

## CLT PANEL İLE İNŞA EDİLEN ÇOK KATLI KONUTLARIN YAPIM VE ÇEVRESEL KOŞULLAR BAĞLAMINDA ANALİZİ

Duygu YÜREKLİ<sup>1\*</sup>, Özgül YILMAZ KARAMAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü ORCID No: [0000-0002-3630-6541](https://orcid.org/0000-0002-3630-6541)

<sup>2</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü ORCID No: [0000-0002-9083-0766](https://orcid.org/0000-0002-9083-0766)

Anahtar Kelimeler	Öz
Çapraz lamine ahşap Ahşap Çok Katlı Konut	<i>Dünyada endüstrileşmenin başlamasıyla beton ve çelik gibi malzemelerin üretilmesi, artan şehir nüfusundan dolayı dikey/ çok katlı yapılaşmaya gereksinim duyulması, ahşabın yangın ve strüktürel dayanımının beklenen performansı göstermemesi sebebiyle konut strüktürlerinde ahşabın kullanımı bir dönem durma noktasına gelmiştir. Ancak 20.yy başlarında yapı sektöründe sürdürülebilirliğin ön plana çıkması ve endüstriyel ahşapların üretilmesi, ahşabın tekrar yapı strüktürlerinde kullanılmaya başlamasını sağlamıştır. Bu çalışmada Dünyada çapraz lamine ahşap panel (CLT) kullanılarak yapımı tamamlanmış ve devam eden 46 adet 8 kat ve üstü konut yapıları el alınmıştır. Bu yapılara ait nicel ve nitel veriler çeşitli kaynaklardan toplanarak tablolar oluşturulmuş, tablolardaki verilerin grafiklerle analizleri yapılmıştır. Dünyada inşa edilmiş çok katlı ahşap konutların mimari çeşitliliği ve mekânsal olanakları, yapım koşulları, yapısal sistem çözümleri, çevresel koşulları ve karbon tutma özellikleri incelenmiştir. Çalışmanın amacı Dünyada çok katlı konut üretiminde kullanılan bu yeni yapı malzemesinin uygulamalarının detaylı olarak incelenmesi, yapısal çözümünün ve yapım koşullarının daha iyi anlaşılacak hangi koşullarda uygulanabilir olduğunun saptanmasıdır.</i>

### ANALYSIS OF MULTI-STOREY RESIDENTIAL BUILDINGS WITH CLT PANEL IN CONTEXT OF CONSTRUCTION AND ENVIRONMENTAL CONDITIONS

Keywords	Abstract
Cross laminated timber Timber Multistorey residential buildings	<i>With the beginning of industrialization in the world, the use of wood in residential structures has come to a standstill due to the production of materials such as concrete and steel, the need for vertical / multi-storey construction due to the increasing city population, the fire and structural resistance of wood not showing the expected performance. At the beginning of the 20th century, the prominence of sustainability in the building sector and the production of industrial wood enabled the use of wood in building structures again. In this research, 46 residential buildings of 8 floors and above, the construction of which has been completed and ongoing, using cross laminated timber panel (CLT) in the world has been taken into consideration. Quantitative and qualitative data of these structures were collected from various sources and tables were created, and the data in the tables were analyzed with graphics. Architectural diversity and spatial possibilities, construction conditions, structural system solutions, environmental conditions and carbon sequestration properties of multi-storey wooden houses built in the world were examined. The aim of the study is to examine in detail the applications of this new building material used in the production of multi-storey houses in the world, to better understand its structural solution and construction conditions and to determine under which conditions it can be applied.</i>

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi

Kabul Tarihi

: 17.04.2023

: 21.07.2023

Research Article

Submission Date

Accepted Date

: 17.04.2023

: 21.07.2023

\* Sorumlu yazar: [mimduygu@hotmail.com.tr](mailto:mimduygu@hotmail.com.tr)  
<https://doi.org/10.31796/ogummf.1284449>

#### 1. Giriş

Hızlı konut üretimi ihtiyacı, pek çok ülkede olduğu gibi ülkemizde de güncelliğini koruyan bir konudur. Bir taraftan üretim hızının artması istenirken bir taraftan

da sonuç ürünün belirlenen standartlara ve fiziksel ve psikolojik kullanıcı konfor koşullarına uygun olması ve dahası tüm bu gereksinimlerin en düşük maliyetle ve en az çevre hasarı ile gerçekleşmesi beklenmektedir.



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Halen hızla büyümekte olan kent merkezlerinde ihtiyaç duyulan konut açığının giderilmesi, eskiyen/kullanım ömrünü tamamlayan yapıların yenileri ile değiştirilmesi, deprem, tsunami, kasırga vb. doğa olayları sonucu yıkılan kentsel alanların yeniden inşası gibi pek çok nedenle konvansiyonel malzeme ve yapım tekniklerinin çevreye etkileri bakımından daha sürdürülebilir alternatifler ile değiştirilmesi de sektörün gündemindedir. Çünkü bilindiği gibi, inşaat sektörü sera gazı emisyonlarının yaklaşık %40'undan sorumlu olarak küresel karbon ayak izine en büyük katkıyı yapan sektördür (Lehne ve Preston, 2023). Sektör, küresel kaynak tüketiminin %40'undan, enerji kullanımının %40'undan ve küresel atığın %50'sinden sorumludur (UN, 2009).

Dünyada sürdürülebilirliğin ön plana çıkmasıyla yapı sektöründe ahşabın kullanımı 1995'ten sonra (Kuzman ve Sandberg, 2016) ve özellikle son on yılda (Krötsch ve Müller, 2018; Lehmann ve Hamilton, 2011), yeniden canlanma eğilimindedir. Bunun başlıca nedenleri; endüstriyel ahşabın yapısal performans açısından çelik ve betonla karşılaştırılabilir nitelikte üretim olanaklarının artması ve kıyasla daha sürdürülebilir bir malzeme olması olarak sıralanabilir (Çaştur, 2021). Doğal bir karbon tutucu olan ahşap elemanlar bina ömrü boyunca da CO2 depolamaya devam ettiğinden sürdürülebilirlik açısından önemli bir alternatif malzemedir (Ramage ve diğ., 2017).

2000'li yılların başlarında Avrupa'da konut yapımında kullanılmaya başlayan CLT (Cross Laminated Timber-Çapraz Lamine Ahşap) çok katlı konutların yapımına da olanak sağlamış ve devamında tüm dünyada yayılmıştır (Güzel ve Yesügey, 2017). Yukarıda da belirtildiği gibi; günümüz yapı endüstrisinde yoğun olarak üretilen konutlarda; beklenen yapısal ve fiziksel performansı karşılaması, kullanıcı memnuniyetinin yanında üretim hızının artırılması da önemli parametrelerdendir. Bu bağlamda, "CLT" üretim sürecinin prefabrikasyona dayalı olması hem üretim hızını hem de kalitesini artırırken, sürdürülebilir bir malzeme olarak giderek yaygınlaşmasını da sağlamaktadır.

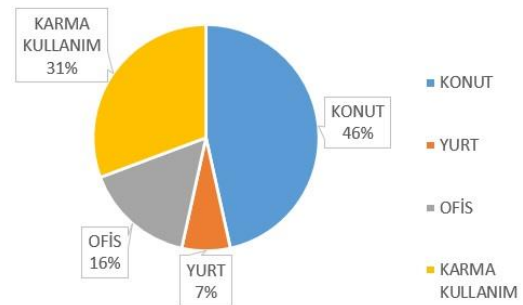
## 2. Amaç, Kapsam ve Yöntem

Ülkemizde yaşanan 19 Ağustos 1999 Marmara ve son olarak da 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş gibi büyük depremlerde özellikle de konvansiyonel betonarme yapılarda görülen ağır hasarlar ve devamında yaşanan atık yönetimi sorunları, konut üretiminde hızlı olduğu kadar güvenli ve tüm yaşam döngüsü süreci açısından sürdürülebilir nitelikte malzeme kullanımı konusunun önemini bir kez daha ortaya koymaktadır.

Çalışma kapsamında, özellikle de konut yapılarının hızlı ve güvenli biçimde üretilmesi için CLT panel bir alternatif malzeme olarak ele alınmaktadır. Bu doğrultuda, taşıyıcı sistem de dahil olmak üzere yapı

üretiminde kullanımı yaygınlaşmakta olan CLT malzemenin, kullanım olanaklarının sayısının giderek arttığı tespit edilen çok katlı konut uygulamaları üzerinden değerlendirilmesi yapılmıştır. Böylelikle mevcut konut yapılarının yapım ve tasarım koşulları (hızlı ve dikey yapılaşmaya uygunluk, esnek tasarıma elverişlilik, farklı strüktürel çözümler/malzemeler ile bir arada uygulanabilirlik vb.) ile çevresel koşullarının (farklı coğrafi bölgelerde uygulanabilirliğinin) analizi üzerinden CLT kullanımı konusunda bir soru açmak ve aynı zamanda da özet bir kaynak oluşturmak amaçlanmıştır.

Bu bakımdan, özellikle de konut yapılarının hızlı ve güvenli biçimde üretilmesi için CLT panel bir alternatif malzeme olarak değerlendirilebilir.

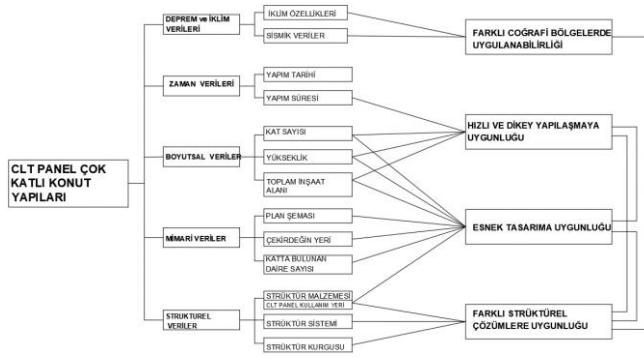


Şekil 1. Fonksiyonuna Göre Dünyada İnşa Edilmiş Olan Ahşap Yüksek Yapılar

Şubat 2022 itibari ile 8 kat ve üstü ahşap yapıların sayısının 101 olduğu görülmektedir (Svatoš-Ražnjević, Orozco ve Menges, 2022). Bu yapılardan 46 tanesinin konut, 7 tanesinin yurt, 16'sının ofis, 30'unun karma kullanım ve 2'sinin de endüstriyel yapı olarak planlanmış olduğu tespit edilmiştir (Şekil 1) (Svatoš-Ražnjević, Orozco ve Menges, 2022).

Çalışma kapsamında CLT'nin mevcut kullanım koşullarını değerlendirmek üzere, dünyanın farklı bölgelerinde inşa edilmiş, çok katlı konut yapıları, literatürden derlenen bilgiler ışığında analiz edilmiştir. Bu bağlamda inceleme başlıkları; çevre verilerinin değerlendirilmesi açısından, deprem ve iklim verileri, tasarım ve yapım sürecine yönelik olarak ise; zaman verileri, boyutsal veriler, mimari veriler, strüktürel veriler olarak belirlenmiştir (Şekil 2).

Yapılarla ilgili bilgiler doğrudan kaynaklarda yazılı içerikler yanı sıra yapılara ait görsel verilerden (planlar, kesitler, cepheler, diyagramlar ve çizimler) incelenerek elde edilmiş ve farklı başlıklar altında toplanmıştır. Ancak öncesinde, Çapraz Lamine Ahşap malzeme özellikleri bakımından kısaca ele alınmıştır.



Şekil 2. Çok Katlı CLT Konut Yapılarının Analiz Başlıkları ve Bunların Araştırma Hedefleriyle İlişkisi.

### 3. Çapraz Lamine Ahşap Malzeme Özellikleri

Çapraz Lamine Ahşap (CLT), en az üç ahşap tabakadan oluşturulmuş ön üretimli bir masif ahşap paneldir. CLT panel lifleri birbirine dik olacak şekilde preslenmiş, yapışal yapıştırıcılar ile yapıştırılmış veya daha az yaygın olarak dübel veya çivilerle mekanik olarak bağlanmış tek sayıdaki tabakadan (3, 5, 7 veya daha fazla) oluşur (Şekil 3).

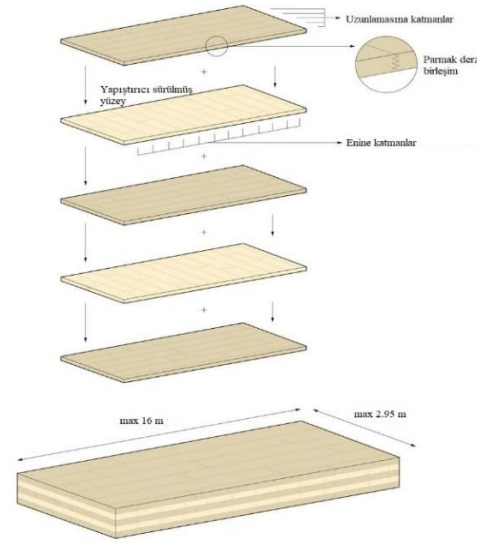
CLT tabakaları, birbirlerine dik tabakalardan oluştuğu için birleşik tabakalar, tüm panelde takviye edici bir işlev görür ve bu da boyutsal düzenlilik sağlar (Şekil 4). Bu özellik aynı zamanda yüklerin panellerde betona benzer şekilde her iki yönde yayılmasına ve taşınmasına izin vermektedir (Turner, 2014; Van de Kuilen ve diğ., 2011).

CLT paneller üzerinde yapılan birçok deneysel test, (Patterson, 2013), bu özelliklerin, diğer ahşap panellerden farklı olarak, CLT panellerin taşıyıcı paneller olarak kullanılabilmesini göstermiştir. Çapraz laminasyon sistemi aynı zamanda tabakaların genişlemesini ve daralmasını kısıtladığından, boyutsal stabilitenin de artmasını sağlamaktadır (Evans, 2021). Fountain'a (2012) göre, CLT'nin direnç-ağırlık ilişkisi, özellikle orta ve yüksek katlı yapılarda çelik ve betonarme yapım sistemlerine bir alternatif olarak ahşabın strüktür malzemesi olarak kullanım olanağını artırmıştır.

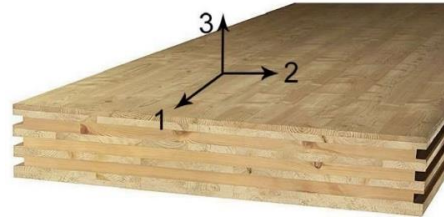
CLT malzeme binalarda yapı elmanı olarak 3 farklı şekilde kullanılmaktadır (Şekil 5). Bunlar;

1. Duvar paneli
2. Döşeme ve çatı paneli
3. Merdiven

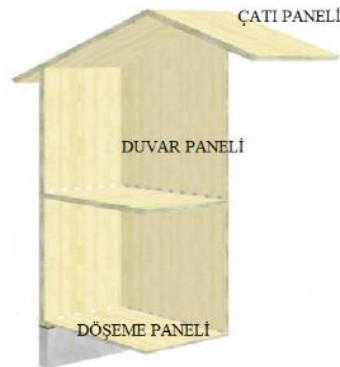
Bu panellerin kalınlıkları ve boyutları yapı elmanın kullanım amacına ve taşıyıcılığına, geçilen açıklığa ve yapım sistemine göre farklılıklar göstermektedir. Dünyada CLT üretiminde standart boyutlar olmakla birlikte ülkelerin nakliye ve yapısal dayanıma göre belirlemiş olduğu birtakım kısıtlamalar da bulunmaktadır.



Şekil 3. CLT Panel Katmanları (Storaenso, 2022)



Şekil 4. CLT Panel Boyutları (Turner, 2014)



Şekil 5. CLT Çatı-Duvar-Döşeme Paneli (Structurlam, 2022)

### 4. Analiz Başlıkları

Çevresel koşullar ile tasarım ve yapım koşullarının değerlendirilebilmesi adına, analiz çalışması aşağıdaki 5 ana başlık altında yapılmıştır.

1. Yapıların üretildikleri bölgedeki sismik veriler ve iklim koşulları
2. Zaman verileri (Üretim Hızı)
3. Boyutsal veriler (Yapı boyutları ve kapasitesi)
4. Mimari veriler (Tasarım olanak ve kısıtları)

#### 5. Strüktürel veriler (CLT malzemenin strüktür elemanı olarak kullanım özellikleri)

Belirlenen başlıklar altında yapılan analizde hedef CLT malzemenin farklı coğrafi bölgelerde uygulanabilirliğini, hızlı ve dikey yapılaşmaya uygunluğunu, esnek tasarıma elverişli olup olmadığını ve farklı strüktürel çözümlerde uygulanabilirliğini ortaya koymaktır.

#### 4.1. Deprem ve İklim Verileri

Binanın bulunduğu şehrin iklim bölgesi özellikleri ve yer ivmesi (PGA) değerleri tasarımın başlıca belirleyicilerinden olması bakımından değerlendirilmiştir.

Yapının konumlandığı yerin sismik tehlikesi, GEM temelinden elde edilen ve 475 yıllık geri dönüş periyoduna sahip Tepe Yer İvmesi (PGA) cinsinden tanımlanmaktadır (Pagani ve diğ., 2018). Sismik tehlike sınıflandırması ise düşük ve çok yüksek aralığında olmak üzere aşağıdaki şekilde derecelendirilmektedir;

- Düşük ( $PGA \leq 0,8 \text{ m/s}^2$ ),
- Orta ( $0,8 \text{ m/s}^2 \leq PGA \leq 2,4 \text{ m/s}^2$ ),
- Yüksek ( $2,4 \text{ m/s}^2 \leq PGA \leq 4,0 \text{ m/s}^2$ )
- Çok yüksek ( $PGA \geq 4,0 \text{ m/s}^2$ ) (Erlat, 2014).

Yapıların inşa edildikleri bölgelere ait iklimsel verilerin değerlendirilmesi için ise dünyada en yaygın kullanılan Köppen-Geiger iklim sınıflandırması kullanılmıştır. Köppen-Geiger iklim sınıflandırması, aylık ve yıllık sıcaklıklar ile yağış miktarı, yağışın yıl içindeki dağılışı ve yağış ile sıcaklığın doğal bitki örtüsü ile olan ilişkilerine dayanmaktadır (Erlat, 2014; Türkeş, 2010). İklim tiplerinin harflerle gösterildiği (Krötsch ve Müller, 2018) bu yöntem alansal tutarlılığı fazla ve doğruluğu denetlenmiş olan bir yöntem olarak tanımlanmaktadır (Türkeş, 2010).

Buna göre; ana iklim tipleri harflerle (A, B, C, D, E) belirtilir ve bu temel iklim tipleri belirlenirken 4 tanesinde sıcaklık, 1 tanesinde ise yağış koşulları dikkate alınır (Tablo 1). Alt tiplerdeki ikinci harfler (s, w, f) yağış özelliğini ve üçüncü harfler (h, k, a, b, c, d) ise sıcaklık özelliklerini temsil eder (Erlat, 2014). Yağış koşullarının dikkate alındığı iklim tipine ait alt tiplerin belirlenmesinde ise, kuraklık eşik değerinden yararlanılır (Erlat, 2014).

#### 4.2. Zaman Verileri

Zamansal veriler, yapım yılı ve yapım süresini içermektedir. Yapım süresi (ay), çok katlı yapıların strüktürlerinin tamamlanma süresini içermektedir. Bu veriler iklimsel veya başka nedenlerle inşaatın devamlılığının aksadığı/yapımın durakladığı süreler çıkarılarak verilmiştir. Yapım yılı verileri çok katlı konutların hangi tarihte inşa edilmeye başlandığı ve en fazla hangi yıllarda inşa edildiği bilgilerine ulaşmamızı

sağlamaktadır. Yapıların toplam inşaat alanlarının ve yapım sürelerinin ortalaması alınarak 1 ayda inşa edilen yapı alanı miktarı hesaplanmıştır. Bu değer; üretim hızının ortaya konulabilmesini sağlamaktadır.

Tablo 1. Köppen-Geiger Ana ve Ara İklim Tipleri (Öztürk, Çetinkaya ve Aydın, 2017).

HARFLER	TANIM	ÖZELLİK
A	Nemli Tropikal	Kış mevsimi yok tüm yıl boyunca ortalama sıcaklık 18 °C üstünde
B	Kurak	Buharlaşma yağıştan daha fazla
	W Çöl	
	S Step (yarı kurak)	
	h Sıcak	
C	k Soğuk	En soğuk ay sıcaklığı ortalaması 18 °C ve 0 °C arasında en sıcak ay 10 °C üstünde
	Kışları ılıman nemli	
	s Yazları kurak	
	w Kışları kurak	
	f Her mevsim yağışlı	
	a Sıcak yaz	
D	b Ilık yaz	En soğuk ay sıcaklığı 0 °C ve altında en sıcak ay 10 °C üstünde
	c Serin yaz	
	Karasal İklim	
	s Yazları kurak	
	w Kışları kurak	
	f Her mevsim yağışlı	
E	a Sıcak yaz	Yaz mevsimi yoktur en sıcak ay ortalaması 10 °C altındadır.
	b Ilık yaz	
	c Serin yaz	
	d Çok soğuk kış	
E	Polar	

\*A (tropikal), B (kuru), C (ılıman), D (kıtasa), E (kutupsal), f (Yağmur Ormanı), m (Muson), w (Savana, Kuru kış), s (Savana, Kuru yaz), W (Çöl) S (Bozkır), w (Kuru kış), f (Kuru mevsim yok), s (Kuru yaz), h (Sıcak), k (Soğuk), a (Sıcak yaz), b (Sıcak yaz), c (Soğuk yaz), d (Çok soğuk kış)

#### 4.3. Boyutsal Veriler

CLT Panel çok katlı konut yapıları için oluşturulan boyutsal veriler kat sayısı, toplam yükseklik ve toplam inşaat alanı kategorilerini içermektedir. Bu sınıflandırma, bu araştırma için çok katlı CLT konut yapılarının yükseklik aralığını göstermektedir. Yapıların brüt alanı ya yazılı bir kaynaktan elde edilmiş ya da binanın planı dijital ortamda çizilerek oranlanmış ve buna göre tahmin edilmiştir. Bu kategorideki veriler CLT panelin hızlı ve dikey yapılaşmaya uygunluğu konusunda veri sağlamaktadır.

#### 4.4. Mimari Veriler

Bu kategorideki veriler plan şemaları, çekirdeğin plandaki konumu ve bir katta bulunan bağımsız bölüm sayılarını içermektedir. Bu sınıflandırmadaki veriler yazılı kaynakların yanı sıra binaların plan şemaları ölçekli şekilde dijital ortama aktararak ve gerektiğinde ölçekli olarak oranlanarak elde edilmiştir.

Bağımsız birimlerin bir araya gelişindeki genel tasarım yaklaşımlarının yanı sıra, ortak ulaşım hattını



barındıran çekirdek bölümünün malzemesi ve konumu çok katlı ahşap yapı tasarımının önemli parametreleridir. Ayrıca, panel boyutlarından ve taşıyıcı/bölücü panel kullanımı gereksinimlerinden kaynaklanan kısıtlar ya da değişebilirlik olanakları da oluşturulan plan şemaları üzerinde yerleştirilen aks özellikleri üzerinden okunabilmektedir.

#### 4.5.Strüktürel Veriler

Endüstriyel ahşap kullanılarak oluşturulan taşıyıcı sistemler genel olarak;

- Karkas (Çerçeve Sistemler)
- Panel Sistemler
- Modüler Sistemler
- Hibrit sistemler olarak sınıflandırılabilirler.

Çalışma kapsamında söz konusu sistemler, CLT panellerin kullanım özellikleri bakımından ele alınmaktadır.

Karkas (çerçeve) sistemler, bir boyutu diğerine göre uzun olan kolon ve kiriş gibi çizgisel elemanlar ile oluşturulan taşıyıcı sistemlerdir (Şekil 6). Endüstriyel ahşap malzemenin kullanıldığı ahşap karkas sistem ile inşa edilen yapılarda kolon ve kiriş elemanlarında çoğunlukla tutkallı tabakalı ahşap malzeme kullanılırken, CLT paneller ise genellikle çekirdekte taşıyıcı duvar, döşeme, bölücü duvar ve merdiven elemanı olarak kullanılmaktadır.



Şekil 6. Prefabrike Ahşap Karkas Sistem (The Future Academic Plaform, 2023)

Panel yapım sisteminde; CLT duvar ve döşeme panel elemanları aynı zamanda yapının taşıyıcı sistemini de oluşturur. Döşeme panelleri duvar panellerinin yüklerini ve yapıya etki eden yatay yükler ile hareketli yükleri duvar panellerine iletirler. Duvar panelleri ise yapıya etki eden yanal yükleri ve döşemelerden gelen ve binanın kendi ağırlığından kaynaklanan yükleri temele iletirler. Taşıyıcı CLT panel elemanları geçtiği açıklığa göre 5 veya 7 katmanlı olabilmektedir. Kalınlıkları da geçilen açıklığa ve yapının bulunduğu yerin zemin özelliklerine değişmektedir. CLT Panel sistem yapım sisteminde döşeme açıklığı için üst limit 7,5 m olarak tanımlanmasına karşın panel kalınlığının ideal seviyelerde tutulması açısından geçilebilecek optimum açıklık 5m olarak tanımlanmaktadır. CLT panel yapım

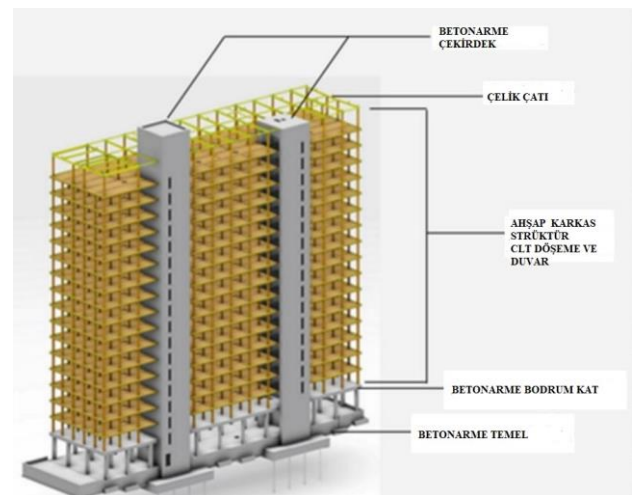
sistemi ile geçilen açıklık sınırlı olduğundan daha çok konut yapılarında tercih edilmektedir.

Modül sistemler; yapı bileşenlerinin hücresel birimlerinden oluştuğu sistemlerdir (Şekil 7). Modüllerin fabrikalarda üretimi tamamlandıktan sonra şantiyeye nakledilerek, yapıdaki yerlerine monte edilmesi ile oluşturulan ileri prefabrikasyon sistemlerdendir. Bu sistemde hacimler bütünsel olarak taşınıp monte edildiği için her bir hacim kiriş gibi çalışmaktadır (Ayaz, 2011).



Şekil 7. Modüler Yapım Sistemi (Treehugger, 2023)

Hibrit sistemler; bir yapıda iki veya daha fazla yapım sisteminin ve/veya malzemenin birlikte kullanıldığı sistemlerdir. Hibrit yapım sistemlerinde amaç kullanılan malzemelerin olumlu yönlerinden maksimum faydayı sağlamaktır. Böylece daha ince kesitlerle daha fazla açıklık geçilerek mekânsal esneklik de sağlanmış olur (Şekil 8).



Şekil 8. Betonarme-CLT-GLT (Tutkallı Tabakalı Ahşap)-Çelik Hibrit Yapım Sistemi (Moudgil, 2014)

Hibrit sistemlerde, CLT panel elemanların; ahşap kolon ve kirişlerden oluşan ahşap iskelet sistemle, çelik

malzeme ile, betonarme malzeme ile ya da bu malzemelerin tümü veya birkaçının bir ya da birden çok yapım tekniği ile bir araya getirildiği bir süreç söz konusudur.

Çok Katlı CLT konut yapılarının strüktür malzemeleri, strüktür sistemi ve strüktür kurguları bu kategoride analiz edilecektir. Bu verilerden yola çıkarak CLT malzemenin farklı strüktürel çözümler içerisinde kullanım olanakları değerlendirilecektir.

## 5. Örnek Yapıların Belirlenen Başlıklar Çerçevesinde Analizi

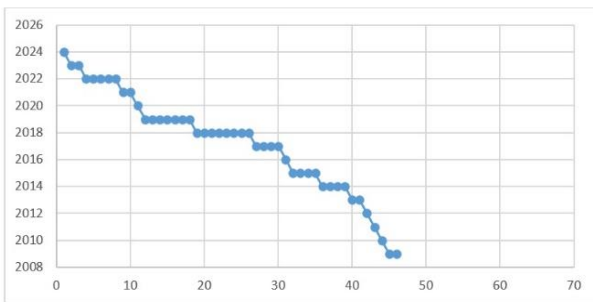
Bu bölümde 8 ve daha çok katlı, 46 konut yapısı, yukarıda tanımlanan alt başlıklarla değerlendirilmektedir. Bilgilerine ulaşılabilen yapılar ve konumları ile yapıların yükseklikleri, buldukları konumun ilkim bölgesi ve sismik tehlikesi bilgileri özet halinde Tablo 2'de aktarılmaktadır. Tablo verilerinin değerlendirilmesi ayrı başlıklar biçiminde devam eden bölümlerde aktarılmaktadır.

2009 yılında yapımı tamamlanan ilk çok katlı konut yapısından, 2023 yılına kadar konut yapısı sayısının yıllara bağlı değişimi Şekil 9'daki grafikte aktarılmaktadır. Buna göre en fazla üretim, 8 adet ile 2018 ve 2019 yıllarında gerçekleşmiştir. Bunu 5 adet yapı ile 2022 yılı, 4'er adet çok katlı konut ile 2014-2015 ve 2017 yıllarının takip ettiğini, en az yapı üretiminin ise 1'er adet ile 2010-2011-2012-2016 ve 2020 yılları olduğunu görmekteyiz. Bu bağlamda, 2009'dan bugüne kadar olan süreç değerlendirildiğinde CLT malzemeli konut üretiminin artmakta olduğunu ve dolayısı ile sürdürülebilir bir alternatif olarak yerini sağlamlaştırdığını söylemek yanlış olmayacaktır.

bulunurken, çok yüksek yer ivmesine sahip Portland-ABD'de inşa edilen 1 adet konut yapısı bulunmaktadır.

Tablo 2. Çok Katlı CLT Konutların İsimleri, Konumları, Yapım Yılı, Yükseklikleri, İlkim Bölgesi ve Sismik Tehlike Bilgileri

YAPI İSMİ	BULUNDUĞU YER	YAPIM YILI	İNŞA SÜRESİ (ay)	YÜKSEKLİK (m)	İKLİM BÖLGESİ	PGA DEĞERİ
Roots Tower	Hamburg, Almanya	2024	12	85	cfc	0.00-0.01
Albizzia	Lyon, Fransa	2023	10	83	Dfc	0.03-0.04
Cederhusen	Stockholm, İsveç	2023	3,5	44	cfb	0.00-0.01
Ascent	Milwaukee, ABD	2022	5	86,8	Dfa	0.00-0.01
HAUT	Amsterdam, Hollanda	2022	8	73	cfc	0.00-0.01
Monterey	Brisbane, Avustralya	2022	9	37	cfa	0.02-0.03
Tallwood 1 at District 56	Victoria, Kanada	2022	5	41,6	csb	0.13-0.20
INTRO Residential Tower	Cleveland, ABD	2022	10	39,6	Dfb	0.00-0.01
Hyperion	Bordeaux, Fransa	2021	5	55	cfc	0.01-0.02
Hoas Tuulintty	Espoo, Finlandiya	2021	7	44	Dfb	0.00-0.01
HOMO	Viyana, Avusturya	2020	7,5	84	Dfa	0.04-0.05
Mjøstámet	Brumunddal, Norveç	2019	18	85,4	Dfb	0.02-0.03
SKAI O	Heilbronn, Almanya	2019	7	34	cfb	0.00-0.01
Sensations	Strasbourg, Fransa	2019	19	38	cfb	0.03-0.04
Trummens Strand	Växjö, İsveç	2019	17	27	cfb	0.00-0.01
Botanikem	Uppsala, İsveç	2019	10	31	Dfb	0.00-0.01
Kajstaden	Västerås, İsveç	2019	6	30	Dfb	0.00-0.01
Arbora Condominium	Montreal, Kanada	2019	4	25	Dfb	0.03-0.04
Aveo Bella Vista	Sydney, Avustralya	2018	15	36	cfa	0.01-0.02
Maskinparken TRE	Trondheim, Norveç	2018	11,5	27	Dfc	0.01-0.02
Kingsja Studentby	Oslo, Norveç	2018	11	28	Dfb	0.00-0.01
Carbon12	Portland, ABD	2018	14	26,9	csb	0.35-0.55
Docenten	Växjö, İsveç	2018		27	cfb	0.00-0.01
Puukuokka Housing Block	Jyväskylä, Finlandiya	2018	15	27	Dfc	0.00-0.01
Frostaliden	Skövde, İsveç	2018	9	20	Dfb	0.00-0.01
The Gardens Macarthur	Sydney, Avustralya	2018	16	27	Dfa	0.02-0.03
Origine	Quebec, Kanada	2017	14	40,9	Dfb	0.04-0.05
Daiston Works	London, İngiltere	2017	18	33,8	cfb	0.00-0.01
Press House	London, İngiltere	2017	3,5	31	cfb	0.00-0.01
Highpoint Terrace	London, İngiltere	2017	5	22	cfb	0.00-0.01
Moholt SØ/SØ	Trondheim, Norveç	2016	9	28	Dfc	0.01-0.02
Treet	Bergen, Norveç	2015	12	62,8	cfb	0.02-0.03
Trafalgar Place	London, İngiltere	2015	4	36,3	cfb	0.00-0.01
The Cube Building	London, İngiltere	2015	5	33	cfb	0.00-0.01
Vallen	Växjö, İsveç	2015	7	29	cfb	0.00-0.01
Contralaminada	Lleida, İspanya	2014	1,5	21,84	bsk	0.03-0.04
Limnologen	Växjö, İsveç	2014	17	27	cfb	0.00-0.01
Residences J. Ferry	Saint-Denis-Vosges, Fransa	2014	2	21	cfb	0.03-0.04
Strandparken	Stockholm, İsveç	2014	5	27	Dfb	0.00-0.01
Rundeskoegen Hus 8	Sandness, Norveç	2013	9	55	et	0.02-0.03
Cenni di Cambiamento	Milan, İtalya	2013	18	27	cfb	0.13-0.20
Forte	Melbourne, Avustralya	2012	4	32	cfb	0.02-0.03
Holz8	Bad Albing, Almanya	2011	6	25	cfb	0.02-0.03
Bridport House	London, İngiltere	2010	4	26	cfb	0.00-0.01
Stadthaus	London, İngiltere	2009	12	29	cfb	0.00-0.01
Portvakten Söder	Växjö, İsveç	2009	15	27	cfb	0.00-0.01



Şekil 9. Yıllara Göre İnşa Edilen CLT Çok Katlı Konut Sayısı Grafiği

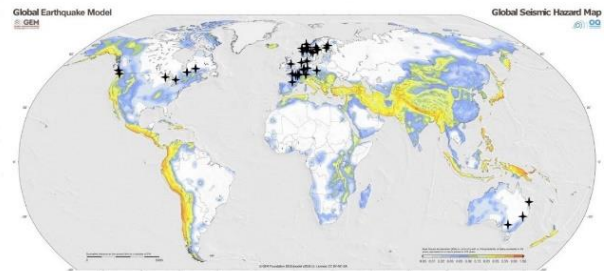
## 5.1. Deprem ve İklim Verileri

### 5.1.1. Sismik Tehlikeye İlişkin Coğrafi Dağılım

Tablo 2'de incelenen yapıların çoğunlukla Avrupa kıtasında yer aldığı görülmektedir. Bu yapıların daha çok (43 adet) düşük deprem riski olan bölgelerde inşa edildiği görülmektedir. Orta riskli bölgede 2 adet yapı

Söz konusu yüksek riskli bölgede konumlanan Carbon 12 yapısı, 8 katlı ve 26,9 metre yüksekliğinde çelik çekirdekli, GLT (tutkallı tabakalı ahşap) ve CLT'nin birlikte kullanıldığı hibrit Bir taşıyıcı sistem ile üretilmiştir.

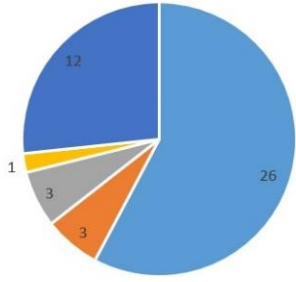
Yapıların buldukları konumlar, sismik tehlike haritası üzerinde işaretlenmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Projelerin Küresel Sismik Tehlike Haritası Üzerindeki Konumu (Temel harita kaynağı: Pagani ve diğ., 2018)







■ Dikdörtgen veya kare form ■ L form ■ U form ■ Üçgen form ■ Amorf form

Şekil 13. CLT Çok Katlı Konutların Formları

Betonarme çekirdeğe sahip 18 adet çok katlı ahşap konut yapısının, 9 tanesinin çekirdeğinin yapının cephesinde 9 tanesinin ise merkezinde konumlandığı saptanmıştır (Şekil 14). CLT Panel çekirdeğe sahip 25 adet yapının 13 tanesinin çekirdeği yapının cephesinde 12 tanesinin ise merkezde konumlandırıldığı görülmüştür (Şekil 15).

### 5.3.3. Boyutsal Veriler

Çok sayıda konutun hızlı üretilmesi ve aynı zamanda da kentlerdeki parsel boyutları ve ekonomik şartlar gibi pek çok faktör, CLT malzeme kullanımının da çok katlı yapılarda yoğunlaşmış olduğunu göstermektedir. Boyutsal bir değerlendirme yapabilmek adına, bu başlıkta incelenen örneklerin kat sayıları/ yükseklikleri ve bloklar içinde konumlanan bağımsız birim sayıları değerlendirilmiştir.

Dünyada CLT panel kullanılarak yapılan ilk çok katlı konut yapısı, 9 katlı olarak ve 29 metre yükseklikte İngiltere’de inşa edilen Stadthaus olarak bilinmektedir. Güncel en yüksek yapı ise 2022 yılında ABD’de yapımı tamamlanmış olan 25 katlı ve 86,6 m yüksekliğindeki Ascent binasıdır.

Şekil 16’da bu yapıların 16 adet ile en çok 8 katlı olarak inşa edildiği görülmektedir. Bunu 8 adet ile 9 katlı yapılar izlerken 20 kat ve üstü 4 adet yapının üretildiği görülmüştür.

		Betonarme Çekirdek									
YAPI İSİMLERİ		Haut2	Residence J Ferry	Avvo Bella Vista	Hoas Tuulintie	Roots Tower	Botanikem	Holz 8	Montreay Brisbane		
PLAN ŞEMALARI ÇEKİRDEK CEPHEDE											
Kat Bilgileri											
Kat Alanı (m <sup>2</sup> )		520	458	1270	600	1130	715	380	254	307	880
Daire Sayısı		2	2	5	16	12	10	2	2	2	3
Asansör		2	1	2	2	6	1	1	1	1	2
Merdiven		1	1	2	2	5	2	1	1	1	1
YAPI İSİMLERİ		Ascent	Hyperion	Albizia	Cederhusen	Hus B	Ho Hb	The Cube	Skaio	Frostleden	
PLAN ŞEMALARI ÇEKİRDEK MERKEZDE											
Kat Bilgileri											
Kat Alanı (m <sup>2</sup> )		1000	810	580	680	427	541	378	607	570	377
Daire Sayısı		14	6	4	7	4	5	2	6	2	4
Asansör		3	2	2	2	2	3	2	2	2	1
Merdiven		2	1	1	2	1	1	1	2	1	1

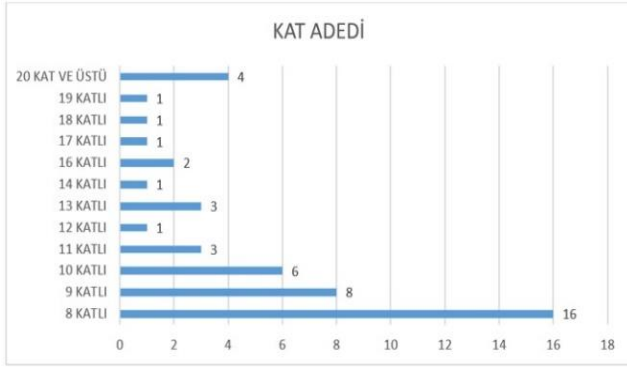
Şekil 14. Betonarme Çekirdeğe Sahip Konut Yapılarının Mimari Verileri

		Çelik Çekirdek	Ahşap Çekirdek							
YAPI İSİMLERİ			Arbora	Vallen	Brüport	Kajaladen	Limögen	Kirgissa Studentenby	Trest	Trattigar Place
PLAN ŞEMALARI ÇEKİRDEK CEPHEDE										
Kat Bilgileri										
Kat Alanı (m <sup>2</sup> )		1800	412	600	548	450	1100	445	530	
Daire Sayısı		2	3	8	4	2	22	5	6	
Asansör		2	1	2	1	1	2	1	2	
Merdiven		2	1	2	1	1	2	2	1	
YAPI İSİMLERİ		Carbon 12	INTRO Residential Tower	Dalston Works	Moholt 50	Fote	Press House	Va Jenni		
PLAN ŞEMALARI ÇEKİRDEK MERKEZDE										
Kat Bilgileri										
Kat Alanı (m <sup>2</sup> )		470	5000	1900	527	278	432	250		
Daire Sayısı		2	46	17	15	3	4	3		
Asansör		1	7	7	2	1	2	2		
Merdiven		2	3	5	1	1	1	2		

		Çelik Çekirdek	Ahşap Çekirdek							
YAPI İSİMLERİ			Mysalmet	Strandparken	Macarthur Gardens	Thunners Strand	Dand 56			
PLAN ŞEMALARI ÇEKİRDEK CEPHEDE										
Kat Bilgileri										
Kat Alanı (m <sup>2</sup> )		646	521	649	499	510				
Daire Sayısı		6	3	4	3	9				
Asansör		3	2	2	1	2				
Merdiven		2	2	2	1	1				
YAPI İSİMLERİ		Carbon 12	Stadthaus	Contalaminoda	Origine	Sensations	Puloukka	Maskipartan		
PLAN ŞEMALARI ÇEKİRDEK MERKEZDE										
Kat Bilgileri										
Kat Alanı (m <sup>2</sup> )		470	330	194	1556	545	600	635	790	790
Daire Sayısı		2	3	2	9	5	6	7	8	8
Asansör		1	2	1	2	2	1	1	1	1
Merdiven		2	2	1	2	1	1	1	1	1

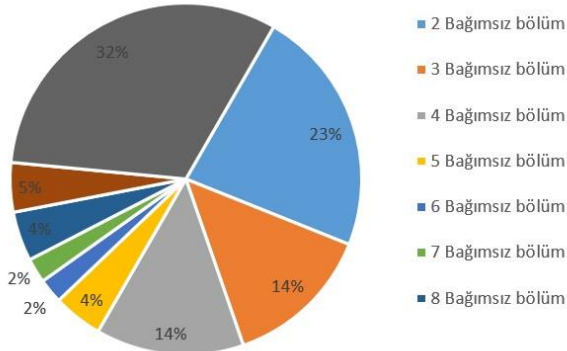
Şekil 15. Ahşap (CLT) ve Çelik Çekirdeğe Sahip Konut Yapılarının Mimari Verileri





Şekil 16. CLT çok katlı konut kat adedi grafiği

Yapılar plan yerleşimleri bakımından incelendiğinde bir katta 2 bağımsız birim bulunan 10; 3 bağımsız birim bulunduran 6; 4 tane bağımsız birim bulunduran 6; 5 adet bağımsız birim bulunduran 2 yapı olduğu görülmektedir. 1 yapıda 6, 1 yapıda 7, 2 yapıda 8, 2 yapıda da 9 bağımsız bölüm konumlanmakta ve geri kalan 15 yapıda ise bir katta 10'dan fazla bağımsız bölüm olduğu görülmüştür (Şekil 17). Bu bağlamda hem düzeyde hem de plan düzleminde çok çeşitli üretim olanakları bulunduğu görülmektedir.



Şekil 17. CLT çok katlı konutların katta bulunan bağımsız bölüm sayıları

#### 5.4.Strüktürel Veriler

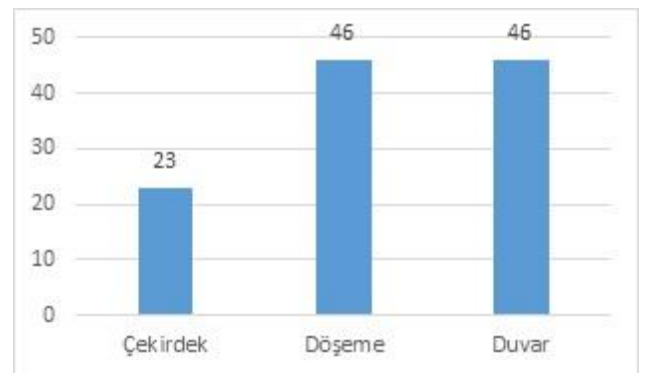
Bu başlıkta yapılar kullanılan taşıyıcı sistem türü açısından sınıflanmaktadır. Öte yandan kullanılan malzeme miktarı da taşıyıcı sistem etkinliğinin bir göstergesi olması bakımından bir veri olarak değerlendirilmiştir.

Strüktürel verilere ek olarak çok katlı ahşap konutların kullanılan CLT miktarına bağlı CO<sub>2</sub> tutma miktarını gösteren veriler de Tablo 4'te aktarılmaktadır.

Çok katlı ahşap konutların tümünde CLT panelin döşeme ve duvar paneli olarak kullanıldığı görülmüştür (Şekil 18). Aynı zamanda 23 adet yapıda CLT panelin çekirdek strüktüründe de kullanıldığı saptanmıştır. 1 adet yapı hariç CLT çekirdekte hem merdiven olarak hem de asansör perde duvarı olarak kullanılmıştır.

Tablo 4. Çok Katlı CLT Konutların Strüktürel Bilgileri

YAPİ İSİMİ	ÇEKİRDEK ÇÖZÜMÜ	ZEMİN KAT ÇÖZÜMÜ	PGA DEĞERİ	STRÜKTÜR KURGUSU	STRÜKTÜR SİSTEMİ	KULLANILAN CLT MİKTARI (m <sup>2</sup> )	CO <sub>2</sub> TUTMA MİKTARI (ton)
Roots Tower	Betonarme	Betonarme	0,00-0,01	Ahşap-Beton Hibrit	Karkas	4430	4500
Albizzia	Betonarme	Betonarme	0,03-0,04	Ahşap-Beton Hibrit	Karkas	3155	3000
Cederhusen	Betonarme+Çelik	Ahşap	0,00-0,01	Ahşap-Çelik-Beton Hibrit	Panel sistem	3500	3500
Ascend	Betonarme	Betonarme	0,00-0,01	Ahşap-Beton Hibrit	Karkas	3.700	3800
HAUT	Betonarme	Ahşap	0,00-0,01	Ahşap-Beton Hibrit	Karkas	2000	1900
Monterey	Betonarme	Ahşap	0,02-0,03	Ahşap-Beton Hibrit	Karkas	1207	1150
Tallwood 1 at District 56	Ahşap	Betonarme	0,13-0,20	Ahşap-beton Hibrit	Karkas	1300	1500
INTRO Residential Tower	Betonarme	Betonarme	0,00-0,01	Ahşap-Beton Hibrit	Karkas	3000	3000
Hyperion	Betonarme	Betonarme	0,01-0,02	Ahşap-Çelik-Beton Hibrit	Karkas	1400	1350
Hoas Tuulimäy	Betonarme	Betonarme	0,00-0,01	Ahşap	Modüler	1500	1300
Holo	Betonarme	Ahşap	0,04-0,05	Ahşap-Beton Hibrit	Karkas	2300	2500
Mjæstærnet	Ahşap	Ahşap	0,02-0,03	Ahşap-Beton Hibrit	Karkas	535	800
SKAIO	Betonarme	Betonarme	0,00-0,01	Ahşap-Beton-Çelik Hibrit	Karkas	1500	1600
Sensations	Ahşap	Betonarme	0,03-0,04	Ahşap	Karkas	3500	3500
Tunnere Strand	Ahşap	Betonarme	0,00-0,01	Ahşap	Karkas+Panel	6300	6000
Botanikern	Ahşap	Ahşap	0,00-0,01	Ahşap-Beton Hibrit	Karkas	4100	4000
Kajstaden	Ahşap	Ahşap	0,00-0,01	Ahşap	Panel sistem	1700	1800
Arbora Condominium	Ahşap	Betonarme	0,03-0,04	Ahşap-Beton Hibrit	Karkas	9500	9000
Aveo Bella Vista	Betonarme	Betonarme	0,01-0,02	Ahşap-Beton Hibrit	Panel sistem	2200	2000
Maskinparken TRE	Ahşap	Ahşap	0,01-0,02	Ahşap	Panel sistem	820	800
Kingsja Studentby	Ahşap	Ahşap	0,00-0,01	Ahşap	Karkas	1300	1200
Carbon12	Çelik	Ahşap	0,35-0,55	Ahşap-Çelik Hibrit	Karkas	1350	1400
Docenten	Betonarme	Ahşap	0,00-0,01	Ahşap-Beton Hibrit	Karkas		
Puukukka Housing Block	Ahşap	Betonarme	0,00-0,01	Ahşap	Modüler	1700	1600
Frostäliden	Betonarme	Betonarme	0,00-0,01	Ahşap-Beton Hibrit	Panel sistem	1300	1200
The Gardens Macarthur	Ahşap	Betonarme	0,02-0,03	Ahşap	Panel sistem	2600	2500
Origine	Ahşap	Ahşap	0,04-0,05	Ahşap	Panel sistem	3111	3000
Dalston Works	Ahşap	Betonarme	0,00-0,01	Ahşap	Panel sistem	4649	4500
Press House	Ahşap	Ahşap	0,00-0,01	Ahşap	Panel sistem	3750	3800
Highpoint Terrace	Çelik+Ahşap	Ahşap	0,00-0,01	Ahşap-Çelik Hibrit	Panel sistem	2850	3000
Mohol 50/50	Ahşap	Betonarme	0,01-0,02	Ahşap	Panel sistem	6500	6000
Treet	Ahşap	Ahşap	0,02-0,03	Ahşap	Modüler +Karkas	1000	900
Trafalgar Place	Ahşap	Ahşap	0,00-0,01	Ahşap	Panel sistem	750	800
The Cube Building	Betonarme	Betonarme	0,00-0,01	Ahşap-Çelik-Beton Hibrit	Karkas+Panel	1313	1300
Vallen	Ahşap	Ahşap	0,00-0,01	Ahşap-Beton Hibrit	Karkas	4200	4000
Contralaminada	Ahşap	Ahşap	0,03-0,04	Ahşap	Panel sistem	2200	2000
Limnologen	Ahşap	Ahşap	0,00-0,01	Ahşap-Çelik Hibrit	Karkas+Panel	6300	6000
Residences J. Ferry	Ahşap	Ahşap	0,03-0,04	Ahşap	Karkas+Panel	600	500
Strandparken	Ahşap	Ahşap	0,00-0,01	Ahşap-Çelik Hibrit	Panel sistem	1950	2000
Rundeskojen Hus B	Betonarme	Betonarme	0,02-0,03	Ahşap-Beton Hibrit	Panel sistem	2350	2200
Cenni di Cambiamento	Ahşap	Betonarme+Ahşap	0,13-0,20	Ahşap	Panel sistem	6100	6000
Forté	Ahşap	Ahşap	0,02-0,03	Ahşap	Panel sistem	1025,32	1000
Holül	Betonarme	Ahşap	0,02-0,03	Ahşap-Beton Hibrit	Platform	650	500
Brødport House	Ahşap	Ahşap	0,00-0,01	Ahşap	Platform	1576	1500
Stadthaus	Ahşap	Betonarme	0,00-0,01	Ahşap	Platform	901	900
Portvakten Söder	Ahşap	Betonarme	0,00-0,01	Ahşap-Beton Hibrit	Panel sistem	1350	1300



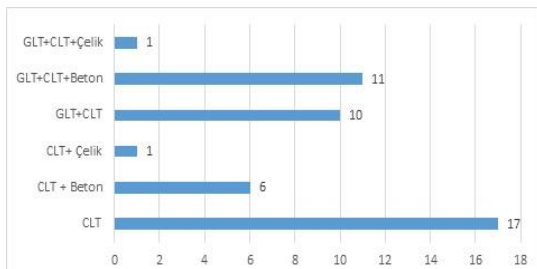
Şekil 18. CLT çok katlı konutlarda CLT panellerin kullanım yeri grafiği

Döşeme paneli olarak CLT panel tek başına 40 adet yapıda kullanılmıştır. Beton-CLT kompozit döşeme ise 6 adet konut yapısında tercih edilen bir sistem olmuştur (Tablo 5).

Tablo 5. CLT Panelin Çok Katlı Yapılarda Kullanım Yeri

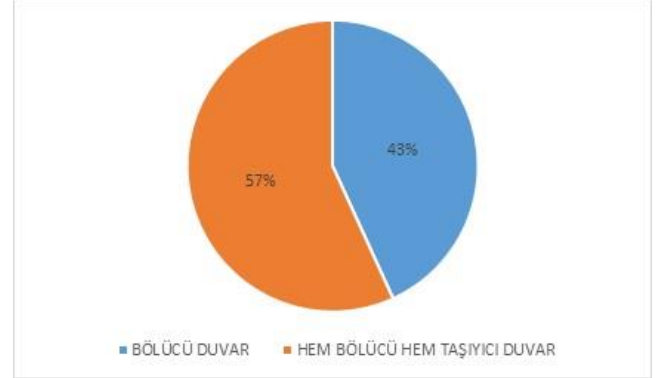
YAPI İSMİ	CLT PANELİN KULLANIM YERİ					
	ÇEKİRDEK		DÖŞEME		DUVAR	
	Merdiven	Asansör	CLT-Beton Kompozit	CLT	BÖLÜCÜ	TAŞIYICI
Roots Tower				●	●	●
Albizzia				●	●	●
Cederhusen			●	●	●	●
Ascent				●	●	●
HAUT			●	●	●	●
Monterey				●	●	●
Tallwood 1 at District 56	●	●		●	●	●
INTRO Residential Tower				●	●	●
Hyperion				●	●	●
Hoas Tuuliniitty				●	●	●
HoHo			●	●	●	●
Mjöstärnet	●	●	●	●	●	●
SKAIO			●	●	●	●
Sensations	●	●		●	●	●
Trummens Strand	●	●		●	●	●
Botanikern				●	●	●
Kajstaden	●	●		●	●	●
Arbora Condominium	●	●		●	●	●
Aveo Bella Vista				●	●	●
Maskinparken TRE	●	●		●	●	●
Kringsja Studentby				●	●	●
Carbon12		●		●	●	●
Docenten				●	●	●
Puukuokka Housing Block				●	●	●
Frostaaliden				●	●	●
The Gardens Macarthur				●	●	●
Origine	●	●		●	●	●
Dalston Works	●	●		●	●	●
Press House				●	●	●
Highpoint Terrace				●	●	●
Moholt 50/50	●	●		●	●	●
Treet	●	●	●	●	●	●
Trafalgar Place	●	●		●	●	●
The Cube Building				●	●	●
Vallen	●	●		●	●	●
Contralaminada	●	●		●	●	●
Limnologen	●	●		●	●	●
Residences J. Ferry	●	●		●	●	●
Strandparken	●	●		●	●	●
Rundeskojen Hus B				●	●	●
Cenni di Cambiamento	●	●		●	●	●
Forte	●	●		●	●	●
Holz8				●	●	●
Bridport House	●	●		●	●	●
Stadthaus	●	●		●	●	●
Portvaktén Söder	●	●		●	●	●

Strüktür malzemeleri analizinde çoğunlukla CLT panelin tek başına kullanıldığı saptanmıştır. GLT (tutkallı tabakalı ahşap) +CLT+ Beton hibrit sistemin CLT'den sonra en fazla, CLT+Çelik hibrit sistemin ise en az tercih edilen sistem olduğu görülmektedir (Şekil 19).

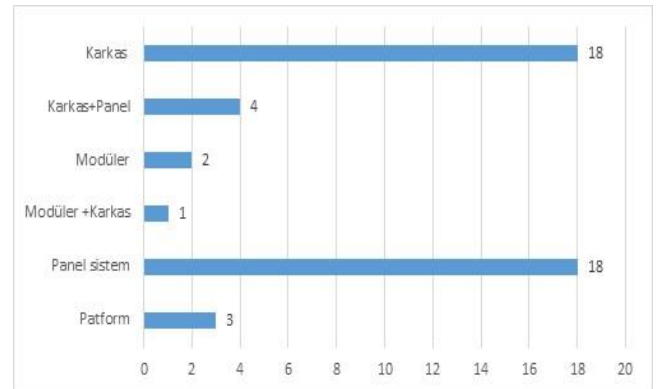


Şekil 19. CLT Çok Katlı Konutların Strüktür Malzemesi Grafiği

Duvar paneli olarak CLT panelin %43 oranında bölücü olarak, % 57 oranında hem bölücü hem de taşıyıcı duvar paneli olarak kullanıldığını Şekil 20'de görmekteyiz.

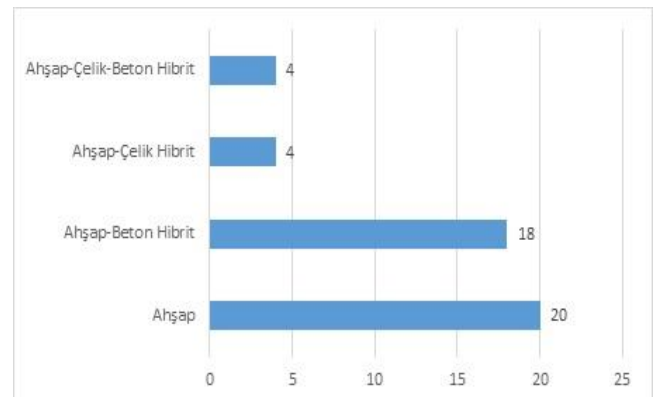


Şekil 20. CLT Çok Katlı Konutlarda CLT Panellerin Duvar Elemanı Olarak Kullanımı Grafiği



Şekil 21. CLT Çok Katlı Konutların Strüktür Sistemi Grafiği

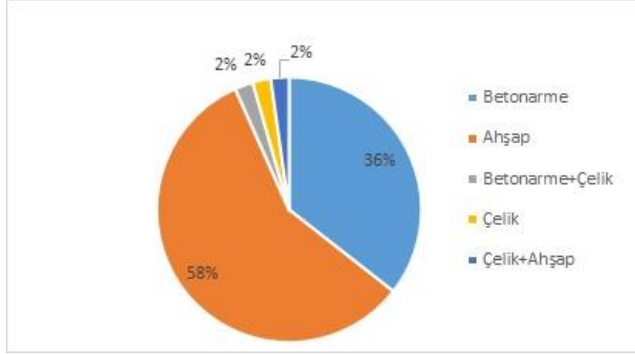
Strüktür sisteminde panel sistem ve karkas sistemin eşit sayıda ve en fazla kullanılan sistemler olduğu (%39,00), bunu karkas + panel sistemin birlikte kullanıldığı strüktür kurgusunun (%8,7) takip ettiği saptanmıştır (Şekil 21). Çok katlı ahşap konutların strüktür sistem çözümlerinde modüler+ karkas (%2,17) ve modüler sistemlerin (%4,35) çok az tercih edildiği görülmektedir.



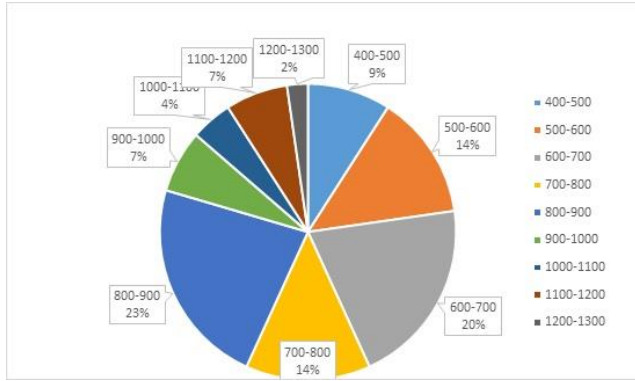
Şekil 22. CLT Çok Katlı Konutların Strüktür Kurgusu Grafiği

Şekil 22'de ahşabın tek başına strüktür malzemesi olarak kullanımının daha fazla olduğunu (%43,50) bunu ahşap ve betonun birlikte kullanıldığı hibrit sistemin

(%39,13) takip ettiğini görmekteyiz. Çekirdek çözümlerinde de ahşap %58 oranında kullanılırken bunu %36 ile betonarme ve %2'lik oranlarla çelik, betonarme-çelik hibrit ve ahşap-çelik hibrit sitem takip etmektedir (Şekil 23).



Şekil 23. CLT Çok Katlı Konutların Çekirdek Çözümü Grafiği



Şekil 24. CLT Çok Katlı Konutların Aks Aralıkları Grafiği (cm)

Geçilen açıklıkların analizinde 800-900 cm ve 600-700 cm aks aralıklarının daha fazla tercih edildiği saptanmıştır. Maksimum 1300 cm, minimum 400 cm açıklık geçildiği görülmüştür (Şekil 24).

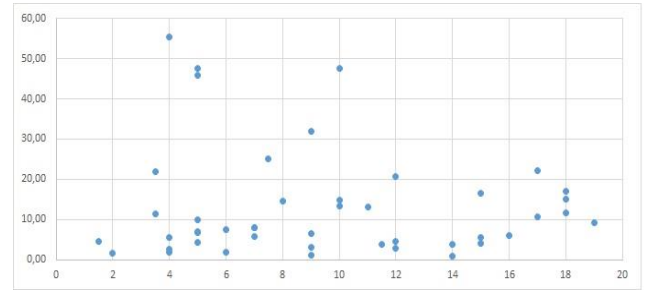
## 6. Karşılaştırmalı Analizler

Tablo 6, kullanılan yapısal sisteme göre altı satır halinde gruplandırılmış çok katlı ahşap konutların strüktür sistemi/inşaat süresini göstermektedir. Karkas sistemle yapılan yapıların çoğunlukla 8-12 ay, panel sistemle yapılan yapıların 3-7 ay gibi bir süre zarfında tamamlandığı görülmektedir. 3 aydan kısa sürede tamamlanan 2 adet yapının strüktürü Panel sistem ve karkas + panel hibrit sistem ile çözülmüştür. En uzun tamamlanma süresi plan 18-20 ay aralığındaki 4 adet yapının 2'sinin strüktürü karkas sistem diğer 2'sinin strüktürü ise panel sistemdir. Tablo 6'dan anlaşıldığı gibi strüktür sisteminin tamamlanma süresine doğrudan etkisi bulunmamaktadır.

Tablo 6. Çok Katlı CLT Konutların Strüktür Sistemine Göre Tamamlanma Süresi Grafiği

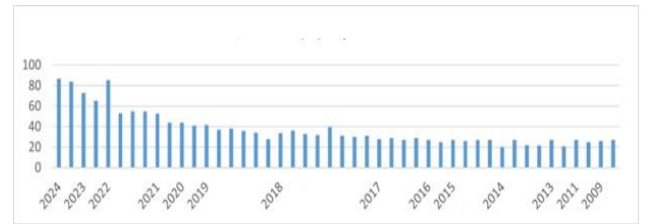
STRÜKTÜR SİSTEMİ	TAMAMLANMA SÜRESİ				
	< 3 AY	3-7 AY	8-12 AY	13-17 AY	18-20 AY
Karkas		*****	*****	*	**
Panel sistem	*	*****	****	****	**
Modüler		*		*	
Karkas+Panel	*	*		**	
Modüler +Karkas			*		
Platform		**	*		

Şekil 25 'de en fazla inşaat alanına sahip yapının 4 ay gibi bir sürede en az alana sahip yapının ise 2 ayda tamamlandığı görülmektedir. Grafikteki dağılımdan toplam inşaat alanının toplam inşaat süresini etkilemediği söylenebilir.



Şekil 25. Toplam İnşaat Alanı (M²) / İnşa Süresi (Ay) Grafiği

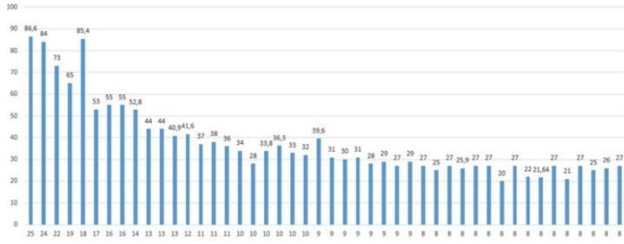
Şekil 26, 2009-2024 yılları arasında çok katlı CLT konut projelerinin yükseklik / yapım yılı ilişkisini göstermektedir. Yüksekliğin her yıl istikrarlı bir şekilde arttığı saptanmıştır.



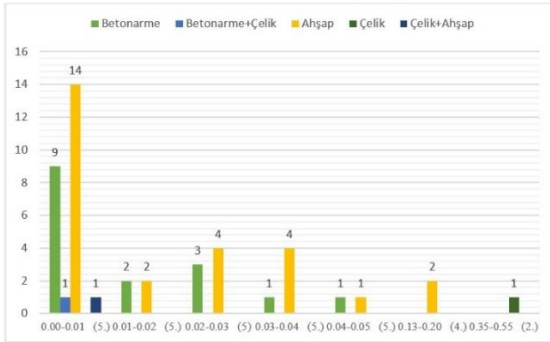
Şekil 26. CLT Çok Katlı Konut Yükseklik-Yapım Yılı Grafiği

Kat adedi- yükseklik analizinde 8 katlı yapıların en fazla 27m, en az 21m, 9 katlı yapıların en fazla 39,6 m, en az 27m, 10 katlı yapıların en fazla 36,3m, en az 28m, 11 katlı yapıların en fazla 38m, en az 36m, 12 kat ve üstündeki yapıların en az 37m ve en fazla 86,6m olarak inşa edildiği saptanmıştır (Şekil 27). Çok katlı ahşap konut yapılarının ortalama kat yüksekliği 3,43m hesaplanmıştır.



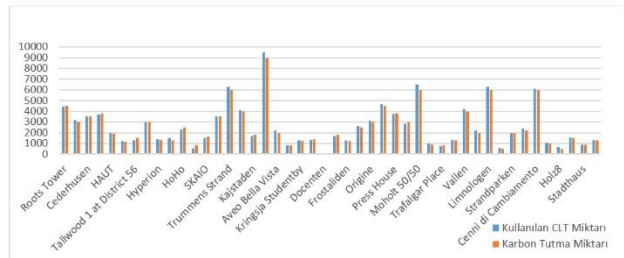


Şekil 27. CLT Çok Katlı Konut Yükseklik- Kat Adedi Grafiği



Şekil 28. CLT Çok Katlı Konutların Deprem Bölgeleri Çekirdek Çözümü İlişkisi Grafiği

Şekil 28'de ahşap çekirdeğe sahip konut yapılarının en fazla (14 adet) 0.00-0.01 yer ivmesine sahip bölgelerde yapıldığı, bunu betonarme çekirdeğe sahip konut yapılarının (9 adet) takip ettiği görülmektedir. Ahşap çekirdeğe sahip konut yapılarının yer ivmesinden bağımsız olarak her bölgede yapıldığı dikkat çekmektedir.



Şekil 29'daki grafikte yapıda kullanılan CLT miktarı arttıkça yapının CO<sup>2</sup> tutma kapasitesinin de aynı oranda arttığı tespit edilmiştir. 1m<sup>3</sup> CLT panelin yaklaşık olarak 1ton CO<sup>2</sup> tuttuğu söylenebilir.

## 7.Sonuçlar

Bu araştırma, kapsam bölümünde tanımlanan özellikteki CLT konut yapısı örneklerine ait verilerinin analizi üzerinden uygulama koşullarının saptanmasını hedeflemiştir. Bu bağlamda da yapıların çevresel koşulları ile mimari ve yapısal özellikleri değerlendirilmiştir.

Özetlemek gerekirse; CLT çok katlı konut projelerinin çoğu, CLT panel malzemenin geliştirildiği Avrupa'da bulunmaktadır. Amerika ve Avustralya'da birkaç proje

bulunurken, Asya, Güney Amerika ve Afrika'da CLT çok katlı konut yapı pazarı henüz gelişmediğinden bu bölgelerde CLT malzemeli proje verisine ulaşılammıştır.

Dünyada çapraz lamine ahşap endüstrisinin en çok geliştiği yerler, Almanya'nın Bavyera bölgesi, Avusturya, İsviçre ve Kuzey İtalya dahil olmak üzere Orta Avrupa'dadır. Buna rağmen Amerika ve Avustralya'da CLT çok katlı konutların inşa edilmesi şantiyeden imalatçıya olan mesafenin önemini azalttığından, Avrupa'da çok katlı CLT yapılarının yaygınlaşması, konut seçiminde kültürel farklılıklara ve endüstrinin daha fazla gelişmiş olmasına bağlanabilir (Muszynski. ve diğ., 2017).

Endüstrinin gelişmişliği ve kültürel farklılıkların yanı sıra, bir yerin depremselliği, malzeme veya yapısal sistem seçimini etkileyebilecek faktörlerden biridir. İncelenen projelerin çoğu düşük sismik tehlike bölgelerinde inşa edilmiştir ancak yüksek sismik bölgede yapılmış olan hibrit bir yapı da mevcuttur. Bu sismik tehlikesi bulunan bölgelerde de CLT çok katlı konutların uygulanabilir olduğunun bir göstergesi olarak değerlendirilebilir.

Dünyada CLT panel kullanılarak inşa edilen çok katlı konut yapılarının uygulama koşulları ile ilgili başlıca bulgular ve değerlendirmeler aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

Boyutsal verilerin analizinde;

- Yapı yüksekliğinin her geçen yıl arttığı saptanmıştır. Bu noktadan hareketle, CLT ile ilgili teknik gelişmelerin, yapım olanaklarını ve yapı yüksekliğini artırdığı söylenebilir.
- Yapıların en az 20 m en fazla 86,6 m olarak inşa edildiği ve ortalama kat yüksekliğinin en az 2,95 en fazla 3,77 m olduğu görülmüştür. Bu verilere dayanarak, CLT panel sitemdeki kat yüksekliğinin konut yapımında kullanılan diğer yapım sistemleri ile benzerlik gösterdiği söylenebilir.
- 8 kat olarak inşa edilen konut sayısının belirgin biçimde fazla olduğu görülmektedir. CLT malzemeli konutlarda farklı tasarım parametreleri örneğin yangın, rüzgâr ya da deprem yükleri vb. açısından yapılacak tasarım denemelerinde 8 kat yüksekliğin bir başlangıç noktası olabileceğini göstermektedir.

Zamansal verilerin analizinde;

- Yapıların minimum 2 ay, maksimum 18 ayda tamamlanması, CLT panel yapım sistemlerinin hızlı konut üretimine uygun olduğunun bir göstergesidir. Bu bağlamda da, özellikle kısa zamanda büyük bir nüfusu barındırmak için uygun bir çözüm alternatifi olduğunu göstermektedir.

**Deprem ve iklim verilerinin analizinde;**

- Daha çok 0.00-0.01 yer ivmesine sahip bölgelerde inşa edilmiş olup, hibrit çözümlerle yüksek riskli deprem bölgesinde de uygulandığı için, hibrit çözümlerle dünyada yer ivmesi yüksek olan diğer bölgelerde de uygulanması mümkün görünmektedir. Bu noktada, ilgili deprem hesaplarının, tanımlanan normlar çerçevesinde tasarım sürecine dahil edilmesi ile farklı çözüm olanaklarının geliştirilebileceği düşünülmektedir.
- En fazla Cfb iklim bölgesinde olmak üzere 8 farklı iklim bölgesinde inşa edildiği saptanmıştır. Bu verilerden yola çıkarak dünyada çok farklı iklim koşullarında uygulanabilir olduğu söylenebilir.

**Strüktürel verilerin analizinde;**

- Ahşabın tek başına strüktür malzemesi olarak kullanımının daha fazla olduğu, bunu ahşap-beton hibrit sistemin takip ettiği saptanmıştır. Çekirdek çözümlerinin ise, 23 adet CLT Panel, 17 adet betonarme, 1 adet çelik, 1 adet ahşap-çelik hibrit, 1 adet ise betonarme- çelik hibrit olarak çözüldüğü görülmüştür.
- Döşeme olarak çoğunlukla tek başına CLT panelin kullanıldığı, 6 adet yapıda beton-CLT kompozit döşeme sisteminin uygulandığı saptanmıştır.
- CLT yapım sistemlerinin ahşap, betonarme ve çelik yapım sistemleri ile kullanılabilir olması çok farklı strüktürel çözümlere olanak sağladığının bir göstergesidir. Özellikle, yaygın olarak kullanılan betonarme yapım sistemi ile hem çekirdek çözümünde hem de döşemede hibrit çözümlere olanak sağlaması, yeni ürün benimseme sürecindeki kaygıları azaltırken, aynı zamanda statik hesaplamalarda mevcut programların kullanımını da mümkün kılacaktır.
- 600-700 ve 800-900 cm aks aralıklarının daha fazla tercih edildiği ve maksimum 1300 cm, minimum 400 cm açıklık geçildiği saptanmıştır. Bu aks aralıkları konut yapımında sıklıkla kullanılan strüktürel çözümlerle benzerlik gösterdiğinden, CLT yapım sisteminin, aks aralıkları ile de alışkanlıklara uyumlu, alternatif bir yapım sistemi olarak kullanıldığını göstermektedir.
- CLT panelin %57 oranında taşıyıcı, %43 oranında hem taşıyıcı hem bölücü duvar paneli olarak kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu bağlamda, tek bir malzeme ile hem taşıyıcılık hem de mekan örtme görevi sağlanmış olmaktadır.

**Mimari verilerin analizinde;**

- Plan çözümlerinin %58 oranında kare veya dikdörtgen, %27 oranında amorf ve %15 diğer formlarda tasarlandığı ve %32'sinin stüdyo tipi, %23'ünün iki bağımsız bölüm olarak çözüldüğü görülmüştür. Bu veriler CLT yapım sistemlerinin, plan çözümlerinde esnek tasarıma elverişli bir yapım sistemi olduğunun göstergesidir. Ayrıca ön tasarım aşamasında, bölücü paneller doğru konumlandırılarak mekân sınırlarının değişimi/ dönüşümü de söz konusu olabilecektir.
- Yaklaşık olarak 1m<sup>3</sup> CLT panelin 1 ton CO<sup>2</sup> tutma kapasitesine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. CLT, betonarme ya da çelik gibi konvansiyonel malzemelerin aksine yapı malzemesi olarak da çevreye zarar vermek yerine havayı temizlemeye yardım eder, CO<sup>2</sup> salınımı yerine, tutma eğilimindedir ve yaşam döngüsünün sonunda da doğada yok olabilir.

Özetle; CLT malzemenin mevcutta çok katlı konut yapımında her türlü plan formunda kullanılabilirdiği, birçok iklim bölgesinde uygulanabildiği, strüktürel olarak hem tek başına hem de diğer strüktür malzemeleri ile hibrit çözümlere uygun olduğu ve dolayısıyla deprem riski yüksek bölgelerde de uygulanabildiği, hızlı konut üretimine imkân sağladığı ve CO<sup>2</sup> tutma oranıyla sürdürülebilir bir malzeme olduğu saptanmıştır. Tüm bu sonuçlar CLT panelin alternatif bir strüktür malzemesi olarak hem ülkemizde hem de tüm dünyada birçok çevresel koşulda farklı strüktürel ve plan çözümleriyle çok katlı konut üretiminde kullanılmasının mümkün olduğunu göstermektedir.

**Araştırmacıların Katkısı**

Bu araştırmada; Duygu Yürekli, bilimsel yayın araştırması tabloların ve grafiklerin oluşturulması; Özgül Yılmaz Karaman, çalışmanın yönlendirilmesi ve makalenin oluşturulması, konularında katkı sağlamışlardır.

**Çıkar Çatışması**

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

**Kaynaklar**

Albee R., Muszyński L., Hansen N., Knowles C., Larasatie P., ve Guerrero J. (2018). Recent Developments In Global Cross-Laminated Timber (CLT) Market.

Architecture 2030. (2023). Erişim adresi: <https://architecture2030.org/why-the-building-sector/> Architecture2030 Why the Building Sector?

- Ayaz, C., (2011). "Çok Katlı Sürdürülebilir Yapı Tasarımında Ahşabın Strüktürel Olarak Kullanım Olanakları ve Dünyadaki Örnek Uygulamalar", Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bhandari S., Riggio M, Jahedi S, Fischer E.C. ,- Muszynski L. , Luo Z. (2023). A Review Of Modular Cross Laminated Timber Construction: Implications For Temporary Housing In Seismic Areas. *Journal Of Building Engineering*, 63, 105485, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105485>
- Built Offsite. (2023). Erişim adresi: <https://builtoffsite.com.au/news/clt-manufacturing/>
- Çaştur Ş.N. (2021). Günümüz Mimarisinde Kullanılan Endüstriyel Ahşap Yapı Elemanları ve Yapı Örneklerinin İncelenmesi Yüksek Lisans Tezi Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, İstanbul,
- Chen Y.J. (2012) Comparison of Environmental Performance of a Five-Storey Building Built with Cross-Laminated Timber and Concrete - Reported to: Sustainable Building Science Program Department of Wood Science, University of British Columbia.
- Churkina, G., Organschi, A. Reyer, C.P.O. Ruff, A., Vinke, K. Liu, Z. Reck, B.K. Graedel, Schellnhuber & H.J. (2020). Buildings as a Global Carbon Sink. *Nat. Sustain*, 3, 269-276.
- Climate Change & Infectious Diseases. (2022). Erişim adresi: <https://koeppen-geiger.vuwien.ac.at/present.html>.
- Erlat, E. (2014). Dünya iklimleri. İzmir: Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları.
- Evans, L. (2021). Cross-laminated Timber: Taking Wood Buildings to the Next Level. *Architectural Record*. <http://continuingeducation.construction.com/article.php?L=312&C=1138>
- Fountain, H. (2012) Wood that Reaches New Heights. The New York Times. Erişim adresi: <https://www.nytimes.com/by/henry-fountain>
- Güzel N. ve Yesügey S.C. (2017). Çapraz Lamine Ahşap (CLT) Malzeme ile Çok Katlı Ahşap Yapılar. *Mimarlık*, 382.
- Hess, D., ve Tasa, D. (2011). *Mcknight's physical geography: A landscape appreciation*. New Jersey, NJ: Prentice Hall, 2011.
- Kosmatka S. ve Wilson M. (2011) Design and Control of Concrete Mixtures: The guide to applications, methods, and materials. Portland Cement Association
- Krötsch, S. ve Müller, L. The Development of Multi-Storey Timber Construction. In *Manual of Multi-Storey Timber Construction* (Kaufmann, H., Krötsch, S., Winter, S., Eds.) Edition Detail, Detail Business Information: Munich, Germany, 2018.
- Kuzman, M.K. ve Sandberg, D. A. (2016). New Era for Multi-Storey Timber Buildings in Europe. In *New Horizons for the Forest Products Industry, Proceedings of the 70th Forest Products Society International Convention*, Portland, OR, USA, kongresinde sunulmuş bildiri.
- Kuzmanovska, I., Gasparri, E., Tapias Monné, D. ve Aitchison, M. (2018). Tall Timber Buildings: Emerging Trends and Typologies. World Conference on Timber Engineering kongresinde sunulmuş bildiri.
- Lehmann, S. ve Hamilton, C. (2011). *Sustainable Infill Development using Low Carbon CLT Prefabrication: Adaptation for the South Australian Context; Zero Waste SA Research Centre for Sustainable Design and Behaviour*. University of South Australia, Adelaide, Australia.
- Lehne, J. ve Preston, F. (2023) Making Concrete Change: Innovation in Low-Carbon Cement and Concrete, Chatham House. Royal Institute of International Affairs: Cambridge, UK. <https://www.chathamhouse.org/2018/06/making-concrete-change-innovation-low-carbon-cement-and-concrete>
- Moudgil, M., (2014) Feasibility study of using Cross-Laminated Timber core for the UBC Tall Wood Building *Bachelor of Technology*, <https://doi.org/10.14288/1.035522>
- Muszynski L., Hansen E., Fernando S., Schwarzmann G., ve Rainer J. (2017). Insights into the global cross-laminated timber industry, *BioProducts Business*, ss. 77-92.
- Öztürk M.Z., Çetinkaya G. ve Aydın S. (2017). Köppen-Geiger İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye'nin İklim Tipleri. *Journal of Geography*. 35, 17-27 <https://doi.org/10.26650/JGEOG295515>
- Pagani, M., Garcia-Pelaez, J., Gee, R., Johnson, K., Poggi, V., Styron, R., Weatherill, G., Simionato, M., Viganò, D., Danciu, L. ve Monelli, D. (2018). Global earthquake model (GEM) seismic hazard map (Version 2018.1-Aralık 2018).



- Patterson, D. Forté. (2013). Creating the World's Tallest CLT Apartment Building. US CLT Sempozyumunda sunulmuş bildiri.
- Ramage, M.H., Burridge, H., Busse-Wicher, M. Fereday, G. Reynolds, T. Shah, D.U. Wu, G. Yu, L., Fleming, P., Densley-Tingley, D.; vd. (2017). The Wood from the Trees: The Use of Timber in Construction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 333-359. <https://doi.org/10.17863/CAM.6411>
- Rubel, F. (02 Ocak 2023). *World Maps Of Köppen-Geiger Climate Classification*. <https://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/present.htm>
- Steiger, R., Gülzow, A., ve Gsell, D. (2008). *Non destructive evaluation of elastic material properties of cross laminated timber (CLT)*. Conference COST E53 kongresinde sunulmuş bildiri. 29-30 Ekim 2008, Delft, Hollanda.
- Storaenso, (2022). Erişim adresi: <https://www.storaenso.com/en/products/mass-timber-construction/building-products/clt>
- Structurlam, (2022). Design Guide. Erişim adresi: [https://www.structurlam.com/wp-content/uploads/2019/04/Structurlam-DesignGuide\\_FINAL\\_Spreads.pdf](https://www.structurlam.com/wp-content/uploads/2019/04/Structurlam-DesignGuide_FINAL_Spreads.pdf)
- Svatoš-Ražnjević, H., Orozco L. ve Menges A. (2022). Advanced Timber Construction Industry: A Review of 350 Multi-Storey Timber Projects from 2000-2021. *Buildings*, 12, 404.
- The Future Architecture Platform. (2023). Erişim adresi: <https://futurearchitectureplatform.org/projects/3c2ed451-0da7-402b-81d5-5834fcec8b46/>
- Turner, A. (2014). Structural Performance of Cross Laminated Timber Panels as Walls. University of Southern Queensland.
- Türkeş, M. (2010). *Klimatoloji ve meteoroloji*. İstanbul: Kriter Yayınevi.
- United Nations. *Buildings and Climate Change: Summary for Decision Makers*. (2009). United Nations: New York, NY, USA, 2009; pp. 1-62.
- Van de Kuilen J.W.G., Ceccotti A., Xia, Z. ve He, M. (2011). Very tall wooden buildings with cross laminated timber, *Procedia Engineering*. 14, 1621-1628.2011