinde kalmaktadır (Akkan Çavdar & Vural, 2024). Bu kapsamsa, gerekli U-değerlerini yalnızca CLT kalınlığını artırarak karşılamanın ekonomik olmayabileceği; bu nedenle daha ince CLT panellerin yalıtımla desteklenmesinin daha uygun bir yaklaşım olduğu belirtilmektedir. Bu tür duvarlarda yalıtım malzemesi seçiminde, kenevir yünü ve koyun yünü gibi doğal yalıtım malzemeleri CLT ile uyumludur ancak sentetik yalıtımlara (XPS/EPS) kıyasla daha yüksek U-değerleri elde edilmektedir (Artun & Lakot Alemdağ, 2023). CLT duvarlarda yalıtım uygulamalarının etkinliğini değerlendirmek için birçok çalışma yapılmaya devam edilmektedir. Şekil 37’de CLT duvar paneline eklenmiş taş yünü ve selüloz yalıtım malzemelerinin, panelin U-değerini nasıl değiştirdiğini incelemek için yapılan bir test görülmektedir.



Şekil 37. Isıl iletkenlik değeri ölçüm cihazına yerleştirilen taş yünü ve selüloz yalıtımlı CLT panel duvar kesitleri (Artun & Lakot Alemdağ, 2023)..

Türkiye’nin beş farklı iklim bölgesi için CLT binaların enerji tüketimi (ısıtma-soğutma), gömülü karbon emisyonları ve maliyet parametrelerinin birlikte değerlendirildiği bir çalışma sonucunda ise; ısıtma ihtiyacının baskın olduğu soğuk (Erzurum) ve ılıman-nemli (Trabzon) bölgelerde, 12 cm CLT üzerine 20 cm EPS ve 5 cm taş yünü eklenerek oluşturulan, yüksek ısı yalıtımıyla maliyet dengesini bir arada sağlayan duvar çözümü en uygun seçenek olarak belirlenmiştir. Soğutma yüklerinin kritik olduğu sıcak-nemli (Antalya) ve sıcak-kuru (Diyarbakır) bölgelerde ise, yüksek ısıl kütle etkisiyle sıcaklık

geçişlerini dengeleyen çift katmanlı taş yünü yalıtımlı sistem (18 cm ana katman + 5 cm çıtalı katman) öne çıkmıştır. Isıtma ve soğutma gereksinimlerinin daha dengeli olduğu ılıman-kuru (Ankara) ikliminde ise, enerji verimliliği ile düşük karbon ayak izini en iyi dengeleyen 18 cm taş yünü ve 4 cm hidrofobik ahşap lifi levha kombinasyonu ideal çözüm olarak tespit edilmiştir (Çavdar & Lakot Alemdağ, 2025).

2.6 Nem, Dayanıklılık ve Uzun Ömürlülük

Nem yönetimi, CLT'nin uzun vadeli dayanıklılığı için kritik önemdedir; çünkü paneller nakliye, depolama veya inşaat sırasında neme maruz kaldıklarında önemli miktarda su emebilir ve yavaş kuruyabilir. Bu nedenle dış cephe tasarımının panelleri kuru tutmayı (örneğin drenajlı duvar sistemleri), dış hava bariyeri ile hava akışını kontrol etmeyi ve panelleri sıcak bölgede tutarak nem riskini azaltmak amacıyla dış tarafta yalıtım kullanmayı öncelemesi gerekmektedir. İnşaat sürecinde CLT'nin yağmur, kar ve ıslak zeminden korunması; ayrıca geçirimsiz membranlar uygulanmadan önce panelin kurummasına izin verilmesi önerilmektedir. Ahşabın higroskopik yapısı nedeniyle kullanım sürecinde boyut değişiklikleri tamamen ortadan kalkmasa da çapraz lamineleme düzlem içi hareketi azaltır; buna karşın panel kalınlığı boyunca belirli bir büzülme oluşabileceği ifade edilmektedir (Karacabeyli, & Douglas, 2013). Şekil 38'de, farklı ahşap türlerinin büzülme-şişme davranışlarının CLT' de katmanlar arası derz oluşumu üzerindeki etkisi örneklenmektedir. Buna göre, üretim sırasında katmanlar arasında boşluk bulunmamasına rağmen, türler arası toplam büzülme değerlerinin farklı olması nedeniyle nem içeriği değişimlerine bağlı olarak bazı katmanlarda daha büyük boyutsal değişimler meydana gelebilmekte ve bunun sonucunda yapıştırma hattı boyunca boşluk oluşumu ile gerilme düzeylerinde artış görülebilmektedir. Bu durum, CLT üretiminde tür seçiminin yalnızca mekanik özellikler açısından değil, aynı zamanda boyutsal kararlılık ve bağ hattı dayanımı açısından da kritik olduğunu göstermektedir.



Şekil 38.
Laboratuvar ortamında üretilen CLT numunelerinin kesitleri: (a) Akçaağaç-SPF-Akçaağaç, (b) SPF-SPF-SPF panelleri (Grandmont, Yeh & Dagebais, 2019).

Buna paralel olarak, CLT'nin naylon buhar bariyeri içermeyen ve difüzyona açık duvar montajlarına olanak tanıdığı; bunun da iç mekân neminin düzenlenmesine katkı sağlayabileceği bilinmektedir. Yüzey çatlaması ve derz açılma riskini azaltmak için paneller genellikle yaklaşık %10-15 nem oranı ile teslim edilirken; kullanım sürecinde

denge nem oranına ulaşılmakta, bazı doğal büzülme çatlakları görülmekte, ancak çapraz lamineleme genel nem hareketini önemli ölçüde sınırlamaktadır (Pfeifer Timber, 2025). Şekil 39’da, CLT yapı kabuğunda tespit edilen hava kaçağı oluşturan derzlerin sızdırmazlaştırılmasına yönelik uygulama örneği gösterilmektedir.



Şekil 39. CLT duvarlarda derzlerin sızdırmazlaştırılması (Janols, Brännström ve Helling, 2013).

Ahşabın higroskopik yapısı nedeniyle kullanım sırasında nem içeriği belirgin biçimde düşebilir (örneğin teslimatta yaklaşık %19 iken kullanımda yaklaşık %8’e inmesi) ve bu özellikle teğetsel yönde büzülmeye yol açabilir. Uzun vadeli dayanıklılık ve geometrik sürekliliği desteklemek amacıyla, binanın genel geometrisini koruyarak güvenilir yük transferi sağlayan çelik ara bağlantı elemanlarıyla bu doğal hareket dengelenmektedir (Walsh, 2023).

CLT’nin mantar ve termit gibi biyolojik tehditlere karşı korunması için uygulanan kimyasal işlemlerin (Bakır Azol ve bor bazlı maddeler) malzemenin ömrünü uzatabildiği; ancak mekanik özelliklerde zayıflamaya yol açabildiği de bilinmektedir. Bu kaybın, kimyasalların asidik/alkali yapısının ahşap polimerlerini (selüloz/hemiselüloz) bozması ve hücre duvarı yapısını değiştirmesi ile ilişkili olduğu ifade edilmektedir (Öztürk vd., 2025). Sarıçam (Scots pine) paneller üzerinde yapılan bir çalışmada; emprenye maddesi miktarı arttıkça CLT dayanımının düştüğü, koruyucu maddelerin kontrol grubuna göre eğilme dayanımını %35,8’e kadar azaltabildiği ve yüksek emprenye seviyelerinde rijitlikte %31’e varan kayıplar görülebildiği raporlanmıştır (Öztürk vd., 2025).

Toprak teması ve yüksek nem koşullarında CLT'nin biyolojik bozunma riski artmakta, bu nedenle uzun dönem dayanıklılık değerlendirmelerinde koruyucu işlem seçimi ile saha performansının birlikte ele alınması gerekmektedir. Koruyucu işlemler biyolojik direnci artırabilse de, koruyucu madde yüklemesi uygulama seviyesi arttıkça mekanik özelliklerde azalma eğilimi görülebilir; bu nedenle hedef, biyolojik dayanım ile mekanik performans arasında denge kuran optimum koruyucu madde seviyesini belirlemektir (Demir vd. 2025).

CLT yapılarında yüksek hava sızdırmazlık performansının sürdürülebilmesi için, özellikle duvar-çatı birleşimleri, açıklık kenarları ve kaplama geçişleri gibi kritik noktalarda hava bariyerinin kesintisiz biçimde devam etmesi gerekir. Bu amaçla dış yüzeyde kendinden yapışkanlı membranlar kullanılarak panel derzleri ve birleşimler örtülmekte; suyun kontrollü tahliyesi ve sızdırmazlığın sürekliliği için flashing elemanları, mastik uygulamaları ve bant çözümleri ile detaylar desteklenmektedir. Çatı düzleminde ise bu süreklilik, çatı membranı ile entegre edilerek yapı kabuğunda kesintisiz bir hava/su yönetimi katmanı oluşturulmaktadır (Karacabeyli, & Gagnon, 2019). Bu uygulamalara ilişkin örnek detaylar Şekil 40'da sunulmuştur.



Şekil 40. CLT duvar ve çatı panellerinin dış yüzeyinde hava bariyeri sürekliliği için uygulanan kendinden yapışkanlı membran, mastik, bant ve çatı membranı detaylarını gösteren fotoğraflar (Karacabeyli, & Gagnon, 2019).

2.7 Estetik ve Mimari Tasarım İlkeleri

CLT, hem yapısal performans hem de mimari esneklik sunan bir sistemdir. Panellerin uzun açıklıkları geçebilmesi ve CNC ile kesilmiş birleşim detaylarının sahada hızlı ve doğru montaja imkân tanınması, tasarım sürecinde önemli avantajlar sağlar. Üretim sırasında iyi nem kontrolünün yüzey çatlaklarını azaltarak görsel kaliteyi artırdığı;

yangın yönetmeliklerinin izin verdiği durumlarda ise panellerin iç mekânda estetik etkiyi güçlendirmek amacıyla açıkta bırakılabildiği de bilinmektedir. Ayrıca, gizli bağlantı elemanları daha temiz bir görünüm sağlarken, bazı durumlarda da yangın performansına katkı sunmaktadır (Karacabeyli, & Douglas, 2013; Karacabeyli, & Gagnon, 2019).

CLT konstrüksiyonun endüstriyel düzeyde hassasiyeti, bağlantıların yüksek doğrulukla detaylandırılmasına olanak tanıyarak kapı ve pencere çevresinde pervaz gibi ek süslemelere duyulan ihtiyacı azaltabilir. Özellikle Avusturya ve Almanya'daki çağdaş örneklerde, ahşabın iç mekânda görünür bırakılmasının yaygın bir tasarım tercihi olduğu; doğal doku ve malzeme karakterinin iç mekân kimliğine güçlü katkı sağladığı vurgulanmaktadır. Bununla birlikte, lamba zivana panel bağlantılarının görünür boşlukları azaltarak yalnızca estetik amaçlı kaplama şeritleri ihtiyacını daha da sınırlayabildiği görülmektedir (Rönnelid vd., 2013).

CLT zemin panellerinin alt yüzeyi, sıcak ve doğal bir iç mekân kaplaması oluşturmak ve ahşabı mimari bir özellik olarak öne çıkarmak amacıyla açıkta bırakılabilir. Hibrit CLT ve çelik çerçeve sistemlerinde düzenli duvar ızgarasının esnek planlamayı destekleyebildiği ve taşıyıcı/taşıyıcı olmayan bölmeler arasında görsel tutarlılık sağlayabildiği ifade edilmektedir (Walsh, 2023).

Şekil 41'de CLT yapı örneklerinde ahşabın cephe tasarımına iki farklı estetik yaklaşımla yansıtıldığı görülmektedir. Soldaki örnekte ahşap kaplama, yapı kütesini bütüncül bir "kabuk" gibi sararak daha sakin ve homojen bir dış görünüş oluştururken; sağdaki örnekte ahşap elemanlar çerçevesi/çaprazlı bir taşıyıcı dili çağrıştıracak biçimde cephede açıkça okunmakta, derinlik ve ritim etkisiyle daha dinamik bir ifade üretmektedir (Kariwood, 2025).



Şekil 41. Rusya'da yapılan 4 katlı CLT bina ve Amsterdam'da yer alan 7 katlı CLT binaların cephe örnekleri (Kariwood, 2025).

Bu mimari yaklaşımların uygulanabilirliği, yalnızca strüktürel çözüm ve detay tasarımıyla değil, aynı zamanda CLT panellerin yüzey kalitesiyle de doğrudan ilişkilidir. Özellikle panellerin iç mekânda veya cephede açıkta bırakıldığı uygulamalarda, renk homojenliği, budak/çatlak gibi doğal kusurların görünürlüğü ve işçilik izleri tasarlanan estetik etkiyi belirleyici hâle gelir. Bu nedenle üreticiler, kullanım amacına ve yüzeyin görünürlük düzeyine göre farklı kalite seviyeleri tanımlayarak tasarımcıya uygun seçim yapma olanağı sunmaktadır.

CLT yüzey kalitesi, üretici yaklaşımlarında genellikle üç görünüm seviyesinde tanımlanmaktadır. Endüstriyel Kalite (IQ), görsel görünümün kritik olmadığı ve öncelikle dayanıklılık/performans odaklı, kaplanacak paneller için öngörülür. Endüstriyel Görsel Kalite (ISQ), ticari yapılarda veya uzaktan görülen yüzeylerde, küçük renk farklılıklarının kabul edilebilir olduğu orta düzey estetik beklentilere karşılık gelir. Konut Görsel Kalitesi (WSQ) ise konutlarda açıkta kalan iç yüzeyler için en yüksek kaliteyi temsil eder; daha homojen bir görünüm, mavi leke gibi kusurların önlenmesi ve laminasyonların dikkatli seçilmesi gereklidir (Pfeifer Timber, 2025).

Kitabın bu bölümünde ele alınan yapısal, yangın, akustik, ısı ve dayanıklılık performanslarına ilişkin ilkeler, uluslararası uygulamalarda uzun süredir mevzuatlarla tanımlanmışken, Türkiye’de bu alandaki kapsamlı düzenleme ancak yakın dönemde yürürlüğe girmiştir. 24 Mart 2024 tarihli Resmî Gazete’de yayımlanan ve 1 Ocak 2025 itibarıyla yürürlüğe giren bu yönetmelik (Ahşap Binaların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik), ahşap yapı elemanları ve sistemlerinin tasarım, hesap ve yapımına yönelik yöntem, kural ve koşulları tanımlayarak sektördeki standartlaşma ihtiyacına yanıt vermektedir. Yönetmelik, güvenli tasarım ve uygulama çerçevesi sunmasıyla, yalnızca geleneksel ahşap sistemler için değil, mühendislik ürünü ahşap sistemlerin (CLT gibi) yaygınlaşması açısından da Türkiye’de ilk kez kapsamlı bir referans olmaktadır.

KAYNAKÇA

Abanoz, F. B., & Vural, N. (2023). Dünyada ve Türkiye’de kullanılan geçici afet konutlarının karşılaştırmalı analizi ve model önerisi. *EKSEN Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 4(1), 132-153.

Akkan, A., & Vural, N. (2022). Thermal, sound and fire performance properties of prefabricated facade panels with massive, sandwich and frame design concepts. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 7(1), 464-481.

Akkan Çavdar, A., & Vural, N. (2024). Analysis of the embodied and operational energy of wood-based prefabricated panels produced with different design concepts according to vernacular Baghdadi wall. *Journal of Polytechnic*, 27(4), 1491-1503.

Çavdar, A. A., & Lakot Alemdağ, E. (2025). Multi-criteria optimization of cross-laminated timber (CLT) wall systems for energy, carbon, and cost performance: a case study for Türkiye’s climate zones. *Wood Material Science & Engineering*, 1–24. <https://doi.org/10.1080/17480272.2025.2598032>

Amin, Y., Adji, R., Lubis, M., Nugroho, N., Bahtiar, E., Dwianto, W., ... & Karlinasari, L. (2023). Effect of Glue Spread on Bonding Strength, Delamination, and Wood Failure of Jabon Wood-Based Cross-Laminated Timber Using Cold-Setting Melamine-Based Adhesive. *Polymers*, 15(10), 2349.

Artun, H., & Alemdağ, E. L. (2023). The Effect of Cross-Laminated Timber (CLT) Material on Building Heating-Cooling Loads in a Temperate Humid Climate Zone. *Gazi University Journal of Science Part B: Art Humanities Design and Planning*, 11(1), 47-60.

Bai, X., Wang, K., & Hui, W. (2005). Research on the classification of wood texture based on gray level co-occurrence matrix. *Journal of Harbin Institute of Technology*, 37(12), 1667–1670.

Baskara, M., Hadi, Y., Lubis, M., Maulana, M., Sari, R., Febrianto, F., ... & Hidayat, W. (2023). Characteristics of Polyurethane Cross-Laminated Timber Made from a Combination of Pine and Coconut. *Jurnal Sylva Lestari*, 11(2), 270-293.

Bekhta, P., Sedliačik, J., & Bekhta, N. (2020). Effects of Selected Parameters on the Bonding Quality and Temperature Evolution Inside Plywood During Pressing. *Polymers*, 12(5), 1035.

Berry Wood & Stone. (2025). Berry P-CLT. <https://berryclt.com/product/p-clt/> [Erişim Tarihi: 14 Aralık 2025].

Birinci, A. U., Öztürk, H., & Demir, A. (2021). Yerli ağaç türlerinden üretilen CLT duvarların yanal yük altındaki performansı. *Turkish Journal of Forestry*, 22(3), 318-322.

Birinci, A. U., İlhan, O., Demir, A., & Demirkır, C. (2024). Yapay Sinir Ağları (YSA) Kullanılarak CLT Perde Duvarların Yanal Yük Altındaki Rijitliklerinin Kereste Direnç Sınıflarına Göre Tahmin Edilmesi. *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi*, 20(1), 288-307.

Birinci, A. U., Öztürk, H., Demir, A., İlhan, O., Gezer, E. D., & Demirkır, C. (2025). Determining the effects of timber strength and wood species on the mechanical properties of CLT using non-destructive and destructive methods. *Nondestructive Testing and Evaluation*, 40(7), 2934-2949.

Breyer, D. E., Fridley, K. J., & Cobeen, K. (1999). *Design of wood structures ASD (No. Ed. 4)*. McGraw-Hill Inc..

Brown, N. and Parkin, R. (1999). Improving wood surface form by modification of the rotary machining process—a mechatronic approach. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B Journal of Engineering Manufacture*, 213(3), 247-260.

Cherry, R., Manalo, A., Karunasena, W., & Stringer, G. (2019). Out-of-grade sawn pine: A state-of-the-art review on challenges and new opportunities in cross laminated timber (CLT). *Construction and Building Materials*, 211, 858–868.

Concu, G., Nicolo, B., Fragiaco, M., Trulli, N., & Valdés, M. (2018). Grading of maritime pine from Sardinia (Italy) for use in cross-laminated timber. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Construction Materials*, 171(1), 11-21.

Crawley, N. (2021). *Cross Laminated Timber: A design stage primer*. RIBA Publishing, London.

Cree Buildings. (2015). *Cree by rhomberg | timelapse LTC1 UK*.

<https://www.youtube.com/watch?v=ZOaSZTNAjRw> [Erişim Tarihi: 14 Aralık 2025].

Demir, A., Öztürk, H., İlhan, O., Birinci, A. U., Demirkır, C., & Gezer, E. D. (2025). Enhancing the durability of cross-laminated timber (CLT) with boron treatment in ground-contact conditions. *Wood Material Science & Engineering*, 1-14. (DOI: 10.1080/17480272.2025.2493710)

Feio, A., & Machado, J. S. (2015). In-situ assessment of timber structural members: Combining information from visual strength grading and NDT/SDT methods—A review. *Construction and Building Materials*, 101, 1157–1165.

Finch, G., & Wang, J. (2019). Building enclosure design of cross-laminated timber construction, *CLT Handbook: Cross-Laminated Timber* (Ed. Karacabeyli, E. & Gagnon, S.), Canada Edition.

Fortuna, B., Azinović, B., Plos, M., Šuligoj, T., & Turk, G. (2020). Tension strength capacity of finger joined beech lamellas. *European Journal of Wood and Wood Products*, 78(5), 985-994.

Gao, Z., & Gong, M. (2022). Strand-Based Engineered Wood. *Engineered wood products for construction*, 20, 63.

Gašparík, M., Das, S., Kytka, T., Karami, E., Bahmani, M., & Sviták, M. (2024). Bonding Characteristics of CLT Made from Silver Birch (*Betula pendula* Roth.), European Aspen (*Populus tremula* L.) and Norway Spruce (*Picea abies* (L.) H. Karst.) Wood. *Forests*, 15(9), 1656.

Gong, Y., Wu, G., & Ren, H. (2016). Block Shear Strength and Delamination of Cross-Laminated Timber Fabricated with Japanese Larch. *Bioresources*, 11(4).

Grandmont, J. F., Yeh, B., & Dagenais, C. (2019). Cross-laminated timber manufacturing, *CLT Handbook: Cross-Laminated Timber* (Ed. Karacabeyli, E. & Gagnon, S.), Canada Edition.

Greenspec. (2016). Crosslam timber / CLT - A brief history. <http://www.greenspec.co.uk/building-design/crosslam-timber-history-and-production/> [Erişim Tarihi: 14 Aralık 2025].

Gul, W., Khan, A., & Shakoor, A. (2017). Impact of Hot Pressing Temperature on Medium Density Fiberboard (MDF) Performance. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2017, 1-6.

Hamid, N., Ahmad, M., Suratman, M., Azhar, M., & Rosli, N. (2013). Adhesive Bonding Strength and Adhesive Penetration of Two

Malaysian Medium Hardwoods. *Advanced Materials Research*, 748, 170-174.

Hazır, E. and Koç, K. (2020). Evaluation of wood-based coating performance for ultraviolet roller and conventional air-atomization processes. *Maderas Ciencia Y Tecnología*, 23.

He, T., Liu, Y., Xu, C., Zhou, X., Hu, Z., & Fan, J. (2019). A fully convolutional neural network for wood defect location and identification. *IEEE Access*, 7, 123453–123462.

Hovanec, D. (2015). Effect of Wood Characteristics on Adhesive Bond Quality of Yellow-Poplar for Use in Cross-Laminated Timbers. Master Thesis, Morgantown, West Virginia, West Virginia University.

Huang, Y., Chuchała, D., Buck, D., Orłowski, K., Fredriksson, M., & Svensson, M. (2024). Analysis of the relationship between cutting forces and local structural properties of Scots pine wood aided by computed tomography. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 135(9-10), 4975-4987.

ICE. (2019). *Embodied Carbon - The ICE Database V3.0*. <https://circularecology.com/embodied-carbon-footprint-database.html> [Erişim Tarihi: 14 Aralık 2025].

IKEO Group. (2025). Sustainable CLT. <http://www.ikeogroup.com/sustainable-clt.html> [Erişim Tarihi: 14 Aralık 2025].

Janols, H., Rönnelid, M., Wik, T., Brännström, M., Helling, H., & Lövenvik, T. (2013). *Passive cross laminated timber buildings* (Final report, CERBOF project no. 76; Report No. ISRN DU-SERC--104--SE). Dalarna University.

Kallesoe Machinery. (2025). State-of-the-art press line for CLT. <https://kallesoemachinery.com/press-lines/clt-press-lines/clt-press-line/> [Erişim Tarihi: 14 Aralık 2025].

Karacabeyli, E., & Douglas, B. (2013). *CLT Handbook: Cross Laminated Timber*. U.S. Edition, New York.

Karacabeyli, E., & Gagnon, S. (2019). *CLT Handbook: Cross-Laminated Timber*, Canada Edition.

KLH. (2025). References & Inspirations. <https://www.klh.at/en/references/> [Erişim Tarihi: 14 Aralık 2025].

Klosinska, T. (2021). American tulipwood (*Liriodendron tulipifera* L.) as an innovative material in CLT technology. *Annals of Wuls Forestry and Wood Technology*, 115, 18-28.

Knorz, M., Neuhaeuser, E., Torno, S., & Kuilen, J. (2015). Influence of surface preparation methods on moisture-related performance of structural hardwood–adhesive bonds. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 57, 40-48.

Kurt, R. and Çil, M. (2012). Effects of press pressure on glue line thickness and properties of laminated veneer lumber glued with melamine urea formaldehyde adhesive. *Bioresources*, 7(3), 4341-4349.

Lakot Alemdağ, E., Tandoğan, G., & Artun, H. (2021). Energy efficiency In cross laminated timber (Clt) buildings. In: Murat DAL, ed. *Architectural sciences and technology*. Lyon, France: Livre de Lyon, 247–267.

Le, S., Nguyen, T., Bui, D., Ha, Q., & Ngo, T. (2023). Modelling and Multi-Objective Optimisation of Finger Joints: Improving Flexural Performance and Minimising Wood Waste. *Buildings*, 13(5), 1186.

Lee, I. and Kim, K. (2021). Influence of adhesive and layer composition on compressive strength of mixed cross-laminated timber. *Bioresources*, 16(4), 7461-7473.

Leggate, W., McGavin, R., Outhwaite, A., Kumar, C., Faircloth, A., & Knackstedt, M. (2020). Influence of mechanical surface preparation methods on the bonding of southern pine and spotted gum: Tensile shear strength of lap joints. *Bioresources*, 16(1), 46-61.

Longuetaud, F., Mothe, F., Fournier, M., Dlouha, J., & Santenoise, P. (2012). Within-stem variation in wood density and mechanical properties of beech. *Annals of Forest Science*, 69, 341–352. <https://doi.org/10.1007/s13595-011-0160-5>

Lukacevic, M., Eberhardsteiner, J., & Lechner, T. (2019). Numerical analysis of inhomogeneous bending of layered timber beams. *Engineering Structures*, 193, 162–174.

Mahram, A. A. (2012). *Machine grading of structural timber: European and North American standards*, Doctoral dissertation, University of British Columbia.

Markó, G., Bejő, L., & Takáts, P. (2015). The applicability of I-214 hybrid poplar as Cross-Laminated Timber raw material. *Wood Science = Faipar*, 63(2), 36-41.

Morris, A. H. M. (2021). Ermine Street Church Academy. https://www.ahmm.co.uk/assets/pdf/211010_Ermine%20Street%20Church%20Academy_Info%20Pack_LR3.pdf [Erişim Tarihi: 14 Aralık 2025].

Mumtaz, J., Li, Z., Imran, M., Yue, L., Jahanzaib, M., Sarfraz, S., ... & Afzal, K. (2019). Multi-objective optimisation for minimum quantity lubrication assisted milling process based on hybrid response surface methodology and multi-objective genetic algorithm. *Advances in Mechanical Engineering*, 11(4).

Nocetti, M., Pröller, M., Brunetti, M., Dowse, G., & Wessels, C. (2017). Investigating the potential of strength grading green Eucalyptus grandis lumber using multi-sensor technology. *Bioresources*, 12(4), 9273-9286.

O'Ceallaigh, C., Sikora, K., & Harte, A. (2018). The Influence of Panel Lay-Up on the Characteristic Bending and Rolling Shear Strength of CLT. *Buildings*, 8(9), 114.

Ogun, P., Jackson, M., & Parkin, R. (2013). Mechatronic approach towards surface quality improvement in rotary wood machining. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B Journal of Engineering Manufacture*, 227(9), 1266-1276.

Öztürk, H., Demir, A., Birinci, A. U., İlhan, O., Çakmak, A., Demirkır, C., & Gezer, E. D. (2025). Impact of preservative impregnation on wettability, surface free energy, and adhesive bonding of Scots pine CLT. *The Journal of Adhesion*, 1-24.

Öztürk, H., Demir, A., Birinci, A. U., İlhan, O., Demirkır, C., & Gezer, E. D. (2025). Durability and mechanical performance of copper azole-treated cross-laminated timber (CLT) in-ground-contact exposure for 6 months. *Wood Material Science & Engineering*, 1-14. (DOI: 10.1080/17480272.2025.2506728)

Pang, H., Ma, C., Shen, Y., Yi, S., Li, J., Zhang, S., ... & Huang, Z. (2021). Novel Bionic Soy Protein-Based Adhesive with Excellent

Prepressing Adhesion, Flame Retardancy, and Mildew Resistance. *Acs Applied Materials & Interfaces*, 13(32), 38732-38744.

Pereira, M., Neto, C., Icimoto, F., & Calil, C. (2016). Evaluation of Tensile Strength of a Eucalyptus grandis and Eucalyptus urophylla Hybrid in Wood Beams Bonded Together by Means of Finger Joints and Polyurethane-Based Glue. *Materials Research*, 19(6), 1270-1275.

Pfeifer Timber. (2025). *CLT: Cross Laminated Timber*. UK. https://www.pfeifergroup.com/uploads/tx_bh/4522/pfeifer-clt-image-eng.pdf?mod=1741605316 [Erişim Tarihi: 14 Aralık 2025].

Rabidin, Z., Seng, G., & Wahab, M. (2017). Characteristics of Timbers Dried Using Kiln Drying and Radio Frequency-Vacuum Drying Systems. *Matec Web of Conferences*, 108, 10001.

Rahimi, S., Nasir, V., Avramidis, S., & Sassani, F. (2021). Wood moisture monitoring and classification in kiln-dried timber. *Structural Control and Health Monitoring*, 29(4).

Rahimi, S., Nasir, V., Avramidis, S., & Sassani, F. (2023). The Role of Drying Schedule and Conditioning in Moisture Uniformity in Wood: A Machine Learning Approach. *Polymers*, 15(4), 792.

Reddy, Y. and Rani, S. (2017). Modelling and Optimization of Tool Life Parameters in Milling of E-Glass/Epoxy Composite Material. *International Journal of Engineering Research And*, 6(04).

Rowell, R. M. (Ed.). (2012). *Handbook of wood chemistry and wood composites*. CRC press.

Rönnelid, M., Wik, T., Janols, H., Brännström, M., Helling, H., & Lövenvik, T. (2013). *Passive crosslaminated timber buildings: Final report*, Cerbof-project no. 76, Högskolan, Dalarna.

Ruz, G. A., Estévez, P. A., & Ramírez, P. A. (2009). Automated visual inspection system for wood defect classification using computational intelligence techniques. *International Journal of Systems Science*, 40(2), 163–172.

Spulle, U., Meija, A., Kūliņš, L., Kopeika, E., Liepa, K., Šillers, H., ... & Zudrags, K. (2021). Influence of hot pressing technological parameters on plywood bending properties. *Bioresources*, 16(4), 7550-7561.

Stora Enso. (2017). The future of Timber Construction CLT – Cross Laminated Timber. <https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/product-specifications/wood-products/clt-technical/stora-enso-the-future-of-timber-construction-en.pdf> [Erişim Tarihi: 14 Aralık 2025].

Stora Enso. (2025). Project listings. https://references.buildingsolutions.storaenso.com/en?filters=serl_product_type:CLT [Erişim Tarihi: 14 Aralık 2025].

Şanlı, E., & Vural, N. (2021). Çapraz Lamine Ahşap (CLT) Yapı Malzemesinin Strüktürel Açından Değerlendirilmesi. *Yapı Dergisi*, 467, 50-57.

Tandoğan Kibar, G., & Lakot Alemdağ, E. (2023). Strength of connection profiles used in cross-laminated timber walls under seismic load. *Journal of Structural Engineering & Applied Mechanics (Online)*, 6(1).

Terziev, N. & Daniel, G. (2002). Industrial Kiln Drying and Its Effect on Microstructure, Impregnation and Properties of Scots Pine Timber Impregnated for Above Ground Use. Part 1. Effects of Initial, Final Drying and Preservative on Impregnation and Timber Quality. *Holzforschung*, 56(4), 443-439.

Timber Tools. (2025). Essetre Techno Wall. <https://www.timbertools.com/Essetre-CNC-Woodworking-Techno-Wall.html> [Erişim Tarihi: 14 Aralık 2025].

Time, B., Andenæs, E., Karlsen, T., Geving, S., & Kvande, T. (2023). Moisture safety strategy for construction of CLT structures in a coastal Nordic climate. *Journal of Physics Conference Series*, 2654(1), 012041.

Tonyalı, Z., Lakot Alemdağ, E. & Tandoğan Kibar, G. (2024). Evaluation of seismic response of the Cross- Laminated Timber (CLT) multi-storey residential building under the February 6, 2023, Kahramanmaraş Earthquakes. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 9 (Special Issue), 41-63.

Triwibowo, D., Sejati, P., Gopar, M., Sudarmanto, S., Akbar, F., Purnomo, D., ... & Dwianto, W. (2020). Karakteristik Cross Laminated Timber (CLT) dari Kayu Jati Platinum Hasil Penjarangan dan Limbah Batang Kelapa Sawit (Characteristic of Cross Laminated Timber (CLT)

from Thinned Platinum Teak and Oil Palm Stem Waste). *Jurnal Sylva Lestari*, 8(3), 340-350.

Valchev, I., Savov, V., Yordanov, I., Petrin, S., & Antov, P. (2024). Effect of Hot-Pressing Temperature on the Properties of Eco-Friendly Fiberboard Panels Bonded with Hydrolysis Lignin and Phenol-Formaldehyde Resin. *Polymers*, 16(8), 1059.

Vaz, M., Zdanski, P., Cerqueira, R., & Possamai, D. (2013). Conjugated Heat and Mass Transfer in Convective Drying in Compact Wood Kilns: A System Approach. *Advances in Mechanical Engineering*, 5.

Volpato, N. and Amorim, J. (2011). A procedure for dealing with milling limitations in machined prototype tooling. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B Journal of Engineering Manufacture*, 225(12), 2163-2176.

Walsh, K. (2023). *Vienna House Cross-Laminated Timber and Cold-Formed Steel Suitability Assessment*, SCIUS Advisory, Canada.

Wang, S., To, S., Cheung, C., & Lee, W. (2007). A Study of the Scallop Generation Mechanism in Ultra-Precision Raster Milling. *Key Engineering Materials*, 364-366, 1262-1267.

Wang, X., Ross, R.J., McClellan, M., Barbour, R. J., Erickson, J. R., Forsman, J. W., & McGinnis, G. D. (2009). Nondestructive evaluation of wood quality. *Forest Products Journal*, 59(1-2), 6-14.

Wang, Y., Zhang, W., Gao, R., Jin, Z., & Wang, X. (2021). Recent advances in the application of deep learning methods to forestry. *Wood Science and Technology*, 55(5), 1171-1202.

Wang, D., Chen, M., Gong, M., & Cheng, Z. (2023). Effects of panel direction, load level and ambient humidity on the creep of downscaled cross-laminated timber. *Proceedings of the 13th World Conference on Timber Engineering, Oslo, Norway*, 521-528.

Wood Works. (2025). CLT on Cold-Formed Steel Stud Bearing Walls: Engineering Tips for Hybrid Construction. <https://www.woodworks.org/resources/clt-on-cold-formed-steel-stud-bearing-walls/> [Erişim Tarihi: 14 Aralık 2025].

Wu, G., Lang, Q., Song, S., & Pu, J. (2011). Impregnation and Drying Schedule of Eucalyptus Wood. *Applied Mechanics and Materials*, 71-78, 860-863.

Yadav, R., & Kumar, J. (2021). "Engineered wood products as a sustainable construction material: A review." *Engineered Wood Products for Construction* (Ed. Gong, M.), IntechOpen.

Yılmaz, S. (2020). Doğu Karadeniz Bölgesi Kırsal Turizm Tesisleri İçin Yapım Sistemi Önerisi: Yapay Çentikli Ahşap-Beton Kompozit Sistem. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Yılmaz, S., Vural, N., & Baş, G. Y. (2020). Doğu karadeniz bölgesi kırsal turizm tesisleri için yapım sistemi önerisi: Yapay çentikli ahşap-beton kompozit sistem. *PLANARCH-Design and Planning Research*, 8(1), 46-57.

Yılmaz, S., Demir, S., & Vural, N. (2021). Experimental investigation of a prefabricated timber-concrete composite floor structure: Notched-slab approach. *Advances in concrete construction*, 12(1), 13-23.

Yılmaz, S., Karahasan, O. Ş., Altunışık, A. C., Vural, N., & Demir, S. (2022). A new type notched slab approach for timber-concrete composite construction: Experimental and numerical investigation. *Structural Engineering and Mechanics, An Int'l Journal*, 81(6), 737-750.

Zelinka, S. L., Hasburgh, L. E., Bourne, K. J., Tucholski, D. R., & Ouellette, J. P. (2018). Compartment fire testing of a two-story cross laminated timber (CLT) building. *General Technical Report FPL-GTR-247. Madison, WI: US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.*

Zhang, Z., Xing, B., Wang, J., Cao, H., & Li, S. (2017). Fractal Characterization Analysis in CNC Milling Aluminium Alloy. *Key Engineering Materials*, 748, 212-217.

Żenkiewicz, M. (2004). Influence of electron radiation on adhesion of some polymer films to acrylic adhesives. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 24(3), 259-262.

BÖLÜM 3

CLT Yapı Örnekleri

3.1. Dünya Genelinde CLT Yapılar

Bu bölümde, çapraz lamine ahşabın farklı yapı tipolojilerindeki kullanım biçimini ortaya koyan, dünya genelinden seçilmiş 20 nitelikli örnek ele alınmaktadır. Seçilen yapılar; konut, eğitim, kültür, ofis ve karma kullanım gibi farklı işlevleri kapsamakta olup düşük katlı yapılardan çok katlı ve yüksek yapı ölçeklerine kadar uzanmaktadır. Bu örneklerde, CLT'nin erken dönem uygulamalarından başlayarak taşıyıcı sistemlerin olgunlaşması, prefabrikasyon süreçlerinin gelişmesi, yangın ve akustik performans çözümlerinin çeşitlenmesi ve hibrit sistemlerle birlikte kullanımına kadar uzanan süreç detaylı bir şekilde ele alınmaktadır. Bu yapılar, CLT'nin yalnızca sürdürülebilir bir yapı malzemesi olarak değil; yapım hızı, yapısal dayanım ve mekânsal esneklik açısından da çağdaş mimarlık pratiğinde güçlü bir alternatif hâline geldiğini göstermektedir. Bölüm kapsamında sunulan her bir örnek, CLT'nin güncel yapı sektöründeki konumunu, kullanım potansiyelini ve avantajlarını somut verilerle ortaya koymaktadır.

Örnek Binalar

1. Murray Grove (Stadthaus)
2. Holz 8 CLT House
3. Via Cenni Housing
4. Limnologen Housing
5. HoHo Wien
6. Brock Commons Tallwood House
7. Treet (The Tree) Building
8. Cederhusen Housing
9. Adohi Hall
10. Wood Innovation and Design Centre
11. West Buckland School
12. William Perkin Church of England High School
13. Northern Lights College Trades Training Centre
14. Dalston Works
15. Gare Maritime
16. Sara Cultural Centre
17. LCT ONE (Life Cycle Tower ONE)
18. Forte Apartments
19. CLT House
20. Mjøsa Tower (Mjøstårnet)

1. MURRAY GROVE (STADTHAUS)



Şekil 1 https://waughthistleton.com/media/murray-grove/tl_1-285-1.jpg



Şekil 2 <https://ecosistemaurbano.org/castellano/torre-de-viviendas-de-madera-stadthaus-murray-grove/>



Şekil 34 <https://www.dezeen.com/2023/03/10/murray-grove-stadthaus-waughthistleton-timber-revolution/>

- **Yapı Adı:** Murray Grove – Stadthaus
- **Yapı Türü:** Konut yapısı (sosyal konut)
- **Konum:** Londra, Birleşik Krallık
- **Mimar:** Waugh Thistleton Architects
- **Yapım Yılı:** 2009
- **Kat Sayısı:** 9 kat
- **Toplam Alan:** ~4.800 m²
- **Konut Sayısı:** 29 daire
- **Taşıyıcı Sistem:** Tamamen CLT taşıyıcı panel
- **Ödüller:** Wood Awards 2008, Timber in Construction Awards 2008, Timber Journal Awards 2008

Murray Grove (Stadthaus), çapraz lamine ahşabın çok katlı yapı ölçeğinde ilk kez tam taşıyıcı sistem olarak kullanıldığı, CLT literatüründe tarihsel bir dönüm noktası kabul edilen öncü bir konut yapısıdır. Yapı, betonarme veya çelik üst yapı elemanları olmaksızın, tamamen CLT panellerle inşa edilmiştir. Bu yönüyle Murray Grove, CLT'nin yalnızca düşük katlı veya deneysel yapılarda değil, çok katlı kentsel konutlarda da güvenle uygulanabileceğini ilk kez somut biçimde ortaya koymuştur.

Yapının taşıyıcı sistemi; CLT taşıyıcı duvarlar, CLT döşeme panelleri ve CLT merdiven–asansör çekirdekleri üzerinden kurgulanmıştır. Betonarme yalnızca temel seviyesinde kullanılmış, üst yapı bütünüyle CLT panellerden oluşturulmuştur. Düşey yükler, CLT taşıyıcı duvarlar aracılığıyla temellere aktarılırken; rüzgâr etkisi gibi yatay yükler de yine CLT perde duvarlar tarafından karşılanmıştır. Projede kullanılan CLT paneller, Avusturya menşeli paneller olup, ağırlıklı olarak 5 katmanlı CLT elemanlardan oluşmaktadır. Döşeme panellerinin kalınlıkları yaklaşık 120–140 mm, taşıyıcı duvar panellerinin kalınlıkları ise 100–120 mm aralığındadır. Merdiven ve shaft çevrelerinde, rijitliği artırmak amacıyla daha kalın CLT paneller tercih edilmiştir. Tipik döşeme açıklıkları yaklaşık 3,5–5,0 m aralığındadır. CLT paneller arası birleşimler; çelik köşebentler, gömülü çelik plakalar ve kendinden dış açan vidalar ile sağlanmıştır. Duvar panellerinin katlar boyunca üst üste bindirilmesiyle düşey süreklilik elde edilmiştir. Döşeme–duvar birleşimleri, yatay yük aktarımını mümkün kılacak şekilde detaylandırılmıştır.

Murray Grove projesinde CLT panellerin büyük bölümü açıkta bırakılmıştır. CLT panellerin yangın sırasında kontrollü kömürleşme davranışından yararlanılarak yangın sırasında yüzeyin belirli bir kalınlığa kadar yanmasına izin verilmiş ancak taşıyıcı kesitin dayanımı korunmuştur. Bu strateji sayesinde ek alçıpan kaplamalara ihtiyaç

duyulmadan, yaklaşık 90 dakikaya varan yangın dayanımı sağlanabilmiştir. Murray Grove, CLT'nin yangın performansına ilişkin önyargıların kırılmasında belirleyici bir rol oynamıştır. Akustik performans açısından da katlar arası darbe sesi, CLT döşeme + yüzer şap + akustik ara katman kombinasyonu ile kontrol altına alınmıştır. İç mekandaki sesler için ise çift katmanlı iç duvar çözümleri uygulanmıştır. Bu sistemler sayesinde, ahşap taşıyıcı sistemlere yönelik “gürültülü yapı” algısının geçerli olmadığı, konut standartlarına uygun akustik performansın sağlanabildiği gösterilmiştir.

Yapım süreci, yüksek düzeyde prefabrikasyon esasına dayanmaktadır. Tüm CLT paneller fabrikada CNC kesimle üretilmiş; kapı, pencere ve tesisat boşlukları önceden açılmıştır. Şantiyede bir katın montajı 1–2 gün içinde tamamlanmış; tüm üst yapı yaklaşık 9 haftada inşa edilmiştir. Bu süre, aynı ölçekte bir betonarme yapı ile kıyaslandığında önemli bir zaman avantajı sağlamış ve CLT'nin hızlı inşaat potansiyelini erken dönemde ortaya koymuştur.

KAYNAKÇA

- Waugh Thistleton Architects. (n.d.). Stadthaus, Murray Grove, London. <https://waughthistleton.com>
- ArchDaily. (2009). Stadthaus / Waugh Thistleton Architects. <https://www.archdaily.com>
- Ecosistema Urbano. (2009, May 8). Stadthaus Murray Grove. <https://ecosistemaurbano.org/castellano/torre-de-viviendas-de-madera-stadthaus-murray-grove/>
- KLH UK. (n.d.). Stadthaus Murray Grove – Cross-laminated timber housing. <https://www.klhuk.com>
- Techniker Ltd. (n.d.). Structural engineering case study: Stadthaus Murray Grove. <https://www.techniker.co.uk>
- Timber in Construction. (2008). Timber in Construction Awards-Stadthaus, Murray Grove. <https://www.timcon.org.uk>
- Wood Awards. (2008). Wood Awards Winners – Stadthaus Murray Grove. <https://woodawards.com>
- Timber Journal. (2008). Timber Journal Awards – Stadthaus Murray Grove. <https://www.timberjournal.com>
- TRADA Technology. (n.d.). Case study: Stadthaus Murray Grove – Multi-storey timber housing. <https://www.trada.co.uk>

2. HOLZ 8 CLT HOUSE



Şekil 1 <https://www.binderholz.com/en-us/mass-timber-solutions/8-storey-wooden-building-bad-aibling>

Şekil 2 <https://www.byak.de/planen-und-bauen/projekt/holz-8-acht-stoekiges-holzhaus-bad-aibling-1.html>



Şekil 3 <https://www.binderholz.com/en-us/mass-timber-solutions/8-storey-wooden-building-bad-aibling>

Şekil 4 <https://www.byak.de/planen-und-bauen/projekt/holz-8-acht-stoekiges-holzhaus-bad-aibling-1.html>



Şekil 5 <https://www.archiweb.cz/en/n/press/nejvyssi-drevena-budova-v-nemecku-uz-meri-25-metru>

Şekil 6-7 <https://www.byak.de/planen-und-bauen/projekt/holz-8-acht-stoekiges-holzhaus-bad-aibling-1.html>

- **Yapı Adı:** Holz 8 CLTHuse
- **Yapı Türü:** Çok katlı konut + ofis
- **Konum:** Bad Aibling, Bavyera, Almanya
- **Yükseklik:** ~25 m
- **Kat Sayısı:** 8
- **Yatırımcı:** B&O Gruppe
- **Mimar:** SCHANKULA – Architekten / Diplomingenieur
- **Ahşap Yapı / CLT Üretimi:** Huber & Sohn GmbH & Co. KG
- **Yapım Yılı:** 2011
- **Toplam Maliyet:** ~2.5 milyon €

Bad Aibling’de inşa edilen sekiz katlı ahşap yapı, tamamlandığı dönemde Almanya’nın en yüksek ahşap binası olarak kabul edilmiş ve çok katlı CLT yapılaşması açısından ülke ölçeğinde önemli bir eşik proje niteliği kazanmıştır. Yaklaşık 25 metre yüksekliğe sahip yapı, eski bir Amerikan hava üssü arazisinin sıfır-enerji hedefli kentsel dönüşüm süreci kapsamında geliştirilmiştir. Bu proje konut ve ofis işlevlerini bir arada barındıran yeni nesil bir ahşap yapı yaklaşımını temsil etmiştir.

Yapının taşıyıcı sistemi büyük ölçüde masif ahşap ve çapraz lamine ahşap elemanlara dayanmaktadır. Betonarme yalnızca merdiven çekirdeğinde, yangın güvenliği ve kaçış organizasyonu gerekçesiyle kullanılmıştır. Düşey yükler, katlar boyunca süreklilik gösteren CLT taşıyıcı dış ve iç duvarlar aracılığıyla zemine aktarılmaktadır. Yapı rijitliği, taşıyıcı duvar sürekliliği ve döşeme–duvar bütünlüğü ile sağlanmıştır. Kat döşemelerinde 197 mm kalınlığındaki CLT panellerin üzerinde darbe sesi yalıtımı, hızlı prizli şap, çimento şap ve parke kaplama katmanları yer almaktadır. Bu çok katmanlı kurgu, hem akustik konforun sağlanmasına hem de konut kullanımına uygun titreşim kontrolünün elde edilmesine olanak tanımaktadır. Çatı sistemi de benzer şekilde CLT panellerden oluşmaktadır. Burada panel kalınlığı yaklaşık 147 mm’ye düşürülerek yük optimizasyonu sağlanmaktadır. Çatı üzerinde eğimli ısı yalıtımı, su yalıtımı ve balast tabakası yer almaktadır.

Yapının en ayırt edici teknik özelliklerinden biri, katlara göre farklılaştırılmış yangın güvenliği stratejisidir. Zemin kat ve birinci katta taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan tüm CLT duvarlar alçıpan ile tamamen kapatılarak K2 60 yangın sınıfı sağlanmıştır. Aynı katlarda döşemeler de alçıpan kaplama ile korunmuş; böylece REI 90 yangın dayanımı elde edilmiştir. İkinci kattan altıncı kata kadar olan katlarda CLT duvarlar fiber cement levhalar ile kaplanmıştır. Bu katmanlar hem yangın dayanımı hem de akustik performans açısından ek güvenlik sağlamıştır. Bu seviyelerde döşemelerin bir bölümü kısmen açıkta bırakılmış ve

CLT'nin hesaplanmış kömürleşme davranışı üzerinden, ek kaplama olmaksızın REI 90 yangın dayanımı elde edilmiştir.

Cephe sisteminde CLT taşıyıcı duvarların önünde yaklaşık 240 mm kalınlığında taş yünü ısı yalıtımı ve fiber cement kaplamalar kullanılmıştır. Bu cephe kurgusu, hem yangın güvenliği hem de ısı ve ses yalıtımı açısından yüksek performans sağlamaktadır. Yapının yıllık ısıtma enerjisi tüketiminin yaklaşık 17,2 kWh/m²a seviyesinde olması, binanın pasif yapı standartlarına oldukça yaklaştığını ortaya koymaktadır. Yapının özgül ısıtma enerjisi ihtiyacı yaklaşık 23 kWh/m²a seviyesinde olup, gelişmiş bina kabuğu ve ısı geri kazanımlı havalandırma sistemleri sayesinde bu değer bazı senaryolarda 18 kWh/m²a seviyelerine kadar düşmektedir. Yapı kabuğu, 0.12–0.13 W/m²K seviyesindeki dış duvar ve çatı U-değerleri ile yüksek düzeyde ısı yalıtımı sağlamaktadır. Yapıda kullanılan üç camlı pencere sistemleri ise ($U_w \approx 0.80$ W/m²K), hem ısı kayıplarını azaltmakta hem de %56 g-değeri sayesinde kontrollü güneş kazançlarına olanak tanımaktadır. Projede CLT duvar ve cephe elemanları, pencere ve dış kaplamalarıyla birlikte fabrikada üretilerek, şantiyeye büyük ölçüde tamamlanmış halde getirilmiştir. Bu sayede sekiz katlı yapının ahşap taşıyıcı sistemi yaklaşık üç buçuk haftada monte edilebilmiştir.

KAYNAKÇA

- James Hardie Europe GmbH. (2012). The highest wooden building in Germany now measures 25 meters. Archiweb.cz. <https://www.archiweb.cz/en/n/press/nejvyssidrevena-budova-v-nemecku-uz-meri-25-metru>
- B&O Gruppe. (2011). Eight-storey wooden residential and office building, Bad Aibling. Project documentation and development report, Germany.
- Bayerische Architektenkammer. (n.d.). Holz 8 – eight-storey wooden house, Bad Aibling. <https://www.byak.de/planen-und-bauen/projekt/holz-8-acht-stoeckiges-holzhaus-bad-aibling-1.html>
- Huber & Sohn GmbH & Co. KG. (2011). Solid timber construction system for multi-storey residential buildings – Bad Aibling. Bachmehring, Germany.
- Fermacell GmbH. (2011). Fire protection solutions for multi-storey timber buildings: Bad Aibling case study. Duisburg, Germany.
- Rockwool Mineralwoll GmbH. (2011). Non-combustible insulation systems in high-rise timber construction. Gladbeck, Germany.

3. VIA CENNI HOUSING



Şekil 1 <https://axisvm.eu/wp-content/uploads/2020/11/social-housing-via-cenni-timber-structure-residential-houses-1.jpg>



Şekil 2 <https://www.rossiprodi.it/en/projects/housing-sociale-via-cenni/>



Şekil 3 <https://www.wooddays.eu/it/architecture/projekt/detail/wohnbau-via-cenni/index.html>

- **Yapı Adı:** Via Cenni Housing
- **Konum:** Milano, İtalya
- **Yapı türü:** Çok katlı sosyal konut kompleksi
- **Mimari Tasarım:** Rossi Prodi Associati S.R.L., İtalya
- **Mimar:** Prof. Arch. Fabrizio Rossi Prodi, Arch. Simone P. G. Abbado, Arch. Marco Zucconi
- **Yapısal Tasarım:** Borlini & Zanini SA (Mendrisio, İsviçre)
- **Ahşap Yapım:** Service Legno Srl (Treviso, İtalya), Stora Enso
- **Yapım yılı:** 2012-2013
- **İnşaat Alanı:** 17000 m²
- **Konut Sayısı:** 124 konut (9 katlı 4 blok)
- **Taşıyıcı sistem:** CLT taşıyıcı duvar + CLT döşeme

Via Cenni Sosyal Konut Projesi, Milano’da yer alan ve her biri yaklaşık 13,5 × 19 m plan boyutlarına sahip bloklardan oluşan çok katlı CLT konut yapılarından biridir. Yapıda yeşil çatılar, çevre dostu malzemeler, merkezi yeşil alanlar, yaya odaklı yerleşim düzeni ve yeraltı suyu kaynaklı ısı pompalarıyla çalışan bir ısıtma-soğutma sistemi yer almaktadır. Bu sistem sayesinde %60–70 oranında enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Ayrıca ahşap yapı sistemi, geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında benzer maliyetler korunurken, inşaat süresinde %50 oranında azalma sağlamıştır. Yaklaşık 17.000 m² inşaat alanını kapsayan proje, taşıyıcı sistemin tamamının CLT panellerden oluşturulduğu, betonarme kolon veya çelik çerçeve içermeyen, tam prefabrike ve panel esaslı bir yapı sistemiyle tasarlanmıştır. Projede toplam yaklaşık 6.100 m³ CLT panel kullanılmış olup, CLT elemanları Stora Enso tarafından üretilmiştir.

Via Cenni’de taşıyıcı sistem, saf panel esaslı bir CLT kurgusuna dayanmaktadır. Düşey yüklerin tamamı, yaklaşık 120–160 mm kalınlığa sahip, ağırlıklı olarak 5 katmanlı CLT taşıyıcı duvar panelleri aracılığıyla zemine aktarılmaktadır. Betonarme veya çelik taşıyıcı eleman kullanılmamış; yapı bütünüyle CLT panellerin birlikte çalışmasına dayalı olarak çözülmüştür. Döşemeler, 5 veya 7 katmanlı CLT panellerden oluşmaktadır. Bu paneller, taşıyıcı duvarlara doğrudan oturarak yatay diyafram gibi çalışmaktadır. CLT döşeme panellerinin üzerinde akustik ayırıcı katmanlar, şap ve kuru döşeme sistemleri uygulanarak konut ölçeğine uygun konfor koşulları sağlanmıştır. Daireler arasında ise çift CLT duvar sistemleri ya da CLT panellerin hafif bölme elemanlarıyla birlikte kullanıldığı katmanlı çözümler uygulanmıştır.

Blokların plan kurgusunun simetrik olması ve taşıyıcı duvarların düzenli yerleşimi sayesinde burulma etkileri sınırlandırılmış, deprem davranışı kontrollü bir şekilde yönetilmiştir. CLT paneller, hedeflenen yangın dayanım süresi (örneğin R60) boyunca oluşacak kömürleşme derinliği dikkate alınarak, kalan etkin kesitin taşıyıcı kapasitesini koruyacağı şekilde boyutlandırılmıştır. Taşıyıcı CLT elemanlar, gerekli görülen bölgelerde alçıpan veya ek kaplamalarla ilave yangın koruması sağlanmıştır. Bu strateji sayesinde yapı, konut yapıları için gerekli REI yangın dayanım sürelerini karşılamıştır.

KAYNAKÇA

- Rossiprodi Associati. (2013). Via Cenni Social Housing Project. Milan.
- Fondazione Housing Sociale. (2014). Timber-based social housing in Milan: Via Cenni.
- Ceccotti, A. (2016). Cross-laminated timber buildings: Structural design and fire performance. Wood Material Science & Engineering.
- Brandner, R., Flatscher, G., Ringhofer, A., Schickhofer, G., & Thiel, A. (2016). Cross-laminated timber (CLT): Overview and development. European Journal of Wood and Wood Products.
- Stora Enso. (2015). Polaris Via Cenni – Multi-storey residential building.
- ArchDaily. (2013). Via Cenni Social Housing / Rossiprodi Associati.
- Service Legno Srl. (2013). Timber construction of Via Cenni housing complex.

4. LIMNOLOGEN HOUSING



Şekil 1 <https://www.swedishwood.com/siteassets/3>



Şekil 2 https://events.forum-holzbau.com/pdf/ihf09_Serrano.pdf



Şekil 3 <https://sdg21.eu/db/limnologen-vaexjoe>

Şekil 4 <https://arkitektbolaget.se/projekt/limnologen/>

- **Yapı Adı:** Limnologen Housing
- **Konum:** Växjö, İsveç
- **Yapı Türü:** Çok katlı apartman kompleksi
- **Yapım Yılı:** 2007–2009
- **Kat Sayısı:** 8 kat (4 blok)
- **Daire Sayısı:** 134 daire (37-114 m²)
- **Toplam Alan:** yaklaşık 10.700 m² yaşam alanı
- **Mimar:** Arkitektbolaget Kronoberg
- **Yapım:** Martinsons Byggsystem, Tyréns

Limnologen Housing projesinde dış taşıyıcı duvarlar, iç bölücü duvarların bir bölümü ve kat döşemeleri CLT panellerden oluşmaktadır. CLT elemanlar hem düşey yüklerin taşınmasında hem de yatay yüklerin karşılanmasında etkin rol üstlenmektedir. Bu sistem, konut bloklarında rijit bir kutu davranışı oluşturarak rüzgâr ve yatay yüklerin güvenli biçimde temellere aktarılmasını sağlamaktadır. Projede kullanılan CLT paneller, fabrika ortamında prefabrik olarak üretilmiş ve şantiyede hızlı montaj esasına göre uygulanmıştır. Projede kullanılan CLT panellerin büyük bölümü 3 katmanlı olarak üretilmiştir. Bu paneller, hem taşıyıcı duvar elemanı hem de döşeme elemanı olarak görev yapmaktadır. Döşeme panelleri, katlar boyunca tekrarlı modüller hâlinde yerleştirilmiş olup her katta yaklaşık 30 adet prefabrik CLT panel kullanılmıştır.

Yapının zemin katı betonarme sistem ile tasarlanmış olup kalan 7 katta CLT taşıyıcı sistem kullanılmıştır. CLT'ye ek olarak, bazı açıklıkların geçilmesi ve yük dağılımının optimize edilmesi amacıyla 600 mm aks aralığında yerleştirilen T-kesitli glulam kirişler kullanılmıştır. Bu hibrit yaklaşım, CLT'nin duvar ve döşeme elemanı olarak etkin biçimde çalışmasını sağlarken, glulam elemanlar aracılığıyla daha esnek plan çözümleri elde edilmiştir.

Yangın güvenliği tasarımı, İsveç yönetmelikleri doğrultusunda ele alınmış ve yapı elemanları EI60 yangın dayanımı sağlayacak şekilde boyutlandırılmıştır. Yapılar, İsveç yapı yönetmeliklerine göre BR1 yangın sınıfında değerlendirilmiş olup her bir konut birimi EI60 yangın dayanımına sahip hücresel birimler olarak tasarlanmıştır. CLT panellerin yangın sırasında kontrollü kömürleşme davranışı da dikkate alınarak taşıyıcı kesitlerin yeterli performansı göstermesi hedeflenmiştir. İç yüzeylerde uygulanan kaplama sistemleri ve detay çözümleri, yangın güvenliğini destekleyen tamamlayıcı unsurlardır. Ayrıca yapıda sprinkler sistemi de kullanılmaktadır. Akustik performansın iyileştirilmesi için CLT döşemeler ve duvar sistemleri, ek akustik katmanlar ve yüzer döşeme çözümleri ile desteklenerek katlar arası ses iletiminin azaltılması hedeflenmiştir.

Projedeki yapıların enerji kullanımı, iç mekân konfor koşulları ve kullanıcı memnuniyeti gibi parametreleri belirli aralıklarla izlenmiş; elde edilen veriler CLT yapıların konut ölçeğinde sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu olduğunu ortaya koymuştur. Projede yıllık enerji tüketiminin 90 kWh/m²·yıl değerinin altında kalması hedeflenmiş olup daire bazlı enerji ve su tüketimlerinin izlenmesi sayesinde kullanıcı davranışına bağlı olarak %30'a varan enerji tasarrufu potansiyeli raporlanmıştır. Limnologen Housing yapısı, Växjö kentinin “fosil yakıtsız şehir” hedefleriyle de uyumlu olarak tasarlanmıştır. Projede kullanılan CLT ahşap taşıyıcı sistem sayesinde betonarme eşdeğerlerine kıyasla daha düşük karbon ayak izi elde edilmiştir.

KAYNAKÇA

- Linnaeus University. (2025). Project: House Limnologen. Erişim tarihi: Ekim 2025. <https://lnu.se/en/research/research-projects/project-house-limnologen/Lnu.se>
- Serrano, E. (2009). Limnologen – Experiences from an 8-storey timber building. Internationales Holzbau-Forum 2009.
- Swedish Wood. (n.d.). Limnologen – timber buildings in eight storeys. Erişim tarihi: Ekim 2025. <https://www.swedishwood.com/inspiration/architecture/limnologen/Swedish Wood>
- sdg21.eu. (2016). Limnologen Växjö – four timber apartment buildings. Erişim tarihi: Ekim 2025. <https://sdg21.eu/en/db/limnologen-vaexjoe SDG21>

5. HOHO WIEN



Şekil 1 <https://www.housingevolutions.eu/project/hoho-wien-the-worlds-tallest-wooden-high-rise/#images-1>



Şekil 2 <https://www.hoho-wien.at/eine-erinnerung-an-den-spatenstich/>



Şekil 3-6 <https://www.hoho-wien.at/>

- **Yapı Adı:** HoHo Wien
- **Konum:** Seestadt Aspern, Viyana, Avusturya
- **Yapı Türü:** Karma kullanım (otel, konut, ofis, restoran, fitness)
- **Mimar:** RLP Rüdiger Lainer + Partner
- **Yükseklik:** 84 m
- **Kat Sayısı:** 24
- **Yıl:** 2019
- **Taşıyıcı Sistem:** CLT elemanlar + Beton çekirdek + Ahşap-beton kompozit döşemeler
- **Ahşap Oranı:** Yaklaşık %76
- **Sertifikalar:** LEED Gold, ÖGNI Gold
- **Maliyet:** Yaklaşık 60 milyon €

HoHo Wien, Viyana'nın Seestadt Aspern bölgesinde konumlanan, karma kullanımlı yüksek bir yapı örneğidir. Yapıda taşıyıcı sistem olarak betonarme yerine büyük oranda ahşap kullanılmıştır ve bunun sonucunda yaklaşık 2.800 ton CO₂ emisyon tasarrufu sağlanmıştır. Yapının taşıyıcı sistemi hibrit bir yaklaşımla çözülmüştür. HoHo Wien, betonarme çekirdek ve alt yapı (temel/bodrum) ile CLT/ahşap elemanları birleştiren hibrit bir yüksek yapıdır. Yapının çekirdekleri betonarme olarak tasarlanmış olup döşemelerde ise CLT elemanlar ile beton kirişler birlikte kullanılarak kompozit döşemeleri oluşturmuştur. Bu kurgu, yüksek yapı ölçeğinde hem performans hem de güvenlik gereksinimlerini karşılamayı hedeflerken, ahşabın yapısal avantajlarının da maksimum düzeyde kullanılmasına imkân vermektedir.

HoHo Wien'in en önemli teknik bileşenlerinden biri ahşap-beton kompozit döşeme sistemi olarak öne çıkmaktadır. Prefabrik olarak üretilen paneller 160 mm kalınlığında, 5 katmanlı CLT üzerine uygulanan 120 mm beton tabakadan oluşmaktadır. CLT ve beton tabaka kesme bağlantıları ile birlikte çalışarak kompozit bir davranış göstermektedir. Bu çözümün; rijitlik, titreşim/sehim kontrolü ve akustik performans açısından yüksek yapılardaki konfor koşullarına katkı sağladığı, ayrıca beton tabakanın etkisiyle yangın dayanımı ve kütleli performansın da artırıldığı belirtilmektedir. Döşeme kenarlarında yer alan yaklaşık 580 mm derinliğinde prefabrik beton kenar kirişleri ise yük aktarımını optimize eden bir diğer önemli detay olarak tasarlanmıştır. Dış kabukta kullanılan CLT cephe panelleri ise 5 katmanlı ve yaklaşık 140 mm kalınlıkta olup prefabrik modüller halinde üretilip şantiyede monte edilmiştir. Bu sayede cephe elemanlarının taşıyıcı sistemle bütünleşmesi ve yüksek yapı ölçeğinde kontrollü/hızlı montaj yürütülmesi hedeflenmiştir.

Binanın yapım sürecinde prefabrikasyon ve lojistik veriler de dikkat çekicidir. Şantiyeye yaklaşık 1.000 adet taşıyıcı kompozit duvar elemanı ve yaklaşık 16.000 m² ahşap-beton kompozit döşeme paneli

getirilmiş olup bunun yanında 99 adet prefabrik merdiven ve platform, 600 m'den fazla destek elemanı, yaklaşık 4.800 m prefabrik kiriş ve 2.300 m² prefabrik döşeme/tavan elemanı kullanılmıştır. Bu sayılar, HoHo Wien'in yalnızca mimari değil, aynı zamanda endüstriyel üretim ve şantiye organizasyonu açısından da ileri düzey bir ahşap yapı örneği olduğunu göstermektedir.

Ayrıca projede yaklaşık 14.400 m² CLT dış duvar elemanı ve yaklaşık 800 adet Glulam taşıyıcı eleman kullanılmıştır. Yangın güvenliği açısından ise, CLT'nin yangın davranışının kontrollü kömürleşme prensibiyle ele alındığı ve betonarme çekirdeğin kaçış/güvenlik açısından ek bir fayda sağladığı bilinmektedir.

KAYNAKÇA

- ArchDaily. (2014). Vienna to build the world's tallest wooden skyscraper. <https://www.archdaily.com/604416/vienna-to-build-world-s-tallest-woodenskyscraper>
- HoHo Wien. (n.d.). HoHo Wien-The world's tallest wooden high-rise building. <https://www.hoho-wien.at/>
- HoHo Wien. (n.d.). Holz-Beton-Verbunddecke (XC® system). <https://www.hoho-wien.at/holz-beton-verbunddecke/>
- HoHo Wien. (n.d.). Eine Erinnerung an den Spatenstich. <https://www.hoho-wien.at/eine-erinnerung-an-den-spatenstich/>
- Housing Evolutions. (n.d.). HoHo Wien: The world's tallest wooden high-rise. <https://www.housingevolutions.eu/project/hoho-wien-the-worlds-tallest-wooden-high-rise/>

6. BROCK COMMON TALLWOOD HOUSE



Şekil 1-2 <https://www.thinkwood.com/construction-projects/brock-commons-tallwood-house>



Şekil 3 <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/>

Şekil 4 <https://www.archdaily.com/879625/inside-vancouvers-brock-commons-the-worlds-tallest-timber-structured-building>



Şekil 5 <https://www.archdaily.com/879625/inside-vancouvers-brock-commons-the-worlds-tallest-timber-structured-building>

Şekil 6 https://images.adsttc.com/media/images/59b9/8c82/b22e/382c/0000/011f/medium_jpg/

- **Yapı Adı:** Brock Commons Tallwood House
- **Yapı Türü:** Öğrenci yurdu
- **Konum:** University of British Columbia (UBC), Vancouver, Kanada
- **Kat Sayısı:** 18 kat
- **Yükseklik:** Yaklaşık 53 m
- **Toplam Alan:** Yaklaşık 18.500 m²
- **Yapım Yılı:** 2017
- **İşveren:** University of British Columbia
- **Mimar:** Acton Ostry Architects
- **CLT Üreticisi:** Structurlam (Kanada)
- **Taşıyıcı Sistem:** Hibrit (CLT + glulam + betonarme çekirdek)

Brock Commons Tallwood House, yüksek yapılarda hibrit bir taşıyıcı sistem yaklaşımı üzerine kurulmuştur. Yapının strüktürel kurgusu, glulam kolonlar, CLT döşeme panelleri ve betonarme çekirdeklerin yer aldığı bir sistem olarak tasarlanmıştır. Glulam kolonlar, fabrika ortamında prefabrik modüller halinde üretilmiş ve şantiyede üst üste eklenerek monte edilmiştir. Tam boy kolonlar yerine modüler elemanların tercih edilmesi, taşıma ve vinç kapasitesi kısıtlarını azaltmıştır. Kat döşemelerinde ise 5 katmanlı yaklaşık 169 mm kalınlığında CLT paneller kullanılmıştır. Binada rüzgâr ve deprem etkileri altında oluşan yatay yükler, CLT paneller aracılığıyla betonarme çekirdeklere aktarılmaktadır.

Yapıda iki adet betonarme çekirdek yer alıp asansör ve merdivenleri barındırmaktadır. Betonarme çekirdeklerin tercih edilmesi, yüksek yapı ölçeğinde titreşim kontrolü, servis verilebilirlik ve kaçış güvenliği açısından bilinçli tercih edilen bir mühendislik kararıdır. CLT-glulam ve CLT-betonarme bağlantılarında çelik bağlantı plakaları ve yüksek dayanımlı civatalar kullanılmıştır. Bu bağlantılar, deprem ve rüzgâr etkileri dikkate alınarak sayısal modellerle analiz edilmiş; yangın dayanımı gereksinimleri doğrultusunda kaplanmıştır. CLT döşemeler betonarme çekirdeklerle birlikte çalışarak titreşim genliklerinin kabul edilebilir seviyelerde kalması hedeflenmiştir. Akustik performans için ise CLT döşemeler üzerinde çok katmanlı döşeme çözümleri uygulanmıştır. Bu sistemler; üst kaplama, şap ve yüzer döşeme katmanlarından oluşmakta; katlar arası darbe sesi ve ses geçişinin kontrol altına alınmasını sağlamaktadır.

Yangın güvenliğini sağlamak için CLT ve glulam elemanlar, hedeflenen yangın dayanımı sürelerini sağlamak üzere alçı levha kaplamalarla korunmuştur. Ahşabın kömürleşme davranışı, taşıyıcı kesitlerin boyutlandırılmasında dikkate alınarak yangın sırasında taşıyıcı kapasitenin korunması sağlanmıştır. Binanın temel sistemi, ahşap üst yapıdan tamamen ayrılan betonarme radye temel şeklinde tasarlanmıştır. Betonarme çekirdekler, temel sistemi ile bütünlük sağlarken ahşap üst yapı ise nem, yangın ve dayanıklılık açısından

temelden ayrıştırılmıştır. Bu yaklaşımla, ahşap yapıların zeminle temasında oluşabilecek problemler minimize edilmiştir.

Prefabrikasyon, Brock Commons projesinin en belirgin yapım stratejilerinden biridir. CLT döşeme panelleri ve glulam kolonlar fabrikada üretilmiş; şantiyede hızlı montaj ile yapı yaklaşık 70 gün gibi kısa bir sürede ahşap üstyapı seviyesinde tamamlanmıştır. Sürdürülebilirlik açısından değerlendirildiğinde de Brock Commons'ta CLT ve glulam kullanımı sayesinde betonarme elemanlara kıyasla yaklaşık %25-30 oranında daha düşük karbon ayak izi elde edilmiştir. Yapı bünyesinde de yaklaşık 1.750 ton CO₂ eşdeğeri karbonun depolandığı raporlanmaktadır.

KAYNAKÇA

- University of British Columbia (UBC). (2017). Brock Commons Tallwood House. <https://housing.ubc.ca/residences/brock-commons/>
- Acton Ostry Architects. (2017). Brock Commons Tallwood House. <https://actonstry.ca/project/brock-commons-tallwood-house/>
- Fast + Epp. (2017). Structural design of Brock Commons Tallwood House. <https://www.fastepp.com/projects/brock-commons/>
- Naturally:Wood (Forestry Innovation Investment, Canada). (2018). Brock Commons Tallwood House case study. <https://www.naturallywood.com>
- ArchDaily. (2017). Brock Commons Tallwood House / Acton Ostry Architects. <https://www.archdaily.com>
- Architect Magazine. (2017). Brock Commons Tallwood House sets new standard for tall timber buildings. <https://www.architectmagazine.com>
- Green, M., Karsh, J., & Nilsson, K. (2017). The Brock Commons Tallwood House: Lessons learned from a tall wood building, In Proceedings of the World Conference on Timber Engineering (WCTE).
- Karacabeyli, E., & Douglas, B. (2018). CLT handbook: Cross-laminated timber. FPInnovations.
- FPInnovations. (2018). Carbon footprint analysis of Brock Commons Tallwood House. <https://fpinnovations.ca>
- Canadian Wood Council. (2019). Tall wood buildings: Brock Commons case study. <https://cwc.ca>

7. TREET (THE TREE) BİNASI



Şekil 1 https://www.teknos.com/globalassets/teknos.com/industrial-coatings/showroom/industrial-wood/exterior/treet_1920x1080.jpg



Şekil 2 https://urbannext.net/wp-content/uploads/2019/04/artec_treet_02.jpg



Şekil 3 <https://urbannext.net/treet/>

- **Yapı adı:** Treet (The Tree)
- **Konum:** Bergen, Norveç
- **Yapım yılı:** 2015
- **Mimar:** Artec Architects
- **Yapı türü:** Çok katlı konut yapısı
- **Kat sayısı:** 14 kat (62 konut)
- **Yapı yüksekliği:** Yaklaşık 49 m
- **Taşıyıcı sistem:** Glulam + CLT
- **Ana ahşap türü:** Norveç ladini
- **Yapım sistemi:** Prefabrike ahşap modüler sistem

Treet (The Tree) yapısı, yürürlükteki Norveç imar mevzuatının yükseklik ve kat sınırlamaları çerçevesinde, ahşapla ulaşılabilecek en yüksek yapı hedefi doğrultusunda geliştirilmiştir. Yapının ana düşey taşıyıcı elemanları, glulam kolon ve kirişlerden oluşan bir ahşap çerçeve sistemidir. Bu çerçeve, yapı boyunca süreklilik göstererek düşey yükleri temellere aktarmakta; aynı zamanda prefabrike modüllerin taşınmasını ve yerleştirilmesini mümkün kılan ana taşıyıcı iskeleti oluşturmaktadır.

Yapı yüksekliğinin artırılabilmesi amacıyla, Treet'te klasik prefabrike modüler sistemlerin ötesine geçilmiş ve belirli kat seviyelerinde yer alan 'güç katları' tasarlanmıştır. Bu güç katlarında, glulam çerçevelere entegre edilen beton döşemeler, yapıya ilave kütle ve rijitlik kazandırarak özellikle rüzgâr etkileri altında yapısal stabilitenin artırılmasına katkı sağlamaktadır. Güç katları, yapının yatay ve düşey stabilitesini artıran temel yapısal bileşenler olarak çalışmakta ve yüksek ahşap yapı ölçeğinde özgün bir mühendislik çözümü sunmaktadır.

Treet binasında glulam elemanlar, yapının ana taşıyıcı sistemi olan kolon, kiriş ve makaslarda tercih edilmiştir. Çapraz lamine ahşap ise özellikle asansör ve merdiven şaftlarında, koridor duvarlarında, balkon elemanlarında, dikey taşıyıcı panellerde ve spor salonu döşemesinde kullanılmıştır. Asansör ve merdiven şaftlarında kullanılan CLT paneller yaklaşık 120 mm kalınlığında ve 15 m uzunluğundadır. Yapım sistemi, yüksek düzeyde prefabrikasyon esasına dayanmaktadır. Konut modülleri; taşıyıcı ahşap iskelet, iç bölmeler, ısı yalıtımı, tesisat, kaplamalar ve sabit donatılar dâhil olmak üzere fabrikada tamamlanarak şantiyede yalnızca montaj işlemleri gerçekleştirilmiştir. Yapım sürecine ilişkin en dikkat çekici bir veri, dört katlı bir modül grubunun yalnızca üç gün içinde monte edilebilmiş olmasıdır. Bu durum, çok katlı ahşap yapılarda prefabrikasyonun zaman ve iş gücü açısından sağladığı avantajları açık biçimde ortaya koymaktadır.

Yangın güvenliği açısından binada ana taşıyıcı sistem için en az 90 dakika, ikincil taşıyıcı elemanlar ve koridor sistemleri için ise 60 dakikalık yangın dayanımı hedeflenmiştir. Ahşap yüzeyler yangına dayanıklı kaplamalarla korunmuştur. Kaçış merdiveni şaftları ise

basınçlandırılmış olup bina genelinde sprinkler sistemleri uygulanmış ve kat seviyelerinde yatay yangın durdurucu elemanlar kullanılmıştır.

Enerji performansı ve sürdürülebilirlik açısından değerlendirildiğinde, prefabrike konut modüllerinin kendi dış duvarlarında yaklaşık 20 cm kalınlığında ısı yalıtımı kullanılmıştır. Modüller ile glulam taşıyıcı sistem ve ikincil dış cephe kaplaması arasında kalan boşluklar ise, hem yangın güvenliği hem de ısı ve ses yalıtımını desteklemek amacıyla taş yünü ile doldurulmuştur. Bu çok katmanlı kabuk sistemi sayesinde yapı, Norveç standartlarına göre “pasif bina” sınıfında değerlendirilmiştir. Yapının yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı yaklaşık 15 kWh/m²·yıl, birincil enerji tüketimi 84 kWh/m²·yıl ve nihai enerji tüketimi ise 71 kWh/m²·yıl olarak raporlanmaktadır. Yapıda kullanılan yaklaşık 1.000 m³ ahşap ise, kullanım ömrü boyunca yaklaşık 1.000 ton CO₂ depolama kapasitesine sahiptir. Bu yönüyle Treet binası, yalnızca düşük karbonlu bir yapı olarak değil, aynı zamanda aktif bir karbon yutağı olarak değerlendirilmektedir.

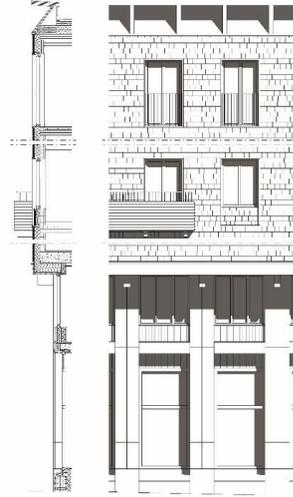
KAYNAKÇA

- ArchDaily. (2015). Treet / The Tree, Bergen. Erişim tarihi: 8 Eylül 2025. <https://www.archdaily.com/search/projects?query=Treet%20Bergen>
- WoodSolutions. (n.d.). Treet – High-Rise Timber Building Case Study. Erişim tarihi: 8 Eylül 2025. <https://www.woodsolutions.com.au/>
- WoodWorks. (n.d.). Treet / The Tree Timber Innovation Case. Erişim tarihi: 8 Eylül 2025. <https://www.woodworks.org/>
- Gül, N., Güzelçoban Mayuk, S. (2019). Çağdaş Ahşap Yapım Sistemlerinin Çok Katlı Yapılarda Kullanımının İncelenmesi: The Tree, Kent Akademisi, Volume, 12 (37), Issue 3, 586-599.

8. CEDERHUSEN HOUSING



Şekil 1 <https://cdn.prod.websitefiles.com/>



Şekil 2 <https://d10ic2gxw9yhll.cloudfront.net/public/DigitalAsset/>

Şekil 3 <https://eumiesawards.com/heritageobject/cederhusen>



Şekil 4 -5 <https://d10ic2gxw9yhll.cloudfront.net/public/DigitalAsset/>

- **Yapı Adı:** Cederhusen Housing
- **Konum:** Stockholm, İsveç
- **Yapı Türü:** Çok katlı konut yapısı
- **Tamamlanma Yılı:** 2023
- **Mimar:** General Architecture
- **Yapı / Statik Mühendisliği:** Bjerking
- **İşveren:** Folkhem
- **Daire sayısı:** 245, 4 ayrı bina (iki mahalle)
- **Kat sayısı:** 10–13 kat
- **Toplam İnşaat Alanı:** ~21.500 m²
- **Taşıyıcı Sistem:** CLT + glulam (hibrit ahşap yapı)

Cederhusen projesi, Stockholm'un Hagastaden bölgesinde, yoğun kentsel bağlam içerisinde yer alan ve çok katlı konut üretiminde CLT'nin ana taşıyıcı sistem olarak kullanıldığı büyük ölçekli bir örnektir. Yapıların mevcut altyapı tünellerinin üzerinde konumlanması, taşıyıcı sistem seçiminde ahşabın hafifliğini kritik bir tasarım girdisi hâline getirmiştir. Cederhusen'in taşıyıcı sistemi, CLT ve glulam elemanların birlikte kullanıldığı hibrit bir ahşap yapı kurgusu ile çözülmüştür. Yapının bodrum ve zemin kat seviyelerinde betonarme tercih edilirken, bu seviyenin üzerindeki tüm katlar tamamen ahşap taşıyıcı sistemle inşa edilmiştir. Döşemeler CLT panellerden oluşmakta; düşey taşıyıcı elemanlar CLT taşıyıcı duvarlar ile merdiven ve asansör çekirdeklerinden meydana gelmektedir. Daha geniş açıklıkların geçildiği alanlarda ise glulam kolon ve kirişler devreye girmektedir.

Projede kullanılan toplam CLT hacmi yaklaşık 8.798 m³ olup, bu değer Cederhusen'i İsveç'te gerçekleştirilen en büyük ölçekli CLT konut projelerinden biri hâline getirmektedir. Kullanılan CLT panellerin İsveç üretimi olup projenin bazı etaplarında Stora Enso'nun malzeme tedarikçisi olarak yer aldığı da kaynaklarda ifade edilmektedir.

Yapının inşa süreci, yüksek düzeyde prefabrikasyonun kent içi üretim koşullarına uyarlanmasına dayanmaktadır. CLT ve glulam elemanlar, fabrika ortamında üretilmiş olup şantiyede ise kuru montaj esaslı bir sistemle bir araya getirilmiştir. Özellikle altyapı tünelleri üzerinde konumlanan yapı kurgusunda, prefabrik ahşap elemanlar sayesinde montaj süreci daha öngörülebilir ve güvenli hâle gelmiştir. Yangın güvenliği bakımından merdiven ve asansör çekirdeklerinde kullanılan CLT elemanlar, artırılmış kesit kalınlıklarıyla ele alınarak yapı genelinde otomatik sprinkler sistemi ve cephe katmanlarında tamamlayıcı önlemler uygulanmıştır. Binada kullanılan ahşap elemanlar İsveç yangın yönetmeliklerine uygun çözümlerle desteklenmiştir.

Konut birimlerinde akustik konforun sağlanması, CLT taşıyıcı sistemin tek başına ele alınmasından ziyade, tamamlayıcı katmanlarla birlikte değerlendirilmiştir. Döşeme ve duvar sistemlerinde kullanılan ek yalıtım katmanları sayesinde, çok katlı konut yapılarında darbe sesi minimuma indirgenmiştir. Betonarme alternatiflere kıyasla daha düşük gömülü karbon değerleri sunan CLT ve glulam elemanlar, aynı zamanda karbon depolama özellikleriyle yapının yaşam döngüsü boyunca çevresel etkisini azaltmaktadır. Yerel üretim ahşap malzemenin kullanılması da hem tedarik zincirinin kısaltılmasına hem de proje ölçeğinde karbon ayak izinin sınırlandırılmasına katkı sağlamıştır.

KAYNAKÇA

- Swedish Wood. (2023, January 5). Wood making inroads in the city – Cederhusen. Erişim tarihi: Ekim 2025. <https://www.swedishwood.com/about-wood/wood-in-architecture/wood-making-inroads-in-the-city-cederhusen/>
- Folkhem. (t.y.). Cederhusen. Erişim tarihi: Ekim 2025. <https://www.folkhem.se/projekt/cederhusen/>
- EU Mies Awards. (t.y.). Cederhusen – High Rise Housing in CLT. Erişim tarihi: Ağustos 2025. <https://miesarch.com/work/4097>

9. ADOHI HALL



Şekil 1 <https://monograph.imgix.net/b9afa4d4-531c-4b7a-9eb1-ad06f18a48e2/modus-studio-adohi-hall-0014.jpg?w=1920>

Şekil 2 <https://www.theplan.it/eng/award-2020-Housing/adohi-hall-a-live-learn-community-for-700-students-leers-weinzapfel-associates>



Şekil 3 <https://www.lwa-architects.com/wp-content/uploads/2017/11/modus-studio-adohi-hall-0904-1700x1134.jpg>

Şekil 4 <https://www.archdaily.com/>



Şekil 5-6 <https://www.theplan.it/eng/award-2020-Housing/adohi-hall-a-live-learn-community-for-700-students-leers-weinzapfel-associates>

- **Yapı Adı:** Adohi Hall
- **İşlev:** Öğrenci yurdu ve sosyal alanlar
- **Konum:** Arkansas, ABD
- **Mimar:** Leers Weinzapfel Associates, Modus Studio, Mackey Mitchell Architects
- **Yapım Yılı:** 2019
- **Toplam Alan:** ~18.500 m²
- **Kat Sayısı:** 4 kat
- **Taşıyıcı Sistem:** CLT + glulam
- **Ahşap Tedariki:** WoodWorks (ABD), Type IIIB Mass Timber Construction

Adohi Hall, ABD’de CLT’nin eğitim yapılarında büyük ölçekli ve taşıyıcı sistem olarak kullanıldığı ilk örneklerden biri olarak öne çıkmaktadır. Arkansas Üniversitesi kampüsünde yer alan yapı, yaklaşık 700 öğrenci kapasitesine sahip bir yurt binasıdır. Yapı, yalnızca barınma işlevi değil; ortak yaşam alanları, sosyal mekânlar ve açık-yarı açık geçiş alanlarıyla kampüs yaşamını desteklemektedir. “Adohi” kelimesi, Cherokee dilinde “orman” anlamına gelmekte olup, yapının malzeme ve tasarım yaklaşımıyla doğrudan ilişkilidir.

Adohi Hall projesinde taşıyıcı sistem, çapraz lamine ahşap ve glulam elemanların birlikte kullanıldığı tam ahşap üst yapı prensibiyle kurgulanmıştır. Betonarme, yalnızca temel ve zeminle temas eden alt kotlarda yer almakta; bu seviyenin üzerindeki tüm yapı, ahşap taşıyıcı sistemle çözülmektedir. Yapının düşey taşıyıcı elemanlarını CLT taşıyıcı duvarlar oluştururken, kat döşemeleri CLT panellerden meydana gelmektedir. Açıklıkların geçilmesi amacıyla glulam kolon ve kirişler sistemle birlikte çalışmaktadır.

Projede kullanılan CLT panellerin büyük bölümü 5 ve 7 katmanlı panellerden oluşmaktadır. Döşeme panellerinin kalınlıkları yaklaşık 140–200 mm, taşıyıcı duvar panellerinin kalınlıkları ise 100–160 mm aralığında değişmektedir. CLT döşemeler, tipik olarak 4,5–6,5 m açıklıkları geçerken daha büyük açıklıkların gerektiği alanlarda glulam kirişler kullanılmaktadır. Yapının taşıyıcı sisteminin açıkça okunabilir olması, binayı aynı zamanda mimarlık ve mühendislik eğitimi için yaşayan bir öğrenme nesnesi hâline getirmektedir.

Yangın güvenliği tasarımında, CLT elemanlar yangın dayanım süreleri dikkate alınarak boyutlandırılmış ve ahşabın yangın sırasında kömürleşerek taşıyıcı kesiti koruma davranışından yararlanmıştıdır. Yapıda birçok CLT yüzey bilinçli olarak açıkta bırakılmış; ilave kaplamalarla gizlenmemiştir. Binanın akustik performansı, öğrenci yurdu işlevi nedeniyle özel olarak ele alınmıştır. CLT döşeme sistemleri, yüzer döşeme katmanları, akustik şilteler ve kaplamalarla desteklenmiştir. Nem kontrolü ve dayanıklılık, CLT sistemlerin uzun

ömürlü performansı açısından projede kritik bir başlık olarak ele alınmıştır. Paneller montaj öncesinde kontrollü koşullarda depolanmış ve montaj sürecinde geçici koruyucu önlemlerle korunmuştur. Yapı kabuğu tamamlandıktan sonra CLT elemanlar hızla kapalı sistem içine alınmıştır. İç mekânda ise açıkta bırakılan ahşap yüzeyler için nem dengesini bozmayacak doğal yüzey işlemleri uygulanmıştır.

Projenin tasarım sürecinde International Building Code (IBC) esas alınmıştır ve CLT için “alternatif malzeme ve yöntem” prosedürleri uygulanmıştır. Yapısal, yangın ve akustik performans; laboratuvar testleri ve mühendislik raporları ile desteklenmiştir. Bu proje ile CLT'nin ABD gibi katı düzenlemelere sahip bir yerde güvenle uygulanabileceği kanıtlanmıştır.

KAYNAKÇA

- ArchDaily. (2020). Adohi Hall / Leers Weinzapfel Associates + Modus Studio + Mackey Mitchell Architects + OLIN. Erişim tarihi: 24 Aralık 2025. ArchDaily
- Architect Magazine. (2020). Timber abounds at the University of Arkansas Adohi Hall. Erişim tarihi: 24 Aralık 2025. Architect Magazine
- Binderholz. (n.d.). Student Dormitory “Adohi Hall”, Arkansas | USA. Erişim tarihi: 24 Aralık 2025. binderholz.com
- Leers Weinzapfel Associates (LWA). (n.d.). University of Arkansas Stadium Drive Residence Halls (Adohi Hall) – Project page. Erişim tarihi: 24 Aralık 2025. Leers Weinzapfel Associates
- Leers Weinzapfel Associates (LWA). (2024). Mass timber case study: Adohi Hall student residences. Erişim tarihi: 24 Aralık 2025. Leers Weinzapfel Associates
- University of Arkansas News. (2019). Researchers study behavior of cross-laminated timber panels in new hall. Erişim tarihi: 24 Aralık 2025. Arkansas News
- University of Arkansas News. (2022). Messenger of mass timber. Erişim tarihi: 24 Aralık 2025. Arkansas News
- WoodWorks. (n.d.). Adohi Hall. Erişim tarihi: 24 Aralık 2025. WoodWorks | Wood Products Council
- WoodWorks Innovation Network. (n.d.). Adohi Residence Hall – University of Arkansas (Project profile). Erişim tarihi: 24 Aralık 2025. Woodworks Innovation Network

10. WOOD INNOVATION AND DESIGN CENTRE



Şekil 1 https://www.naturallywood.com/wp-content/uploads/WIDC_Ema-Peter-1-1024x701.jpg



Şekil 2 https://www.naturallywood.com/wp-content/uploads/MGA_WIDC

Şekil 3 https://www.naturallywood.com/wp-content/uploads/WIDC_Ed-White-Photographics-2-724x549.jpg



Şekil 4 <https://ontarioerectors.com/wp-content/uploads/2013/12/Wood-Innovation-and-Design-Centre.jpg>

- **Yapı Adı:** Wood Innovation and Design Centre (WIDC)
- **Yapı Türü:** Eğitim + araştırma + ofis (üniversite ve sektör iş birliği yapısı)
- **Konum:** Prince George, British Columbia, Kanada
- **Mimar:** Michael Green Architecture (MGA)
- **Tamamlanma Yılı:** 2014
- **Kat Sayısı:** 6 kat
- **Toplam Alan:** ~4.500 m²
- **Taşıyıcı Sistem:** CLT + glulam

Wood Innovation and Design Centre (WIDC), Kanada'nın güçlü orman endüstrisi ve ahşap yapı geleneği üzerine inşa edilmiştir. Taşıyıcı ahşap elemanların büyük ölçüde görünür bırakılması mimari ifade güçlendirerek, ahşabın doğrudan deneyimlendiği bir eğitim ortamına dönüştürmektedir.

WIDC'de taşıyıcı sistem, CLT döşeme ve perde duvarlar ile glulam kolon-kirişlerin birlikte çalıştığı hibrit bir kurguya sahiptir. Betonarme kullanım, temel ve zemin kotu ile sınırlandırılmış olup üst yapı bütünüyle ahşap taşıyıcı sistemle çözülmüştür. Yapı, kolonların katlar boyunca süreklilik gösterdiği balon çerçeve (balloon-frame) sistemiyle tasarlanmıştır. Döşemelerde ağırlıklı olarak 5 katmanlı CLT paneller tercih edilmiştir. Yaklaşık 140–175 mm kalınlığındaki bu paneller, orta ölçekli 4–6 m açıklıkları geçecek şekilde tasarlanmıştır. Perde duvarlar ve çekirdek çevrelerinde yer yer daha kalın CLT paneller kullanılmıştır. Döşeme sistemi, servis geçişlerini gizleyen ve akustik performansı artıran her biri 5 katmanlı CLT panellerden oluşan iki ayrı tabakanın birlikte çalışması esasına göre tasarlanmıştır.

Rüzgâr ve deprem etkileri, asansör, merdiven ve mekanik shaftlardan oluşan düşey CLT çekirdek duvarlar aracılığıyla karşılanmakta; döşemeler, bu perde duvarlarla birlikte çalışarak yük aktarımını sağlamaktadır. CLT duvarlar temele metal ankrajlar (hold-down) ve kendinden dış açan vidalar ile bağlanmıştır. Panel bağlantılarında kullanılan enerji yutucu metal elemanlar ile sistemin deprem sırasında kontrollü deformasyon yapabilmesi hedeflenmiştir. Akustik performans açısından CLT döşemeler; yüzer döşeme katmanları, titreşim sönümleyici tabakalar ve akustik ara katmanlarla desteklenerek derslik ve konferans alanlarında daha yüksek STC ve IIC değerlerinin sağlanması hedeflenmiştir.

CLT elemanlar yangın güvenliği için taşıyıcı kesitin korunmasını sağlayacak şekilde boyutlandırılmıştır. Birçok CLT duvar ve döşeme elemanı ek kaplama gerektirmeden yaklaşık 1 saat yangın dayanımı sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Binanın CLT + glulam taşıyıcı sistemi, betonarme eşdeğerlerine kıyasla çok daha hafif bir yapı ortaya

koymuştur. Bu durum temel boyutlarının küçülmesine ve taşıma kaynaklı karbon salımının azalmasına olanak sağlamıştır.

WIDC'nin yapım süreci, yüksek düzeyde prefabrikasyon prensibine dayanmaktadır. CLT paneller fabrikada CNC kesimle üretilmiş; kapı, pencere ve tesisat boşlukları önceden açılmıştır. Şantiyede paneller vinçle doğrudan yerine yerleştirilmiş; yerinde kesim ve müdahale minimum düzeyde tutulmuştur.

KAYNAKÇA

- Michael Green Architecture. (2014). Wood Innovation and Design Centre. <https://mg-architecture.ca>
- ArchDaily. (2014). Wood Innovation and Design Centre / Michael Green Architecture. <https://www.archdaily.com>
- WoodWorks. (2014). Wood Innovation and Design Centre: Case study. WoodWorks BC. <https://www.woodworks.org>
- Equilibrium Consulting. (2014). Structural engineering case study: Wood Innovation and Design Centre. <https://www.eqcanada.com>
- FPInnovations. (2015). CLT and mass timber systems in mid-rise buildings: WIDC case study. <https://fpinnovations.ca>
- Canadian Wood Council. (2016). Mid-rise wood buildings demonstration projects: WIDC. <https://cwc.ca>
- Aercoustics Engineering Ltd. (2014). Acoustic performance strategies for Wood Innovation and Design Centre, Project documentation.
- PCL Constructors Westcoast Inc. (2014). Construction process and prefabrication report: Wood Innovation and Design Centre. <https://www.pcl.com>
- Natural Resources Canada. (2015). Case study: Wood Innovation and Design Centre and carbon performance. <https://natural-resources.canada.ca>
- Structurlam. (2014). Mass timber supply for Wood Innovation and Design Centre. <https://www.structurlam.com>
- Wood Design & Building Magazine. (2015). Wood Innovation and Design Centre: A living laboratory for mass timber.
- Green, M. (2015). Tall wood buildings and the future of mass timber construction. Vancouver: Michael Green Architecture

11. WEST BUCKLAND SCHOOL



Şekil 1 https://static.dezeen.com/uploads/2010/06/dzn_West-Buckland-School-by-MRJ-Rundell-Associates-10.jpg



Şekil 2 <https://www.ampcleanenergy.com/wp-content/uploads/2022/10/west-buckland.jpg>



Şekil 3 https://static.dezeen.com/uploads/2010/06/dzn_West-Buckland-School-by-MRJ-Rundell-Associates-10.jpg



Şekil 4 <https://static.dezeen.com/uploads/2010/06/132.jpg>



Şekil 5 https://static.dezeen.com/uploads/2010/06/dzn_West-Buckland-School-by-MRJ-Rundell-Associates-22.jpg

- **Yapı adı:** West Buckland Okulu
- **Yapı Türü:** Eğitim Yapısı
- **Konum:** Devon, Birleşik Krallık
- **İşveren:** West Buckland School
- **Mimar:** Rundell Associates
- **Yüklenici:** Pearce Construction (Barnstaple Ltd)
- **Ahşap / CLT Tedarikçisi:** KLH Massivholz / KLH UK
- **Yapım Bedeli:** £3.5 milyon
- **Tamamlanma Yılı:** 2010
- **Ödüller:** 2010 RIBA Regional Award, 2010 RICS Sustainability Award

West Buckland School'da yeni eğitim yapıları, mevcut kampüs dokusunu tamamlayacak şekilde merkezi bir avlu etrafında konumlandırılmıştır. Bu avlu hem ana dolaşım omurgası hem de sosyal etkileşim alanı olarak kurgulanmıştır. Üstü örtülü geçitler, teraslı oturma alanları ve yarı açık dolaşım elemanları, kampüste mekânsal sürekliliği güçlendirmektedir. Okul tasarımının temel hedeflerinden biri, yüksek mekânsal kalite ile birlikte düşük karbonlu, enerji verimli ve uzun vadede düşük işletme maliyetine sahip bir eğitim yapısı üretmektir.

Yapının taşıyıcı sistemi, çapraz lamine ahşap paneller ile yapıştırma lamine ahşap elemanların birlikte çalıştığı bütüncül bir ahşap strüktür olarak tasarlanmıştır. CLT paneller, hem taşıyıcı duvar elemanı hem de kat ve çatı döşemesi olarak kullanılmıştır. Döşeme ve çatı plakları, dışardan görülebilen ve uzun açıklıklar geçebilen glulam kirişler tarafından taşınmıştır. Bu kirişler, doğrudan CLT duvar panellerine ya da kapalı yaya aksları boyunca yerleştirilen glulam kolonlara oturmaktadır. Asansör shaftları da CLT panellerle yapılmıştır. CLT panellerin büyük boyutlu ve prefabrike elemanlar hâlinde üretilmesi, yapı kabuğunda yüksek hava sızdırmazlığı elde edilmesini mümkün kılmıştır. Bu durum, doğal havalandırma, ısıtma ve aydınlatma yüklerini azaltarak enerji kayıplarının sınırlandırılmasına olanak sağlamıştır.

CLT taşıyıcı sistemin hafifliği sayesinde yapı, geleneksel sürekli veya radye temeller yerine beton kazıklar ve bağ kirişleri üzerine oturtulmuştur. Bu yaklaşım, hem kazı miktarını hem de temel beton hacmini azaltarak şantiye süresi ve çevresel etki üzerinde olumlu sonuçlar doğurmuştur. Tüm ahşap taşıyıcı elemanların ön üretimli olması sayesinde de yapının strüktürel montajı yaklaşık beş haftalık kısa bir sürede tamamlanmıştır.

İç mekânlarda CLT ve glulam elemanların bilinçli olarak görünür bırakılması, yapının strüktürünü öğrenciler için okunabilir hâle getirerek yapının kendisini öğrenme ortamının bir parçasına dönüştürmektedir. CLT döşemelerin alt yüzeyleri çoğunlukla açıkta bırakılmış; aydınlatma armatürleri ve tesisat elemanları yüzeye montajlı olarak çözülmüştür. Görünür ahşap yüzeylerde kullanılan yerel ağaçlar ve kaplamalar ise doğal yaşlanmaya bırakılarak uzun vadeli bakım ihtiyacının azaltılması hedeflenmiştir.

Enerji performansı ve sürdürülebilirlik, projenin temel tasarım girdilerinden biridir. Yapıda odun peletli ısıtma sistemi ve çatı üzeri güneş panelleri kullanılmıştır. Bu özellikler sayesinde binanın yıllık karbon salımı yaklaşık 8,1 kg CO₂/m² seviyesine düşürülmüştür. Yüksek hava sızdırmazlığı, iyi ısı yalıtımı ve ahşabın düşük gömülü karbon değeri bir araya gelerek yapının yüksek enerji performansı göstermesini sağlamıştır.

KAYNAKÇA

- Gagnon, S., Pirvu, C. (Eds.). (2011). CLT Handbook: Cross-Laminated Timber. FPInnovations, Québec.
- KLH Massivholz GmbH. (2010). West Buckland School – Project Description and Technical Data. KLH UK / KLH Massivholz, Austria–UK.
- Rundell Associates. (2010). West Buckland School, Devon – Architectural Project Information. London, UK.
- Atelier One. (2010). Structural Design Report: West Buckland School. London, UK.
- Pearce Construction (Barnstaple) Ltd. (2010). Construction and Prefabrication Process Report. Devon, UK.
- BRE Global. (2010). BREEAM Assessment Report – West Buckland School. Building Research Establishment, UK.
- RICS. (2010). RICS Sustainability Award Documentation. Royal Institution of Chartered Surveyors, London.
- RIBA. (2010). RIBA Regional Award Jury Report – West Buckland School. Royal Institute of British Architects, London.
- Smith, R. E. (2014). Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction. John Wiley & Sons, New York.

12. WILLIAM PERKIN HIGH SCHOOL



Şekil 1 <https://fcbstudios.com/projects/william-perkin-school/>



Şekil 2 <https://fcbstudios.com/projects/william-perkin-school/>

Şekil 3 <https://cdn.pefc.org/igen/pefc.org/media/2018-11/>



Şekil 4 <https://www.ribaj.com/media/2udgqrsi/>

Şekil 5 <https://twyfordacademies.org.uk/our-schools/william-perkin>



- **Yapı adı:** William Perkin High School
- **Yapı türü:** Eğitim yapısı
- **Konum:** Greenford, Londra, Birleşik Krallık
- **Mimar:** Feilden Clegg Bradley Studios
- **Taşıyıcı sistem:** CLT + glulam hibrit sistem
- **CLT tedarikçisi:** KLH Massivholz / KLH UK
- **Ana yüklenici:** Kier Construction
- **İşveren:** William Perkin Church of England High School / Twyford Academies Trust
- **Toplam Yapım Bedeli:** ~£20 milyon
- **Tamamlanma yılı:** 2013
- **Sertifikasyon:** BREEAM

William Perkin High School, Batı Londra'nın Greenford bölgesinde yer alan, yaklaşık 1.450 öğrenci kapasiteli ve dört katlı bir eğitim yapısıdır. Yapı, tasarım sürecinin başlangıcında betonarme çerçeve sistem olarak planlanmış; ancak proje ilerledikçe CLT ve glulam hibrit taşıyıcı sisteme geçilmiştir. Bu değişiklik, hem inşaat süresinin kısaltılmasına hem de yapının çevresel performansının önemli ölçüde iyileştirilmesine olanak sağlamıştır.

Taşıyıcı sistem, yük taşıyan CLT dış duvar panelleri ile bu duvarlar üzerine oturan geniş açıklıklı glulam kirişler tarafından taşınan CLT döşeme ve çatı plaklarından oluşmaktadır. CLT duvar panelleri yaklaşık 208 mm'den 95 mm'ye kadar değişen kalınlıklarda tasarlanmıştır. İç mekânlarda yer alan duvarların büyük bölümü taşıyıcı olarak çalışmamaktadır. Bu yaklaşım, eğitim yapısının gelecekteki mekânsal dönüşümlere uyum sağlayabilecek esnek bir plan şemasına sahip olmasına imkân tanımaktadır. Döşeme ve çatı sistemlerinde kullanılan 230 mm kalınlığındaki CLT paneller, yaklaşık 7,5 metreye kadar açıklık geçebilecek şekilde tasarlanmıştır. Yapıda yer alan büyük pencere açıklıkları da CLT panellerde ilave lento ya da çevresel çerçeve elemanlarına ihtiyaç duyulmadan oluşturulmuştur. Atrium üzerindeki çatı ışıklıkları ile ana merdiven boşluğu da tamamen CLT elemanlarla oluşturularak yapı genelinde malzeme sürekliliği sağlanmıştır.

Yapıda toplam yaklaşık 3.860 m³ ahşap kullanılmıştır. Betonarme sistemden CLT ve glulam taşıyıcı sisteme geçilmesi sayesinde, üst yapıda yaklaşık 1.500 ton CO₂ salımının önlendiği hesaplanmaktadır. Buna ek olarak kullanılan ahşap elemanlar bünyelerinde yaklaşık 3.000 ton CO₂ depolamaktadır. Yapının işletme sürecinde, yaklaşık beş yıl içerisinde, ahşap bünyesinde depolanan karbon miktarının, işletme kaynaklı emisyonlara eşitleneceği öngörülmektedir.

CLT panellerin büyük ebatlı ve az birleşimli elemanlar olarak kullanılması, yapı kabuğunda yüksek düzeyde hava sızdırmazlığı elde edilmesini sağlamıştır. Yapı, 2,37 hava sızdırmazlık değeri ile eğitim

yapıları için oldukça iyi bir performans göstermektedir. Bu yüksek hava sızdırmazlık seviyesi, mekanik havalandırma sistemlerinin daha verimli çalışmasına katkıda bulunmuştur. Bu okul yapısı benzer ölçekli geleneksel okul binalarına kıyasla yaklaşık %60 daha düşük enerji tüketim değerlerine ulaşarak BREEAM “Very Good” seviyesinde sertifikalandırılmıştır.

Yapım süreci büyük ölçüde prefabrikasyon esaslı yürütülmüş olup CLT taşıyıcı sistemin montajı yaklaşık 19 haftada tamamlanmıştır. CLT sistemin görece hafifliği sayesinde yapı için büyük ve derin temel sistemlerine ihtiyaç duyulmamıştır. Prefabrikasyon esaslı üretim yaklaşımıyla CLT paneller büyük ölçüde şantiyeye hazır olarak getirilmiş; montaj süreci kuru yapım yöntemiyle kısa sürede tamamlanmıştır. Ahşap yapı anlayışı yalnızca taşıyıcı sistemle sınırlı kalmamış; iç mekânlarda açıkta bırakılan CLT yüzeyler ve CLT'den üretilmiş resepsiyon bankosu gibi elemanlarla bu yaklaşım mimari kimliğin bir parçası hâline getirilmiştir.

KAYNAKÇA

- Feilden Clegg Bradley Studios. (2013). William Perkin Church of England High School. Project description and technical information. London.
- Ramboll UK. (2013). Structural design of CLT school buildings: William Perkin High School. Ramboll technical project documentation.
- KLH Massivholz UK. (2013). Cross-laminated timber in educational buildings: William Perkin High School. KLH technical case study.
- BRE Global. (2013). BREEAM assessment report: William Perkin Church of England High School. Building Research Establishment, UK.

13. NORTHERN LIGHTS COLLEGE TRADES TRAINING CENTRE



Şekil 1 <https://sabmagazine.com/wp-content/uploads/2020/11/NLC-Trades-Training-Centre.pdf>



Şekil 2 <https://cdnarchitect.s3.ca-central-1.amazonaws.com/2020/08/26182130/NL-1409.jpg>

Şekil 3 <https://sabmagazine.com/wp-content/uploads/2020/11/NLC-Trades-Training-Centre.pdf>.



Şekil 4 <https://cdnarchitect.s3.ca-central-1.amazonaws.com/2020/08/26182122/NL-1305.jpg>

- **Yapı adı:** Northern Lights College Trades Training Centre
- **Konum:** Dawson Creek, British Columbia, Kanada
- **Yapı Türü:** Teknik eğitim ve atölye yapısı
- **Yaklaşık alan:** 5.600 m²
- **Tamamlanma tarihi:** Eylül 2018
- **Mimar:** McFarland Marceau Architects
- **Yüklenici:** Leducor Construction
- **Taşıyıcı sistem:** CLT panel ve glulam kirişler
- **Sertifikalar / ödüller:** LEED Gold, 2020 Wood Design & Building Magazine Honor Award, 2020 Canadian Green Building Awards – Institutional Award

Northern Lights College Trades Training Centre, Kanada'nın kuzeyinde, Dawson Creek kentinde, sert iklim koşulları altında tasarlanmış ve inşa edilmiş bir teknik eğitim yapısıdır. Kış aylarında sıcaklığın -40 °C'ye kadar düşmesi, kısa inşaat sezonu ve yüksek ısıtma gereksinimi, projede hem yapım stratejilerini hem de mimari kararları belirleyen temel girdiler olmuştur. Bu bağlamda yapı, masif ahşap sistemlerin (çapraz lamine ahşap ve glulam) yalnızca taşıyıcı bir çözüm olarak değil, aynı zamanda mekânsal konfor, mimari dil ve sürdürülebilirlik aracı olarak nasıl kullanılabileceğini ortaya koyan nitelikli bir örnek sunmaktadır. Yaklaşık 5.600 m² büyüklüğündeki yapı, marangozluk, kaynak, tesisat, değirmencilik ve rüzgâr türbini teknolojileri gibi uygulamalı eğitim alanlarını içermektedir. Geleneksel atölye yapılarında sıklıkla görülen dışa dönük servis alanları yerine, sert iklim koşullarına uyum sağlamak amacıyla tüm ana işlevler iç mekânda toplanmış; plan organizasyonu, merkezi bir iç hacim etrafında şekillendirilmiştir.

Taşıyıcı sistemde çapraz lamine ahşap paneller yapının ana strüktürel bileşenlerinden biri hâline getirilmiştir. CLT paneller, kesme duvarları, atölye bölücülere ve ağır ekipman yüklerini karşılayabilen yüksek taşıma kapasiteli yüzeyler olarak kullanılmıştır. Geniş açıklık gerektiren atölye hacimlerinde ise glulam kirişler, CLT sistemle birlikte çalışarak kolonsuz ve esnek mekânlar oluşturmuştur. CLT'nin yüksek rijitliği, eğitim hacimlerinde kolon ihtiyacını azaltmış; mekânsal süreklilik ve görsel bütünlük elde edilmesini sağlamıştır. CLT duvar panelleri ve çatı elemanlarının büyük ölçüde prefabrik olarak üretilmesi, soğuk iklim koşullarına rağmen şantiye süresinin kısaltılmasını sağlamıştır.

Northern Lights College Trades Training Centre'da ahşap strüktür, bir teknik altyapı gibi gizlenmek yerine açıkta bırakıldığı için öğrencilerin öğrenme sürecinin aktif bir parçası hâline gelmektedir. Ahşap lameller

ve masif ahşap yüzeyler, akustik yankıyı azaltarak gürültülü atölye ortamlarında işitsel konforu artırmaktadır ve aynı zamanda mekâna sıcaklık kazandırmaktadır. Yangın güvenliği, CLT panellerin mühendislik hesaplarıyla belirlenen yangın dayanım sürelerini karşılaması ve Kanada standartlarına uygun detay çözümleriyle sağlanmıştır.

Enerji performansı açısından yapı, çok katmanlı bir sürdürülebilirlik stratejisiyle ele alınmıştır. Güney cephesinde yer alan güneş duvarı sistemi ile taze hava ön ısıtmaya tabi tutulmaktadır. Çatıdan toplanan yağmur suyu da binada bazı kullanımlar için değerlendirilmektedir. Yapının ana ısıtma sistemi, atık odun yongalarıyla çalışan biyoyakıt kazanı ve ısı pompası kombinasyonuna dayanmaktadır. Bu stratejiler sayesinde yapının operasyonel enerji kullanım yoğunluğu 184,3 kWh/m²-yıl seviyesine düşürülmüştür. Bu değer, Kanada'da 2010 sonrası eğitim yapıları için bildirilen ortalama değerlerin (≈283 kWh/m²-yıl) altında kalmıştır. Yapı, bu performansıyla LEED Gold sertifikası almıştır. Ayrıca yapıda masif ahşap strüktürlerin kullanımı karbon depolama yoluyla gömülü karbon açısından da önemli kazanımlar sağlamıştır. CLT ve glulam sistemler, yapının çevresel performansını güçlendirirken, sert kuzey ikliminde enerji talebi, rüzgâr yükleri ve kullanıcı konforu arasındaki ilişkinin bütüncül biçimde ele alınmasına olanak tanımıştır.

KAYNAKÇA

- Canadian Architect. A Warm Respite: Northern Lights College Trades Training Centre (n.d.). Dawson Creek, British Columbia. <https://www.canadianarchitect.com/a-warm-respite-northern-lights-college-trades-training-centre-%E2%80%A8dawson-creek-british-columbia/>
- McFarland Marceau Architects. Northern Lights College Trades Training Centre – Project Information.
- SABMag. (2020). Northern Lights College – Trades Training Centre [PDF]. sabmagazine.com
- SABMag. (2024). Trades Training Centre, Northern Lights College [PDF]. sabmagazine.com
- Equilibrium Consulting. (n.d.). Northern Lights College, Trades Training Centre (Project page). equilibrium-eq.com
- Equilibrium Consulting. (2023). Trades Training Centre at Northern Lights College – project highlight (LinkedIn post).

14. DALSTON WORKS BİNASI



Şekil 1-3 <https://www.dezeen.com/2023/03/23/dalston-works-waugh-thistleton-architects-timber-revolution/>



Şekil 4-5 <https://www.archdaily.com/903839/worlds-largest-clt-building-provides-a-model-for-high-density-urban-housing>

- **Yapı Adı:** Dalston Works
- **Konum:** Dalston Lane, Hackney, Londra, Birleşik Krallık
- **Yapı Türü:** Konut + ticari hacimler
- **Yıl:** 2017
- **Mimar / Ofis:** Waugh Thistleton Architects
- **Kat Sayısı:** 5-10 kat
- **Toplam Birim Sayısı:** 121 daire (1, 2, 3 odalı konutlar)
- **Alan:** Yaklaşık 14,400-15,000 m²
- **Taşıyıcı Sistem:** CLT duvarlar, döşemeler, çekirdekler ve merdiven elemanları
- **Ödüller:** RICS 2018 Shortlisted, BCIA Carbon Reduction Initiative of the Year 2018 Shortlisted, Evening Standard Eco Living Award 2018 Winner

Dalston Works projesinde taşıyıcı sistem, tamamen çapraz lamine ahşap paneller üzerine kurgulanmıştır. Yapıda dış taşıyıcı duvarlar, iç bölücü duvarlar, merdiven ve asansör çekirdekleri ile döşeme plakalarının tamamı CLT panellerden oluşmaktadır. Bu yönüyle Dalston Works, CLT'nin çok katlı konut ölçeğinde ana taşıyıcı sistem olarak kullanıldığı en kapsamlı örneklerden biri olarak değerlendirilir. CLT paneller, düşey yüklerin taşınmasının yanı sıra yapının yatay stabilitesinin sağlanmasında da etkin rol üstlenmektedir. Duvar ve döşeme panellerinin birlikte çalıştığı bu sistem, rijit bir kutu davranışı oluşturarak rüzgâr ve yatay yüklerin güvenli biçimde temellere aktarılmasını sağlamaktadır. Yapı elemanlarına bağlı olarak CLT panel kalınlıkları değişmekte; duvar panellerinde yaklaşık 102-140 mm, döşeme panellerinde ise 102-203 mm aralığında kalınlıklar kullanılmaktadır. Alt katlarda artan yükler nedeniyle daha kalın döşeme panelleri tercih edilmiştir.

Projede kullanılan toplam CLT miktarı yaklaşık 3.852 m³ olarak belirtilmiştir. CLT paneller, Avrupa menşeli ladin esaslı ürünler olup, Binderholz tarafından tedarik edilmiştir. CLT'nin yüksek taşıma kapasitesi ve düşük ağırlığı sayesinde yapı, eşdeğer betonarme bir çözüme kıyasla yaklaşık beşte bir ağırlık elde edilmiştir. CLT duvarların üzeri dış cephede tuğla ile kaplanmıştır. Bu yaklaşım, CLT yapının dışarıdan okunurluğunu azaltmış ancak çevredeki Viktorya ve Edward dönemi yapı dokusuyla uyumlu bir kentsel silüet oluşturmuştur. Yapım sürecinde prefabrik CLT panellerin kullanılması, şantiye organizasyonunu önemli ölçüde etkilemiştir. Fabrikada üretilen panellerin sahada hızlı montajı sayesinde, malzeme teslimat sayısı yaklaşık %80 oranında azaltılmış, inşaat süresi kısaltılmış ve çevresel etkiler sınırlandırılmıştır.

Karbon performansı açısından değerlendirildiğinde, Dalston Works projesinde CLT taşıyıcı sistem kullanımı sayesinde geleneksel betonarme çözümlere kıyasla önemli ölçüde gömülü karbon azaltımı

sağlanmıştır. Farklı kaynaklarda, yapının bünyesinde yaklaşık 2.400–2.866 ton CO₂ eşdeğerinin depolandığı veya emisyon olarak önlendiği belirtilmektedir. Bu değerler, CLT'nin karbon depolama kapasitesi ile birleştirildiğinde, projenin çevresel performansını açık biçimde ortaya koymaktadır. Dalston Works, yüksek yoğunluklu konut üretiminde CLT'nin yalnızca yapısal bir alternatif değil; aynı zamanda hızlı inşaat, karbon azaltımı ve kentsel bağlamla uyumlu mimari çözümler sunabilen bir sistem olduğunu göstermektedir.

KAYNAKÇA

- ArchDaily. (2018). World's largest CLT building provides a model for high-density urban housing: Dalston Works / Waugh Thistleton Architects. <https://www.archdaily.com/903839/worlds-largest-clt-building-provides-a-model-for-high-density-urban-housing>
- Waugh Thistleton Architects. (2017). Dalston Works. <https://waughthistleton.com/dalston-works/>
- Architect Magazine. (2017). Dalston Works: The world's largest CLT building. https://www.architectmagazine.com/technology/architectural-detail/dalston-works-the-largest-clt-building-in-the-world_o
- Regal London. (2017). Dalston Works-Build to rent residential development. <https://www.regal.co.uk/project/dalston-works/>
- Construction Management. (2016). World's largest CLT building starts on site in Hackney. <https://constructionmanagement.co.uk/worlds-largest-clt-building-starts-site-hackney/>
- Architecture Today. (2018). Dalston Works. <https://architecturetoday.co.uk/dalston-works/>
- TRADA. (2018). Yearbook: Tall timber and CLT buildings- Dalston Works case study. <https://www.trada.co.uk>
- PBCToday. (2018). Dalston Works project showcases the future of cross-laminated timber. <https://www.pbctoday.co.uk/news/planning-construction-news/dalston-works-project-showcases-the-future-of-cross-laminated-timber/36089/>
- Binderholz. (n.d.). Cross-laminated timber projects: Dalston Works. <https://www.binderholz.com>

15. GARE MARITIME



Şekil 1 https://www.ubm-development.com/magazin/wp-content/uploads/2020/10/OPENER_GareMaritime_BB_SarahBlee-2-1024x576.jpg



Şekil 2 https://www.ubm-development.com/magazin/wp-content/uploads/2020/10/S_01Gare-Maritime_NRA_FilipDujardin.jpg



Şekil 3 https://www.ubm-development.com/magazin/wp-content/uploads/2020/10/S_06GareMaritime_NRA_FilipDujardin-1.jpg

- **Yapı Adı:** Gare Maritime
- **Konum:** Brüksel, Belçika (Tour & Taxis bölgesi)
- **Yapı Türü:** Yeniden işlevlendirilmiş endüstriyel yapı
- **Orijinal Yapım Yılı:** 1907
- **Yeniden İşlevlendirme:** 2017–2020
- **Mimar:** Neutelings Riedijk Architects
- **Statik / Yapı Mühendisliği:** Bureau Bouwtechniek, Ney & Partners
- **İşveren:** Extensa Group
- **Toplam Alan:** ~45.000 m²
- **Ahşap Sistem:** CLT + glulam

Gare Maritime, 20. yüzyılın başında Brüksel'in en önemli lojistik yapılarından biri olarak inşa edilmiş, uzun yıllar boyunca demiryolu ve denizyolu taşımacılığına hizmet etmiştir. 1980'li yıllardan sonra terk edilen yapı, Neutelings Riedijk Architects tarafından geliştirilen proje kapsamında büyük ölçekli bir kamusal iç mekâna dönüştürülmüştür. Projenin en ayırt edici özelliği, mevcut dökme demir taşıyıcı kabuğun korunması ve bu kabuğun içine, tamamen bağımsız CLT temelli yeni yapılar yerleştirilmiş olmasıdır. Böylece tarihî strüktür zarar görmeden, güncel işlevler için yeni bir iç mimari ve taşıyıcı sistem oluşturulmuştur. Bu yaklaşımda mevcut strüktür, yeni eklenen hacimler için bir yük taşıyıcı olarak değil, büyük ölçekli bir koruyucu kabuk ve kamusal iç mekân çerçevesi olarak ele alınmıştır. Yeni işlevler, “bina içinde bina” prensibiyle çözümlenmiş ve tarihî yapı ile yeni ahşap sistem arasında doğrudan yük aktarımı kurulmamıştır.

Tarihî kabuğun içinde konumlanan 12 adet çok katlı pavyon, ana taşıyıcı sistem olarak CLT ve glulam elemanlardan oluşmaktadır. Bu pavyonlar; ofisler, ticari birimler, restoranlar ve kamusal alanları barındırmakta olup, her biri modüler ve sökülebilir bir taşıyıcı kurgu ile tasarlanmıştır. Pavyonların düşey sirkülasyon çekirdekleri (merdiven ve asansör shaftları) CLT panellerle oluşturulmuştur. Döşeme sistemlerinde, geniş açıklıkların geçilebilmesi amacıyla glulam nervürler üzerine oturan CLT paneller kullanılmıştır. Bu nervürlü döşeme sistemi, hem yapısal verimlilik hem de mekânsal esneklik sağlayarak pavyonların iç mekânlarında kolon sayısının azaltılmasına olanak tanımıştır.

Projede kullanılan toplam ahşap miktarı yaklaşık 9.000 m³ olarak belirtilmektedir. Bunun yaklaşık 6.000 m³'ü CLT, yaklaşık 3.000 m³'ü glulam elemanlardan oluşmaktadır. Ayrıca sınırlı miktarda LVL elemanlar da belirli yapısal detaylarda kullanılmıştır. Yeni iç hacimler, tarihî yapının ritmine uyum sağlayacak şekilde 1,20 m × 1,20 m modüler ızgara sistemi üzerine yerleştirilmiştir. Bu modüler yaklaşım, hem prefabrikasyon sürecini kolaylaştırmış hem de yeni ahşap yapıların mevcut dökme demir kolon akslarıyla görsel bir uyum içinde konumlanmasını sağlamıştır. Pavyonlar arasında oluşturulan geçiş

köprüleri ve merdivenler de ahşap esaslı sistemle tasarlanmıştır. Yapım sürecinde CLT ve glulam elemanlar yüksek düzeyde prefabrikasyon ile üretilmiş ve şantiyede kuru montaj prensipleriyle birleştirilmiştir.

Sürdürülebilirlik yaklaşımı, Gare Maritime projesinin temel tasarım parametrelerinden biridir. Yapıda, fosil yakıtsız kullanım ve enerji-nötr hedefler bağlamında çatı ve cephelere entegre edilen yaklaşık 17.000 m² fotovoltaik panel yer almaktadır. Ayrıca projede jeotermal enerji sistemleri ve yağmur suyu geri kazanımı sistemleri de bulunmaktadır.

KAYNAKÇA

- Neutelings Riedijk Architects. (n.d.). Gare Maritime. Erişim tarihi: Ekim 2025. <https://www.neutelings-riedijk.com/projects/gare-maritime>
- ZÜBLIN Timber GmbH. (n.d.). Gare Maritime, Brussels, Belgium. Erişim tarihi: Ekim 2025. <https://www.zueblin-timber.com>
- Ney & Partners. (n.d.). Gare Maritime Inner Volumes. Erişim tarihi: Ekim 2025. <https://www.ney.partners/projects/gare-maritime>
- ArchDaily. (2021, June 3). Gare Maritime Offices / Neutelings Riedijk Architects + Bureau Bouwtechniek. Erişim tarihi: Ekim 2025. <https://www.archdaily.com/962495/gare-maritime-offices-neutelings-riedijk-architects-bureau-bouwtechniek>

16. SARA CULTURAL CENTRE



Şekil 1 https://static.dezeen.com/uploads/2023/03/sara-kulturhus-skelleftea-sweden-white-arkitekter-cross-laminated-timber_dezeen_2364_hero-1704x959.jpg

Şekil 2 <https://www.mbbm-aso.com/wp-content/uploads/2021/12/skelleftea-mbbm-aso-vivace.jpg>



Şekil 3-4 https://static.dezeen.com/uploads/2021/09/sara-kulturhus-skelleftea-sweden-white-arkitekter-cross-laminated-timber_dezeen_2364_col_21.jpg



Şekil 5 <https://images.adsttc.com/media/images/611c/3d8d/f91c/8121/2100/0070/>

- **Yapı Adı:** Sara Cultural Centre
- **Yapı Türü:** Kültür merkezi + kütüphane + tiyatro + müze + otel
- **Konum:** Skellefteå, İsveç
- **Mimar:** White Arkitekter
- **Tamamlanma Yılı:** 2021
- **Kat Sayısı:** Kültür bloğu + 20 katlı ahşap kule (otel)
- **Toplam Alan:** ~30.000 m²
- **Taşıyıcı Sistem:** CLT + glulam

Sara Kültür Merkezi, çok katlı ve karma kullanımlı yapılarda ahşap teknolojilerinin kullanılabilirlik düzeyini temsil eden bir örnektir. Yapının taşıyıcı sisteminde büyük açıklıklar gerektiren tiyatro ve kültür mekânlarında glulam kolon ve kiriş sistemleri tercih edilirken, daha modüler ve düşey yük ağırlıklı bir organizasyona sahip otel kulesinde CLT taşıyıcı duvarlar ve döşeme panelleri ana taşıyıcı elemanlar olarak kullanılmıştır. Otel kulesi, iki adet CLT asansör çekirdeği etrafında organize edilmiştir. CLT kat döşemeleri ile perde duvarların birlikte çalışması sayesinde, kule boyunca belirgin bir kutu etkisi elde edilmiştir.

Binadaki taşıyıcı duvarlarda ağırlıklı olarak 5 ve 7 katmanlı CLT paneller, döşemelerde ise titreşim ve sehim kontrolünü sağlayacak daha kalın paneller tercih edilmiştir. Düşey taşıyıcı elemanlarda süreklilik sağlayan daha ince kesitler, döşemelerde daha kalın kesitler kullanılarak sistem optimize edilmiştir. Betonarme elemanlar, bodrum katlarında ve mekanik hacimlerde sınırlı ölçüde kullanılmıştır. Alt kotlarda geniş ve kolonsuz alan gerektiren bazı mekânlarda ise çelik kirişler kullanılmıştır. Yapının yatay yük taşıma ve titreşim davranışı, özellikle otel kulesinin yüksekliği nedeniyle tasarım sürecinin en kritik noktalarından biri olmuştur. Rüzgâr yükleri, CLT çekirdekler ve perde duvarlar aracılığıyla karşılanmıştır.

Yapı, CLT'nin açıkta bırakıldığı büyük ölçekli kamu yapılarından biri olup, yangın güvenliğinde CLT'nin kömürleşme prensibine dayalı performansından faydalanılmıştır. Ayrıca binada yangın geciktirici işlemler, sprinkler sistemleri ve detay çözümleriyle de desteklenmiştir.

Karma kullanımlı bir kültür yapısı olması nedeniyle akustik performans, taşıyıcı sistem kararlarıyla birlikte ele alınmıştır. Tiyatro ve konser salonlarında kullanılan biçimlendirilmiş ve açılı ahşap paneller, hem mimari ifade hem de yansıma kontrolü açısından etkin rol oynamaktadır. Kütüphane ve okuma alanlarında CLT yüzeyler ek

akustik katmanlarla desteklenmiş; CLT döşemelerde ise darbe sesi yalıtımı için katmanlı sistemler uygulanmıştır.

Yapıda kullanılan tüm ahşap elemanlar, Skellefteå çevresindeki yaklaşık 60 km yarıçaplı ormanlardan temin edilmiş; CLT ve glulam elemanlar bölgesel tesislerde prefabrike şekilde üretilmiştir. Bu sayede taşıma kaynaklı karbon salımı azaltılmış, yerel üretim ve bölgesel ekonomi desteklenmiştir. Yapının bünyesinde depolanan biyojenik karbon miktarının, inşa sürecinde ortaya çıkan karbon salımının yaklaşık iki katına karşılık geldiği hesaplanmıştır. Bu yönüyle yapı, yaşam döngüsü boyunca karbon-negatif olma potansiyeli taşımaktadır.

KAYNAKÇA

- White Arkitekter. (n.d.). Sara Kulturhus, Skellefteå. <https://whitearkitekter.com>
- ArchDaily. (2021). Sara Cultural Centre / White Arkitekter. <https://www.archdaily.com>
- Dezeen. (2021). Sara Kulturhus by White Arkitekter brings one of the world's tallest timber buildings to Skellefteå. <https://www.dezeen.com>
- The Guardian. (2021). Wainwright, O. Sara Kulturhus: a giant timber building for a green city. <https://www.theguardian.com>
- RIBA Journal. (2021). Sara Kulturhus, Skellefteå – White Arkitekter. <https://www.ribaj.com>
- White Arkitekter. (2021). Sara Kulturhus – sustainability and carbon assessment report (Project documentation). <https://whitearkitekter.com>
- Stora Enso. (n.d.). Sara Kulturhus – Mass timber solutions. <https://www.storaenso.com>
- Martinsons. (n.d.). Sara Kulturhus – CLT and glulam timber supply. <https://martinsons.se>
- Skellefteå Municipality. (2016). Sara Cultural Centre competition documentation. <https://skelleftea.se>
- International Journal of Architectural Engineering & Technology. (2022). High-rise timber buildings: the case of Sara Kulturhus.
- Timber Development UK. (2022). Tall timber buildings and fire strategy: Sara Kulturhus. <https://timberdevelopment.uk>
- Swedish Wood. (2021). Wood solutions in large-scale cultural buildings: Sara Kulturhus. <https://www.swedishwood.com>

17. LCT ONE BİNASI



Şekil 1-4 <https://www.creebuildings.com/wp-content/uploads/project-images/4FU9B1AT87VBN-PreviewLg.png>

- **Yapı Adı:** LCT ONE – LifeCycle Tower ONE
- **Konum:** Fäbergasse 17b, Dornbirn, Vorarlberg, Avusturya
- **Yapı Türü:** Ofis
- **Yapım yılı:** 2011-2012
- **Kat Sayısı:** 8 kat, ~27 m yüksekliğinde
- **Toplam Alan:** ~2300 m²
- **Mimari:** Hermann Kaufmann + Partner ZT
- **Yapı Sahibi:** CREE GmbH, Rhomberg Bau
- **Taşıyıcı Sistem:** Prefabrik modüler (ahşap-hibrit)
- **Serifikalar:** LEED Platinum ve ÖGNI Platinum

LCT ONE çok katlı ofis yapısı, ahşap yapı teknolojilerinin, betonun ve çeliğin bir arada kullanıldığı hibrit bir taşıyıcı sistem kurgulanmıştır. Yapının ana taşıyıcı sistemi, glulam kolonlar, prefabrik hibrit döşeme panelleri ve betonarme çekirdeklerden oluşmaktadır. Betonarme çekirdekler, yangın güvenliği, kaçış yolları ve yatay yüklerin karşılanması açısından temel rol üstlenirken glulam kolon–kiriş sistemi düşey yüklerin taşınmasını sağlamaktadır. CLT, bu yapı sisteminde ana taşıyıcı unsur olarak değil, özellikle döşeme sistemlerinin ve iç taşıyıcı bileşenlerin optimize edilmesinde kullanılan bir mühendislik elemanı olarak değerlendirilmiştir.

Döşeme sistemleri, ahşap–beton hibrit panellerden oluşmakta olup, bu paneller prefabrik olarak üretilmiş ve şantiyede hızlı montaj esasına göre uygulanmıştır. Döşemelerde kullanılan CLT paneller çoğunlukla 5 katmanlıdır. CLT paneller, glulam kolon–kiriş sistemi ile birlikte çalışarak düşey yükleri betonarme çekirdeklere aktarmaktadır. Binadaki rüzgâr ve diğer yatay etkiler ise esas olarak betonarme çekirdekler tarafından karşılanmaktadır. Akustik performans için de döşeme titreşimleri, CLT panellerin üzerine yerleştirilen akustik ara katmanlar ve yüzer döşeme sistemleri ile kontrol altına alınmıştır.

Yangın güvenliği stratejisi, ahşap ve betonun birlikte çalıştığı hibrit sistem yaklaşımıyla ele alınmıştır. CLT elemanlar, ahşabın öngörülebilir kömürleşme (char) davranışı esas alınarak azaltılmış kesit yöntemine göre boyutlandırılmıştır. Betonarme çekirdekler ise kaçış yolları ve yangın güvenliği açısından tamamlayıcı bir güvenlik katmanı oluşturmuştur. Yapı genelinde de REI 90 yangın dayanımına ilişkin testler gerçekleştirilmiştir. Yapım sürecinde de prefabrik CLT panellerin saha montajı son derece hızlı gerçekleştirilmiş olup yapı gövdesi sekiz gün gibi kısa bir sürede yükseltilmiştir. Prefabrikasyon sayesinde yüksek üretim hassasiyeti sağlanmış, şantiye kaynaklı hata riski ve inşaat süresi önemli ölçüde azaltılmıştır.

Enerji performansı ve sürdürülebilirlik yaklaşımı bağlamında yapı, Passive House kriterlerine uygun olarak tasarlanmış olup LEED Platinum ve ÖGNI Platinum sertifikaları ile belgelendirilmiştir. Binanın ısıtma ve soğutması, tavan içine entegre edilmiş paneller aracılığıyla sağlanmış; pencere detayları ve temas noktaları enerji kayıplarını minimize edecek şekilde tasarlanmıştır. Yapının iç hava kalitesi, CO₂ sensörleriyle otomatik olarak kontrol edilen yüksek verimli ısı geri kazanımlı havalandırma sistemi ile yönetilmektedir. Boşluklu döşeme sistemi, mekanik ve elektrik tesisatlarının yapı elemanları içinde çözülmesine olanak tanımıştır. Binada ayrıca günışığı ve hareket sensörlerine dayalı akıllı aydınlatma ve perde sistemleri kullanılmaktadır. Tüm bu özellikler dikkate alındığında LCT ONE binası düşük CO₂ ayak izi, yaşam döngüsü temelli sürdürülebilirlik ve yapı elemanlarının ömrü sonunda yeniden kullanım potansiyeline sahip CLT bir bina olarak ön plana çıkmaktadır.

KAYNAKÇA

- Christanell, E. (2012). LCT ONE – LifeCycle Tower One [Project details]. Cree Buildings. <https://www.creebuildings.com/lct-one/> CREE Buildings
- Hermann Kaufmann + Partner ZT. (2012). LCT ONE – LifeCycle Tower [Project overview]. HK Architekten. <https://www.hkarchitekten.at/en/project/lct-one/> HK Architekten
- Tahan, N. (2014). LCT ONE: A case study of an eight-story wood office building. Construction Specifier. <https://www.constructionspecifier.com/lct-one-a-case-study-of-an-eight-story-wood-office-building/> Construction Specifier
- LifeCycle Tower ONE. (2023). In Wikipedia. https://de.wikipedia.org/wiki/LCT_ONE Vikipedi
- Vorarlberg Tourism. (n.d.). The LifeCycle Tower – Innovative Timber Construction. <https://www.vorarlberg.travel/en/innovative-construction-with-timber/> Urlaub in Vorarlberg

18. FORTÉ APARTMENTS



Şekil 1 <https://www.klh.at/wp-content/uploads/2019/07/>
Şekil 2 www.ancr.com.au



Şekil 3 <https://res.cloudinary.com/>



Şekil 4 <https://resilmount.com/wp-content/uploads/sites/9/2021/09/Forte-Apartments.jpg>

- **Yapı Adı:** Forté Apartments
- **Yapı Türü:** Konut (apartman) + zemin katta ticari birimler
- **Konum:** Victoria Harbour, Docklands, Melbourne, Avustralya
- **Kat Sayısı:** 10 kat
- **Yükseklik:** Yaklaşık 32 m
- **Daire Sayısı:** 23 konut birimi
- **Yapım Yılı:** 2012
- **Mimar:** Lend Lease
- **Taşıyıcı Sistem:** CLT duvarlar ve döşemeler
- **CLT Üretimi:** Avusturya
- **Maliyet:** ~11 M\$

Forté Apartments, taşıyıcı sisteminin tamamı çapraz lamine ahşap panellerden oluşan, çok katlı konut ölçeğinde erken dönem bir uygulamadır. Yapıda dış ve iç taşıyıcı duvarlar, kat döşemeleri ve önemli bölücü elemanlar tamamen CLT panellerle çözülmüş olup betonarme veya çelik bir ana taşıyıcı sistem kullanılmamıştır. Betonarme yapı elemanları yalnızca temel seviyesinde yer almakta, üstyapı tamamen CLT esaslı bir strüktür olarak kurgulanmaktadır.

Projede yaklaşık 759 adet CLT paneli kullanılmıştır. Bu paneller, Avusturya’da fabrika ortamında üretilmiş olup denizyolu ile Melbourne’ye taşınarak şantiyeye ulaştırılmıştır. CLT panellerin montajında yaklaşık 5.500 adet çelik bağlantı elemanı ve 34.500’den fazla vida kullanılmıştır. Bu bağlantı sistemi, prefabrik panellerin hızlı ve hassas bir biçimde monte edilmesini mümkün kılarak düşey ve yatay yüklerin güvenli biçimde aktarılmasını sağlamıştır. Projede kullanılan CLT paneller, 3, 5 ve 7 katmanlıdır. Taşıyıcı duvar panellerinin kalınlıkları yaklaşık 95–128 mm, döşeme panellerinin kalınlıkları ise 128–169 mm aralığında değişmektedir. Rüzgâr etkileri, CLT duvarların kesme duvar davranışı göstermesiyle karşılanmakta; CLT döşemeler ise yatay diyafram olarak çalışarak yüklerin duvarlara güvenli biçimde aktarılmasını sağlamaktadır.

Prefabrik CLT sistem sayesinde, geleneksel betonarme yapım yöntemlerine kıyasla inşaat süresi önemli ölçüde kısalmış, şantiye atıkları ve çevresel rahatsızlıklar azaltılmıştır. Yapının toplam inşaat süresi yaklaşık 9 ay olarak belirtilmektedir. Bu süreç, CLT’nin çok katlı konut yapılarında hız, temizlik ve iş güvenliği açısından sunduğu avantajları açık biçimde ortaya koymaktadır.

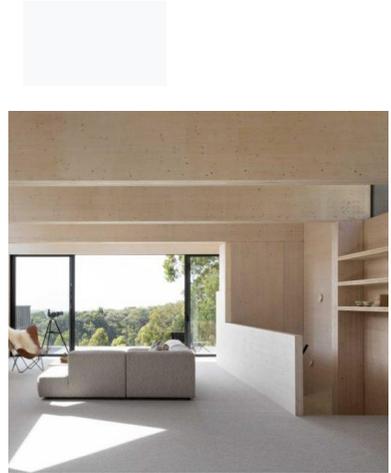
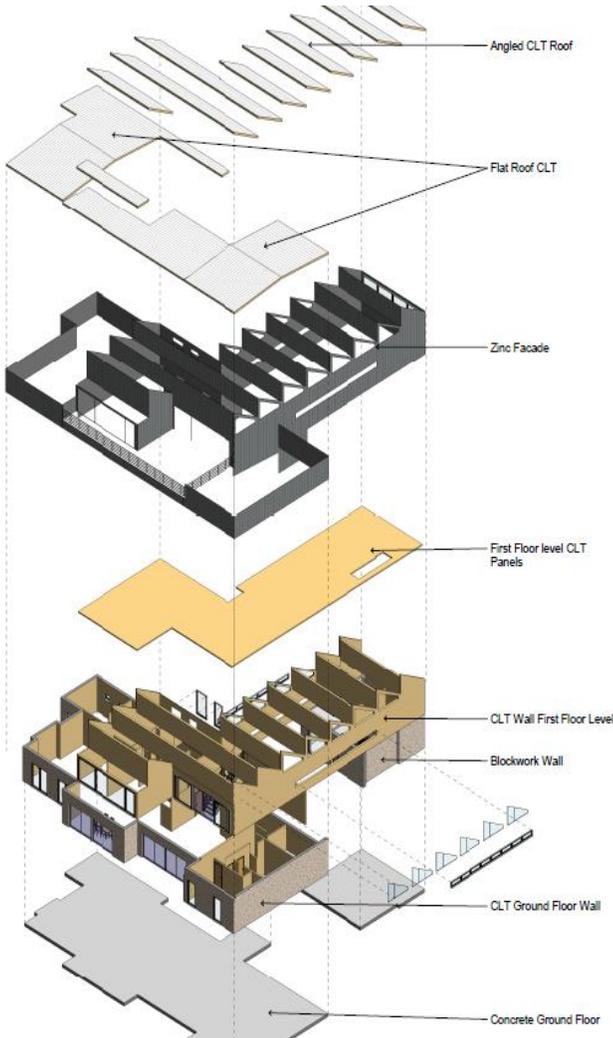
CLT paneller, yangın dayanımı gereksinimlerini karşılamak üzere alçı levha kaplamalar ile korunmuştur. Ayrıca ahşabın yangın sırasında gösterdiği kömürleşme davranışı, taşıyıcı kesitlerin boyutlandırılmasında dikkate alınmıştır. Binanın akustik performansını iyileştirmek ve katlar arası darbe sesini minimuma indirmek için CLT

döşemelerde yüzer döşeme sistemleri ve akustik katmanlar kullanılmıştır. Sürdürülebilirlik açısından değerlendirildiğinde, Forté Apartments'ta CLT taşıyıcı sistem kullanımı sayesinde betonarme ve çelik taşıyıcılı eşdeğer bir yapıya kıyasla yaklaşık 1.400–1.450 ton CO₂ eşdeğeri emisyonun azaltıldığı raporlanmaktadır. Bu değer, yüzlerce aracın yıllık karbon salımına eşdeğer bir kazanım olarak ifade edilmektedir. CLT'nin yenilenebilir bir malzeme olması ve yapıda depolanan biyojenik karbon, Forté Apartments'ı iklim dostu bir konut örneği haline getirmiştir.

KAYNAKÇA

- Lend Lease. (n.d.). Forté Apartments, Victoria Harbour, Docklands, Melbourne. Erişim tarihi: Eylül 2025. <https://www.woodworksinnovationnetwork.org/projects/forte-apartments> Woodworks Innovation Network
- Australian National Construction Review. (n.d.). Forté Apartments (ANCR project overview PDF). Erişim tarihi: Eylül 2025. https://www.ancr.com.au/forte_apartments.pdf ancr.com.au
- Architecture & Design. (2023, March 27). Lend Lease's Forté – Australia's first mass timber high rise building. Erişim tarihi: Ekim 2025. <https://www.architectureanddesign.com.au/editorial/industry-news/Australia-s-first-mass-timber-high-rise-building> architectureanddesign.com.au
- World's tallest cross laminated timber building. (n.d.). Erişim tarihi: Ağustos 2025. <https://architecturenow.co.nz/articles/worlds-tallest-cross-laminated-timber-clt-building/ArchitectureNow>

19. CLT HOUSE



Şekil 1-2 www.archdaily.com/949480/clt-house-fmd-architects

Şekil 3-4 <https://www.iaacblog.com/programs/case-study-clt-house-fmd-architects/>

- **Yapı adı:** CLT House
- **Yapı türü:** Konut
- **Konum:** Avustralya
- **Mimari tasarım:** FMD Architects
- **Yapı alanı:** 560 m²
- **Yapım yılı:** 2019
- **Yapımcı:** CCB Envico Pty Ltd
- **Üretici / tedarikçiler:** Xlam Australia, Stora Enso

CLT House projesi, konut ölçeğinde çapraz lamine ahşabın hem taşıyıcı sistem hem de mimari ifade aracı olarak bütüncül biçimde ele alındığı bir yapı örneğidir. Projede, mevcut bir yapının zemin katı yeniden yapılandırılmış ve bunun üzerine CLT panellerden oluşan yeni bir üst kat eklenmiştir. Yapının ana taşıyıcı sistemi, duvar ve döşemelerde kullanılan CLT panellerden oluşmaktadır. CLT paneller hem düşey yükleri taşımakta hem de yatay stabiliteyi sağlamaktadır. CLT elemanların prefabrik olarak üretilmesi, şantiye süresini kısaltmış ve kırsal bağlamda minimum çevresel etki ile inşa sürecinin tamamlanmasına olanak sağlamıştır.

Projede, vida bağlantıları ve birleşim detayları gizlenmemiş, bilinçli olarak açıkta bırakılmıştır. Bu tercih, yapım tekniğinin okunabilirliğini artırmakta ve CLT'nin yapısal mantığını kullanıcıya doğrudan aktarmaktadır. CLT yalnızca duvar ve döşemelerde değil; kitaplıklar, çalışma masaları, döner kapılar ve bar üniteleri gibi iç mekân elemanlarında da kullanılarak, malzemenin doğal özellikleri ile mekâna sıcak bir atmosfer kazandırılmıştır.

Yapının mimari karakterini belirleyen en önemli unsurlardan biri, yeni eklenen testere dişli çatı sistemidir. Bu çatının ritmik geometrisi, hem mimari ifadeyi zenginleştirirken hem de binanın çevresel performansını artırmıştır. Kuzeye bakan eğimli çatı yüzeylerinde, tepe noktasında yer alan yüksek seviyeli pencereler gün boyunca değişen doğal ışığın iç mekâna alınmasını sağlamaktadır. Bu çatı kurgusu, aynı zamanda geniş bir güneş paneli sisteminin entegrasyonuna olanak tanımaktadır.

Yaklaşık 10 m genişliğindeki açıklıklara sahip duvarlar, çapraz havalandırmayı destekleyen uzun yarık pencerelerle donatılmıştır. Taşıyıcı CLT panellerin düzeni, hem plan hem de kesit düzeyinde net bir yapısal mantık sunmaktadır. Projede CLT malzeme yalnızca bir taşıyıcı sistem aracı olarak değil aynı zamanda mimari organizasyonu belirleyen bir araç olarak da kullanılmaktadır. Proje kapsamında gerçekleştirilen yaşam döngüsü analizine göre, yapıda kullanılan birleşik CLT miktarı 147.601 m³ olarak belirtilmektedir. Bu miktardaki CLT'nin üretimi için yaklaşık 108 ağacın ya da bir hektarlık orman alanının %27'sinin kullanılması gerekmektedir. Ahşap yapıların en

önemli özelliklerinden biri olan karbon depolama kapasitesi açısından değerlendirildiğinde, CLT House'un kullanım ömrü boyunca yaklaşık 259 ton karbonu emip depoladığı ifade edilmektedir. Bu veriler, CLT'nin konut ölçeğinde yalnızca yapısal ve mekânsal değil, aynı zamanda çevresel performans açısından da güçlü bir alternatif sunduğunu göstermektedir.

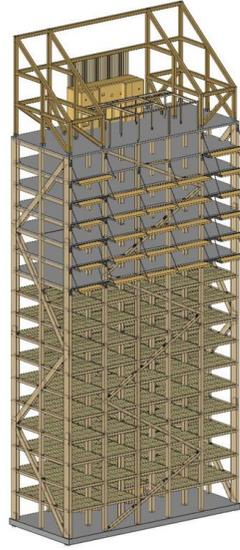
KAYNAKÇA

- ArchDaily. (2020, November 11). CLT House / FMD Architects. ArchDaily. <https://www.archdaily.com/949480/clt-house-fmd-architects>
- Dwell. (2020). CLT House by FMD Architects. Dwell. <https://www.dwell.com/article/clt-house-fmd-architects-australia-wood-home>
- FMD Architects. (n.d.). *CLT House*. <https://fmdarchitects.com.au/projects/clt-house/>
- IAAC Blog. (2022). Case study-CLT House by FMD Architects. Institute for Advanced Architecture of Catalonia. <https://iaac.net/case-study-clt-house-by-fmd-architects/>
- Vistek. (n.d.). Mass timber-CLT House (Merricks). <https://www.vistek.com.au/projects/clt-house-merricks/>
- Hunting for George. (2020). CLT House by FMD Architects. <https://www.huntingforgeorge.com/blogs/journal/clt-house-fmd-architects>
- The Local Project. (n.d.). CLT House by FMD Architects. <https://thelocalproject.com.au/articles/clt-house-by-fmd-architects-fmd-architects/>

20. MJØSA TOWER (MJØSTÅRNET)



Şekil 1-2 <https://www.moelven.com/>



Şekil 3-4 <https://www.moelven.com/mjostarnet/paper-about-the-construction-of-mjostarnet/>



Şekil 5-6 <https://www.metalocus.es/en/news/worlds-tallest-wooden-building-mjosa-tower-voll-arkitekter>

- **Yapı Adı:** Mjøsa Tower (Mjøstårnet)
- **Konum:** Brumunddal, Ringsaker, Norveç
- **Yapı Türü:** Karma kullanım (otel, ofis, konut, restoran, yüzme alanı)
- **Yükseklik:** Yaklaşık 81 m
- **Kat Sayısı:** 18 kat
- **Toplam Kullanım Alanı:** Yaklaşık 11.300 m²
- **Yapım Süreci:** 2017-2019
- **İşveren / Yatırımcı:** AB Invest
- **Mimar:** Voll Arkitekter
- **Ana Yüklenici:** HENT AS
- **Ahşap Taşıyıcı Sistem Üreticisi:** Moelven Limtre AS
- **CLT Üreticisi:** Stora Enso
- **Ana Taşıyıcı Sistem:** Glulam kolonlar, kirişler ve cephe boyunca yerleştirilmiş glulam makaslar, çaprazlı ahşap çerçeve sistem

Mjøstårnet'te taşıyıcı sistem, tamamen ahşap esaslı bir kurguya dayanmaktadır ve yapıda betonarme bir çekirdek bulunmamaktadır. Düşey ve yatay yükler; büyük kesitli glulam kolonlar, kat seviyelerinde yer alan glulam kirişler ve cephe boyunca süreklilik gösteren çaprazlı glulam makaslar aracılığıyla taşınmaktadır. Cepheelerde konumlanan bu makaslar, rüzgâr ve burulma etkilerine karşı yapının rijitliğini sağlamakta; iç mekândaki kolon-kiriş sistemi ile birlikte bütüncül bir ahşap taşıyıcı çerçeve oluşturmaktadır. Bu sistem, yüksek yapılarda yatay stabilitenin betonarme çekirdek olmaksızın da sağlanabileceğini gösteren örneklerden biridir. Yapım sürecinde prefabrikasyon esas alınmış; büyük kesitli glulam elemanlar şantiye öncesinde ön montajdan geçirilmiş ve vinç yardımıyla yerine yerleştirilmiştir.

Projede CLT paneller, ana taşıyıcı sistemin bir parçası olarak değil, belirli ve sınırlı alanlarda ikincil taşıyıcı elemanlar olarak kullanılmıştır. CLT elemanlar, üç adet asansör shaftı ve iki adet merdiven çekirdeğinde duvar elemanı olarak görev yapmakta olup, yapının yatay yük taşıma mekanizmasına doğrudan katkı sağlamamaktadır. Yapıda katlara göre farklı döşeme sistemleri tercih edilmiştir. Alt ve orta katlarda, prefabrik ahşap döşeme sistemi kullanılmıştır. Bu sistem glulam kirişler ile LVL elemanların birlikte çalıştığı prefabrik panellerden oluşmakta ve yaklaşık 7,5 m açıklık geçebilmektedir. Bu döşemeler, CLT döşemelere kıyasla daha hafif bir çözüm sunmakta rijitlik, akustik performans ve yangın dayanımı açısından gerekli kriterleri karşılamaktadır. Bu döşemelerin karbon ayak izinin yaklaşık 65 kg CO₂/m² olduğu belirtilmiştir.

Üst katlarda ise, yapının dinamik davranışını iyileştirmek amacıyla beton döşemeler tercih edilmiştir. Üst katlarda kütlelenin artırılmasıyla, rüzgâr etkisi altında oluşabilecek titreşimlerin sınırlandırılması

hedeflenmiştir. Bu yaklaşım, ahşap yüksek yapılarda yalnızca hafifliğin değil, kontrollü kütle dağılımının da önemli bir tasarım parametresi olduğunu göstermektedir. Taşıyıcı glulam elemanlarda ağırlıklı olarak Norveç ladini kullanılmış, glulam elemanlar GL30c ve GL30h dayanım sınıflarında üretilmiştir. Bağlantı detaylarında çelik plakalar ve paslanmaz çelik dübelleri kullanılırken çelik bağlantılar yangın durumunda korunacak şekilde detaylandırılmıştır. Yangın güvenliği tasarımında, ana taşıyıcı glulam sistem 120 dakika, ikincil taşıyıcı sistemler ise 90 dakika yangın dayanımı sağlayacak biçimde boyutlandırılmıştır. Tasarım sürecinde Eurocode 5 esas alınarak büyük kesitli glulam elemanların yangın sırasında yüzeyde kontrollü bir kömürleşme tabakası oluşturarak iç kesitlerin taşıyıcı kapasitesini koruduğu belirtilmiştir. CLT'nin kullanıldığı merdiven ve asansör çekirdeklerinde yüzeyler alçı levha ile kaplanmıştır. Çelik bağlantılar ise yangın koruma sistemleri ile korunmuştur. Yapının tamamı otomatik sprinkler sistemi ile donatılmıştır.

KAYNAKÇA

- Abrahamsen, R. (2017). Mjøstårnet – Construction of an 81 m tall timber building. International Holzbau Forum (IHF), Garmisch-Partenkirchen, Germany.
- Moelven Limtre AS. (n.d.) Mjøstårnet-Structural system and timber solutions. Erişim tarihi: Eylül 2025, <https://www.moelven.com/>
- Voll Arkitekter. (n.d.). Mjøstårnet project description. Erişim tarihi: Eylül 2025, <https://www.vollarkitekter.no/>
- HENT AS. (n.d.). Mjøstårnet construction project. Erişim tarihi: Eylül 2025, <https://www.hent.no/>
- CTBUH. (n.d.). Mjøstårnet. The Skyscraper Center. Erişim tarihi: Eylül 2025, <https://www.skyscrapercenter.com/>
- Structurae. (n.d.). Mjøstårnet. Erişim tarihi: Eylül 2025, <https://structurae.net/>

BÖLÜM 4

Türkiye’de CLT’nin Gelişimi ve Yapı Pratikleri

4.1 Türkiye’de Ahşap Yapı Kültürü ve CLT

Ahşap, Türkiye coğrafyasında Anadolu’nun farklı bölgelerindeki geleneksel mimari dokunun en belirgin malzemelerinden biri olup taşıyıcı sistemden yapı kabuğuna kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir. Kırsal mimaride yaygın olarak kullanılan ahşap karkas ve yığma sistemler, bağdadi duvar teknikleri, ahşap döşeme ve çatı çözümleri, ahşabın yerel iklim koşullarına uyum sağlayabilen, hafif ve dayanıklı bir yapı malzemesi olarak uzun yıllar boyunca tercih edildiğini göstermektedir. Bu geleneksel yapıların büyük bir kısmı, modern mühendislik hesapları olmaksızın, deneyime dayalı bilgi birikimiyle inşa edilmiştir. Bu yapılarda yakın çevreden elde edinilen yerel ahşap malzeme kullanılmış olup büyük bir çoğunluğu günümüze kadar ayakta kalabilmiştir.

Modern yapı üretim süreçlerinde ise ahşabın kullanım alanının ilk dönemlerde yaygın olmadığı görülmektedir. Özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren Türkiye’de hız kazanan kentleşme süreci, betonarmenin baskın yapı sistemi haline gelmesine neden olmuştur. Ahşap ise yangın dayanımı, bakım gereksinimi ve standartlaşma sorunları nedeniyle yapı sektöründe ikincil bir malzeme olarak yer almıştır. Yapısal çevrenin gelişim süreci büyük ölçüde hız, maliyet ve alışılmış uygulama pratikleri üzerinden şekillenmiş; malzemenin çevresel etkileri ve yaşam döngüsü performansı çoğu zaman geri planda kalmıştır. Ancak son yıllarda, iklim değişikliği ve karbon emisyonları gibi küresel sorunların giderek daha da artması, yapı sektöründe kullanılan malzemelerin yeniden tartışılmasına yol açmıştır (Huang et al., 2018; Chen et al., 2023). Bu süreç, dünya genelinde mühendislik ürünü ahşap malzemelere olan ilgiyi artırmış; özellikle çapraz lamine ahşap, sürdürülebilir yapı üretimi açısından öne çıkan alternatiflerden biri haline gelmiştir. Yüksek taşıma kapasitesi, hafifliği, prefabrikasyona uygunluğu ve düşük gömülü karbon değeri sayesinde CLT, çok katlı yapılarda bile betonarme ve çelik sistemlere rakip olabilecek bir yapı malzemesi olarak değerlendirilmektedir. Yapılan çalışmalarda, CLT kullanımının enerji tüketimini ve karbon emisyonlarını önemli ölçüde azaltabildiği; aynı zamanda endüstriyel üretim ve hızlı montaj avantajları sunduğu görülmektedir (Younis & Dadoo, 2022; D’Amico et al., 2021).

Ülkemiz açısından bakıldığında, CLT’nin bu küresel gelişim sürecine son yıllarda dâhil olabildiği görülmektedir. Yerli üretimin uzun süre gerçekleştirilememesi, ithalata dayalı tedarik zinciri ve sınırlı uygulama deneyimi, CLT’nin yaygınlaşmasını geciktiren temel etkenler arasında yer almaktadır. Ayrıca bu etkenler yalnızca teknik değil, aynı zamanda algısal ve yapısal engelleri de içermektedir. Ahşap yapıların yangın dayanımı ve uzun ömürlülüğü konusundaki yaygın önyargılar, modern mühendislik ürünü ahşap sistemlerin sunduğu performans

avantajlarının yeterince tanınmasını zorlaştırmaktadır. Oysa CLT, tabakalı yapısı sayesinde öngörülebilir bir yanma davranışı sergilemekte ve yangın güvenliği açısından geleneksel ahşap malzemelerden farklı bir konumda yer almaktadır. Benzer şekilde, bakım gereksinimi ve dayanıklılık konusundaki endişeler de, güncel koruyucu sistemler ve detay çözümleriyle büyük ölçüde aşılabilir niteliktedir.

Türkiye'nin deprem kuşağında yer alması ve mevcut yapı stokunun büyük ölçüde enerji verimsiz yapılardan oluşması da, CLT gibi yenilikçi yapı sistemleri için önemli bir potansiyel barındırmaktadır. Nitekim son yıllarda yapılan akademik çalışmalar, CLT sistemlerin Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinde enerji, karbon ve maliyet açısından önemli potansiyeller sunduğunu ortaya koymaktadır (Akkan Çavdar & Lakot Alemdağ, 2025). Ayrıca, ahşap yapıların tasarım ve yapım esaslarını tanımlayan, güncel uluslararası standartlara paralel olarak hazırlanmış ve Ocak 2025'de yürürlüğe giren Türkiye Ahşap Bina Yönetmeliği (TABY) de ülkemizde CLT'nin yapı sistemleri içindeki yerinin resmî olarak tanınması açısından önemli bir eşik olarak değerlendirilebilir. Bu tür düzenlemeler, CLT ve benzeri mühendislik ürünü ahşap malzemelerin kullanımının önünü açan bir çerçeve sunmaktadır.

Son yıllarda Türkiye'de ahşap yapı sistemlerine yönelik ilginin artması, CLT'nin daha görünür hale gelmesine katkı sağlamıştır. Bu ilgi, yalnızca akademik çalışmalarla sınırlı kalmamış; sınırlı sayıda da olsa uygulama örnekleri, deneme üretimleri ve sektörel girişimlerle desteklenmeye devam etmektedir. Her ne kadar yaygın ve standartlaşmış CLT uygulamalarından söz edecek seviyede değilsek de hem küresel eğilimler hem de ülkenin çevresel, yapısal ve ekonomik gereksinimleri dikkate alındığında, CLT malzemeyi ülkemizde gelecekte daha fazla tartışacağımız ve uygulayacağımız öngörülebilir. Bu çerçevede, bir sonraki bölümde Türkiye'de CLT üretimi ve kullanımının mevcut durumu, sektörel girişimler ve uygulama örnekleri üzerinden ele alınmıştır.

4.2. Türkiye'de CLT Sektörü

Türkiye'deki CLT uygulamaları incelendiğinde, sistemin çoğunlukla ahşap karkas, betonarme veya çelik taşıyıcı sistemlerle birlikte hibrit çözümler şeklinde kullanıldığı görülmektedir. Bu yaklaşım, hem mevcut yapı üretim pratiklerine uyum sağlamakta hem de CLT'nin hafifliği, yüksek taşıma kapasitesi ve prefabrikasyon avantajlarından yararlanılmasına olanak tanımaktadır. Her ne kadar CLT, Türkiye'de

yaygın bir yapı sistemi olarak henüz kullanılmasa da, hem üretim hem de uygulama ölçeğinde sektörde önemli gelişmeler yaşanmaktadır.

Türkiye’de CLT alanında faaliyet gösteren firmalar incelendiğinde, üretim ve uygulama süreçlerinin farklı biçimlerde ele alındığı görülmektedir. Güncel durumda ülkede sınırlı sayıda CLT üreticisi bulunmakla birlikte, bu firmalar hem yerli üretim kapasitesi hem de uygulamaya yönelik deneyimleriyle dikkat çekmektedir. Bu kapsamda Naswood ve Sözenler A.Ş. firmaları, Türkiye’de yerli CLT üretimi gerçekleştiren ve tasarım uygulamaları yapan başlıca iki firma olarak öne çıkmaktadır. Ahşap yapı uygulamalarında ülkemizde öne çıkan Asmaz Ahşap A.Ş. ise CLT panelleri yurt dışından tedarik ederek farklı yapı türlerinde uygulamaya aktaran önemli firmalardan biridir. Bu firmaların gerçekleştirdiği projeler, CLT’nin Türkiye koşullarında farklı ölçeklerde ve işlevlerde uygulanabildiğini göstermesi açısından önem taşımaktadır. Eğitim yapıları, konutlar, turizm yapıları ve kamusal kullanımlara yönelik projeler, CLT’nin mimari ve yapısal esnekliğini ortaya koymaktadır.

Asmaz Ahşap Karkas Yapılar, kökeni 1955 yılına uzanan Asmaz İnşaat bünyesinde gelişmiş; 2000’li yıllardan itibaren ahşap karkas yapılar alanında uzmanlaşmış bir firmadır. Şirket, mimari tasarım, mühendislik ve uygulama süreçlerini bütüncül bir yaklaşımla ele almakta; özellikle yapısal ahşap sistemler konusunda Türkiye’deki deneyimli uygulayıcılar arasında yer almaktadır. Asmaz, ahşap karkas taşıyıcı sistemlerle birlikte çapraz lamine ahşap panellerin hibrit çözümler içinde kullanıldığı projeler gerçekleştirmektedir. CLT paneller, ağırlıklı olarak yurt dışından tedarik edilmekte; konut, eğitim ve turizm yapıları gibi farklı yapı türlerinde uygulanmaktadır. Firma tarafından gerçekleştirilen uygulamalar, deprem güvenliği, hızlı montaj ve mimari esneklik gibi ahşap yapı sistemlerinin temel avantajlarını görünür kılmaktadır.

Naswood (Nasreddin orman ürünleri), Türkiye’de CLT üreten ve aynı zamanda uygulama gerçekleştiren öncü firmalardan biridir. Firma, 1990’lı yıllarda hasır ve kamyş ürünleriyle sektöre adım atmış; zaman içinde ahşap yapı elemanları üretimine yönelerek entegre bir üretim yapısına ulaşmıştır. Günümüzde Naswood, Muğla, Antalya ve Ukrayna’daki üretim tesislerinde, geniş bir ürün yelpazesıyla ahşap yapı elemanları üretimini sürdürmektedir. Firma, CLT panellerin yanı sıra lamine ahşap, masif ahşap ve çeşitli yapısal ahşap ürünlerin üretimini gerçekleştirmekte; bu ürünleri konut, turizm, kamusal yapılar ve özel projelerde uygulamaya aktarmaktadır.

Trabzon’da üretim faaliyetlerini sürdüren Sözenler Orman Ürünleri A.Ş. (Szn Wood) ise, Türkiye’de CLT üretimi ve uygulamasını birlikte gerçekleştiren sınırlı sayıda firmalardan biridir. Firma, Berry CLT markasıyla, 10 cm kalınlığında 3 katmanlı ve 14 cm kalınlığında 5 katmanlı olmak üzere iki farklı çapraz lamine ahşap panel üretmektedir. CLT paneller, taşıyıcı duvar ve döşeme uygulamalarında kullanılmak üzere tasarlanmakta; firma, üretimin yanı sıra CLT tabanlı yapıların uygulama süreçlerinde de aktif rol almaktadır. Firma, CLT panellerin yanı sıra masif ahşap, lamine ahşap ve çeşitli yapı elemanları ile mobilya ve ahşap yapı bileşenleri de üretmektedir.

4.3. Türkiye’de CLT Yapı Uygulama Örnekleri

Bu bölümde yer alan yapı örneklerine ilişkin teknik bilgiler; uygulayıcı firmalar tarafından sağlanan proje dokümanları, firma katalogları ve uygulama sürecine ait saha verilerine dayanmaktadır.

- **Pierre Loti Fransız Lisesi**



Bu yapı Türkiye’de yapısal çapraz lamine ahşap kullanılarak inşa edilen ilk eğitim yapısı olması bakımından önemli bir örnektir. Yapı, İstanbul Tarabya’da konumlanmakta olup, mimari tasarımı Erginoğlu Çalışlar Mimarlık tarafından gerçekleştirilmiş; yapısal tasarım ve uygulama süreci Asmaz Ahşap Karkas Yapılar tarafından yürütülmüştür.

İki katlı ve yaklaşık 600 m² kapalı alana sahip olan yapıda, taşıyıcı sistemin temel bileşenleri olarak farklı kalınlıklarda üç katmanlı CLT paneller kullanılmıştır. Yapının tüm taşıyıcı duvarları ve çatı strüktürü CLT panellerle oluşturulmuş; birinci kat döşemesinde ise yapısal lamine ahşap döşeme tercih edilmiştir. Bu sistem kurgusu, CLT’nin taşıyıcı ve yapı kabuğu elemanı olarak birlikte çalışabildiğini göstermesi açısından önem taşımaktadır. Yapının merdiven strüktürü, Asmaz’ın Yalova’daki üretim tesislerinde LVL (lamine kaplama kereste) paneller kullanılarak prefabrik olarak üretilmiş ve şantiyeye hazır halde getirilmiştir. Prefabrikasyon temelli uygulama sayesinde yapının imalat ve montaj süreci yaklaşık 6 hafta gibi kısa bir sürede tamamlanmıştır. Bu yapı, CLT’nin Türkiye’de yalnızca konut veya küçük ölçekli yapılarla sınırlı kalmadığını; kamusal ve uzun süreli kullanım gerektiren eğitim yapılarında da etkin biçimde kullanılabileceğini gösteren bir uygulama olarak değerlendirilebilir.

- **Turgutreis Gülhan Muslu Konakları**



Turgutreis Gülhan Muslu Konakları, Bodrum'un Turgutreis bölgesinde yer alan ve altı konuttan oluşan bir yerleşim projesidir. Proje, ülkemizde 2025 yılında yürürlüğe giren 'Ahşap Binaların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik' hükümlerine uygun olarak tasarlanmış ve bu yönüyle ruhsat almış ilk konut projelerinden biridir. Yapının altyapı ve ahşap strüktür imalatları Asmaz Ahşap Karkas Yapılar tarafından gerçekleştirilmiştir.

Proje, ahşap karkas taşıyıcı sistem ile çapraz lamine ahşap panellerin birlikte kullanıldığı hibrit bir yapı kurgusu üzerine geliştirilmiştir. Projede taşıyıcı sistemin ana omurgasını ahşap karkas elemanlar oluştururken, dış duvarlarda CLT paneller yapı kabuğu ve taşıyıcı eleman olarak birlikte çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Yapılar, betonarme temel ve betonarme bodrum perde duvarlar üzerine oturan, üç katlı, bahçeli nizamda konutlar olarak planlanmıştır. Toplam yaklaşık 1.300 m² ahşap yapı inşaat alanına sahip yerleşimde, duvar, döşeme ve çatı-teras sistemleri tamamen yapısal CLT panellerden oluşturulmuştur. Taşıyıcı sistemin tasarımında, yük aktarım mekanizmaları ve birleşim detayları güncel ahşap yapı mühendisliği esaslarına göre kurgulanmıştır. Projede tercih edilen hibrit sistem, CLT'nin yüksek rijitlik ve stabilite özelliklerini ahşap karkas sistemlerin süneklik kapasitesiyle birleştirmektedir. Bu yaklaşım, özellikle konut yapılarında deprem etkileri altında dengeli bir yapısal davranış elde edilmesine katkı sağlamaktadır. Projede 2025 yılında montaj çalışmalarına başlanmış olup, konutların 2026 yılı ilkbahar döneminde tamamlanarak teslim edilmesi planlanmaktadır.

- **Bursa CLT Dağ Evi**



Bursa’da konumlanan CLT Dağ Evi projesi, çapraz lamine ahşap sistemlerin düşük katlı konut ölçeğinde uygulanmasına yönelik bir örnektir. Yapının tasarım sürecinde bölgenin iklim koşulları ve deprem etkileri dikkate alınmış; CLT panellerin uygulama ve montaj süreci Asmaz Ahşap Karkas Yapılar tarafından yürütülmüştür. Projede kullanılan CLT paneller, Asmaz’ın Yalova’daki tesislerinde kesim, detaylandırma ve montaja hazırlık süreçlerinden geçirilmiş; ardından planlanan lojistik ve montaj programı doğrultusunda şantiye alanında uygulanmıştır. Yapının tüm iç ve dış duvarları, çift yönlü çalışan CLT paneller ile oluşturulurken; döşeme sisteminde tek yönlü çalışan yapısal lamine ahşap döşemeler tercih edilmiştir. Çatı strüktürü ise yapısal lamine ahşap kirişler ile çözülmüştür.

- **Sarı Konak Otel**





Amasya’da yer alan Sarı Konak Otel, çapraz lamine ahşap paneller kullanılarak yeniden inşa edilmiş bir turizm yapısı olarak, mühendislik ürünü ahşap malzemelerin yenileme ve rekonstrüksiyon projelerindeki potansiyelini ortaya koymaktadır. Tarihi ve kültürel dokusuyla öne çıkan Amasya’da gerçekleştirilen bu uygulama, çağdaş ahşap yapı sistemlerinin geleneksel yapılarla uyumlu biçimde ele alınabileceğini göstermektedir.

Projede taşıyıcı sistem, ahşap karkas elemanlar ile CLT duvar panellerinin birlikte kullanıldığı hibrit bir sistem olarak tasarlanmıştır. CLT paneller, taşıyıcı duvar elemanı olarak değerlendirilmiş; yapının hafifliği sayesinde mevcut çevresel ve yapısal koşullara minimum yük getiren bir sistem kurgusu oluşturulmuştur. CLT’nin prefabrik üretim özelliği de, Sarı Konak Otel’in uygulama sürecinde önemli avantajlar sunmuştur. Panellerin kontrollü üretimi ve sahada hızlı montaj imkânı, şantiye süresinin kısaltılmasını sağlamıştır.

- **İzmir Urla CLT House**



İzmir’in Urla ilçesinde yer alan Urla CLT House, çapraz lamine ahşap sistemlerin düşük katlı konut ölçeğinde uygulanmasına yönelik güncel ve nitelikli bir örnektir. Yaklaşık 125 m² büyüklüğündeki tek katlı yapı, CLT’nin taşıyıcı duvar ve çatı elemanı olarak birlikte kullanıldığı bir sistem kurgusu ile gerçekleştirilmiştir. Projede kullanılan CLT panellerin temini ve uygulama süreci, Asmaz Ahşap Karkas Yapılar tarafından yürütülmüş; paneller şantiye öncesinde detaylandırılarak montaj aşamasına hazırlanmıştır. Bu süreç, CLT sistemlerin konut yapılarında sunduğu hızlı ve kontrollü yapım avantajlarını açık biçimde

ortaya koymaktadır. Yapının taşıyıcı duvarları CLT panellerle oluşturulurken, çatı strüktüründe de CLT tabanlı bir çözüm tercih edilmiştir.

- **Rixos Premium Tekirova**



Rixos Premium Tekirova projesi, Antalya'nın Tekirova beldesinde yer alan ve 2014 yılında inşa edilen bir konaklama yapısı olarak CLT kullanımının başarılı bir örneğidir. Türkiye'deki yapısal ahşap uygulaması literatüründe önemli bir referans oluşturan projenin CLT uygulama ve üretimini Naswood şirketi üstlenmiştir. Yapının tasarım süreci, mimar Kürşad Aybak tarafından yürütülmüş olup projede çağdaş konaklama yapılarının gerektirdiği mimari nitelikler ile ahşap yapı sistemlerinin sunduğu yapısal avantajlar birlikte ele alınmıştır.

Yapı, iki bloktan oluşmakta olup bu bloklar kapsamında toplam yaklaşık 1.420 m²'lik bir yapı alanı bulunmaktadır. Taşıyıcı ve bölücü sistemlerde ileri üretim teknolojileriyle üretilmiş çapraz lamine ahşap paneller ile lamine ahşap elemanlar birlikte kullanılmıştır. Projede toplam yaklaşık 160 m³ lamine ahşap ve 300 m³ CLT malzemesi yer almaktadır. CLT paneller, yapı içinde farklı işlevlere göre değişen kalınlıklarda tasarlanmış olup zemin seviyesinde 16 cm, dış duvarlarda 12 cm ve iç duvarlarda ise 9 cm kalınlığında CLT paneller kullanılmıştır.

- **Antalya CLT House**



Berry Wood and Stone markası tarafından Antalya'da gerçekleştirilen bu konut yapısı, 84 m² büyüklüğünde, tek katlı ve verandaya sahip modüler bir konut olarak tasarlanmıştır. Yapının iç ve dış duvarlarında, 3 katmanlı ve 10 cm kalınlığında P-CLT paneller kullanılmıştır. Bu panellerin ayırt edici özelliği, üretim sürecinde ısı yalıtım malzemesinin (XPS) panel katmanları arasına entegre edilerek imal edilmesidir; böylece taşıyıcı, kaplama ve yalıtım işlevleri tek bir yapı elemanında birleştirilmiştir. Yapı, modüler yapı sistemi esas alınarak planlanmış; CLT duvar panelleri doğrudan zeminle temas ettirilmemiş, bunun yerine yapının tamamı zeminden koparılmış bir metal kirişli alt taşıyıcı konstrüksiyon üzerine oturtulmuştur. Bu yaklaşımla zemin kaynaklı nem etkilerinin azaltılması hedeflenmiştir. Yapının dış yüzeylerinde, P-

CLT paneller herhangi bir ek kaplama uygulanmadan açıkta bırakılarak yalnızca koruyucu vernik uygulaması yapılmıştır.

Tüm bu örnek yapılar, sahip olduğumuz orman varlığı, ahşap yapı geleneği ve farklı iklim bölgeleri göz önüne alındığında, Türkiye’de CLT’nin yaygınlaşması için uygun bir altyapı bulunduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, CLT’nin daha geniş ölçekte benimsenmesi; üretim kapasitesinin artırılması, tasarımcı ve uygulayıcıların teknik bilgi düzeyinin gelişmesi ve uygulama örneklerinin görünürlüğünün artmasıyla doğrudan ilişkilidir. Mevcut uygulamalar, CLT’nin Türkiye’de konut, eğitim, turizm ve kamusal yapılar gibi farklı yapı türlerinde kullanılabilirliğini gösterirken sistemin gelecekte daha yaygın bir alternatif hâline gelebileceğine işaret etmektedir.

KAYNAKÇA

Asmaz Ahşap Karkas Yapılar. (2024). Pierre Loti Fransız Lisesi CLT yapı projesi – Proje tanıtım ve teknik bilgiler. Erişim adresi: <https://www.ahsapkarkas.com/projeler/egitim-kurumu-projeleri/pierre-loti-fransiz-lisesi-clt-yapi-projesi/>

Asmaz Ahşap Karkas Yapılar. (2024). Turgut Reis Gülhan Muslu Konakları – Ahşap karkas ve CLT uygulaması. Erişim adresi: <https://www.ahsapkarkas.com/projeler/gulhan-muslu-konaklari-turgutreis/>

Asmaz Ahşap Karkas Yapılar. (2024). Sarı Konak Otel (Amasya) – CLT paneller ile yeniden yapım projesi. Erişim adresi: <https://www.ahsapkarkas.com/projeler/otel-projeleri/sari-konak-otel-amasya/>

Asmaz Ahşap Karkas Yapılar. İzmir Urla CLT Konut Projesi. Erişim adresi: <https://www.ahsapkarkas.com/newsletter/all/2024.html>

Akkan Çavdar, A., & Lakot Alemdağ, E. (2025). Multi-criteria optimization of cross-laminated timber (CLT) wall systems for energy, carbon, and cost performance: A case study for Türkiye’s climate zones. *Wood Material Science & Engineering*. <https://doi.org/10.1080/17480272.2025.2598032>

Berry İnşaat Maden ve Kimya S. T. L.Ş. Ürünleri. Erişim adresi: <https://berryclt.com/product/p-clt/>

Chen, G., Wiedmann, T., Wang, Y., & Hadjikakou, M. (2023). Urbanization and carbon emissions: A global assessment of the construction sector. *Journal of Cleaner Production*, 385, 135641. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135641>

D'Amico, B., Pomponi, F., & Hart, J. (2021). Global potential for reducing carbon emissions through timber-based construction. *Nature Sustainability*, 4(11), 913–920. <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00756-5>

Huang, L., Krigsvoll, G., Johansen, F., Liu, Y., & Zhang, X. (2018). Carbon emission of global construction sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1906–1916. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.001>

Naswood. (2024). CLT, lamine ahşap ve ahşap yapı elemanları – Üretim ve uygulama bilgileri. Erişim adresi: <https://www.naswood.com/urunler/>

Sözenler Orman Ürünleri. Masif panel - Lamine ahşap ürünler – Üretim ve uygulama bilgileri. Erişim adresi: <https://www.sozenlerormanurunleri.com/>

Younis, A., & Dodoo, A. (2022). Comparative life cycle assessment of cross-laminated timber and concrete buildings. *Energy and Buildings*, 254, 111582. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111582>

*Projelere ait görseller ilgili firmaların web siteleri ve firma yetkilileri aracılığı ile elde edilmiştir.

YAZARLAR HAKKINDA

Esra Lakot Alemdağ, Doç. Dr.

**Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi,
Mimarlık Bölümü, esra.lakotalemdag@erdogan.edu.tr**

1982 yılında Trabzon'da doğmuştur. 2004 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümünü bitirmiştir. 2005-2013 yılları arasında aynı bölümde Araştırma Görevlisi olarak görev yapan Lakot Alemdağ, 2007 yılında Yüksek Mimar ve 2013 yılında Doktor ünvanını almıştır. 2015-2019 yılları arasında Avrasya Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü Yapı Bilgisi Anabilim Dalı'nda Dr. Öğr. Üyesi ve Bölüm Başkan Yardımcısı olarak görev yapmıştır. 2019 yılında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü'ne Dr. Öğr. Üyesi olarak atanmıştır. 2019-2021 yılları arasında aynı bölümde Bölüm Başkanlığı ve Yapı Bilgisi Anabilim Dalı Başkanlığı görevini yürütmüştür. 2023 yılında Doçent ünvanını almıştır. 2024 yılında yayımlanan 'Ahşap Malzeme ve Yapı Tasarımı' kitabının editörlüğünü yapmıştır. Sürdürülebilir ve ekolojik mimarlık, ahşap malzemeler geleneksel mimari, enerji etkin tasarım, fiziksel çevre denetimi ve termal konfor gibi konularda çalışmaktadır. Çok sayıda bilimsel kongre ve sempozyuma katılan Lakot Alemdağ'ın çalışma alanı dahilinde ulusal ve uluslararası yayınları bulunmaktadır.

Ayça Akkan Çavdar, Arş. Gör.

**Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi,
Mimarlık Bölümü, Rize, ayca.akkan@erdogan.edu.tr**

1994 yılında Trabzon'da doğmuştur. 2016 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümünü bitirmiş, 2020 yılında ise "Hazır Cephe Panellerinin Malzemelerine ve Tasarım Kurgu Özelliklerine Göre Karşılaştırılması" yüksek lisans tezi ile Yüksek Mimar ünvanını almıştır. 2019 yılında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Yapı Anabilim Dalı'na Araştırma Görevlisi olarak atanmış ve 2020 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mimarlık Anabilim Dalı'nda doktora eğitimine başlamıştır. Yapı malzemeleri, yapı elemanları, prefabrike yapılar, sürdürülebilirlik ve enerji etkin tasarım konularında çalışıyor olup bu alanlarda ulusal ve uluslararası yayınları bulunmaktadır.

“Wood is universally beautiful to man. It is the most humanly intimate of all materials.”

Frank Lloyd Wright

Ahşap, insanlık tarihinin en eski yapı malzemelerinden biri olmasının ötesinde, günümüzde sürdürülebilir ve çevreyle uyumlu yapı arayışlarının merkezinde yer almaktadır. Çapraz Lamine Ahşap (CLT), ahşabın geleneksel sınırlarını aşarak onu çok katlı, geniş açıklıklı ve yüksek performanslı yapıların ana taşıyıcı sistemlerinden biri hâline getirmiştir.

Bu kitap, CLT’yi bir malzeme olmanın ötesinde; tasarım, mühendislik ve yapı sistemi olarak ele almaktadır. İçerik olarak üretim süreçlerinden yapısal ve çevresel performansına, tasarım ilkelerinden dünya ve Türkiye’den seçilmiş uygulama örneklerine kadar kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır. Mimarlar, mühendisler, akademisyenler ve öğrenciler için bir başvuru kaynağı olmayı amaçlayan bu eser, ahşabın çağdaş mimarlık ve yapı kültüründeki yerini yeniden düşünmeye davet etmektedir.