



Mühendislik Ürünü Ağaç Malzemelerde Yükselen Trend; Çapraz Tabakalanmış Kereste

Vedat ÇAVUŞ^{1*}

¹ İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 35620, İZMİR

Öz

Binaların, insan ve çevre sağlığı üzerinde önemli bir etkisi vardır. Bina üretiminde kullanılan kaynakların sürdürülebilir olması, az atık çıkarmaları, daha az sera gazı salgılamaları, üretimlerinde daha az su ve enerji kullanılması, insan sağlığı ve çevre üzerindeki etkilerinin az olması günümüzde öne çıkan en önemli unsurlardır. Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK), çelik, beton ve duvar gibi geleneksel yapı malzemelerine sürdürülebilir “yeşil” bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK), dikdörtgen veya kavisli biçimde paneller oluşturmak için farklı yönlerde istiflenmiş, tutkal ve basınç ile yapıştırılmış bir mühendislik ürünü ağaç malzemedir. Bu paneller bina inşaatlarında zemin, duvar ve çatı olarak kullanılmaktadır. Yüksek mukavemet, boyutsal sabitlik ve tasarım esnekliği ile Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK), birçok bina tipinde, beton, duvar ve çelik gibi geleneksel yapı malzemelerine karşı oldukça avantajlı bir alternatif olduğunu birçok uygulamada kanıtlamıştır. Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) panelleri tek sayıda kereste katmanından (genellikle üç, beş, yedi veya dokuz) oluşur. Bu paneller, her proje için ve her kesim için özel olarak tasarlanmaktadır. Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) panelleri inşa edilecek yapılara göre üretilip monte edildiğinden, inşaat süresi azaltmakta ve üretim sırasında neredeyse hiç atık oluşmamaktadır. Bu çalışmada bu ürünlerin üretim süreçleri, özellikleri kullanımı, avantaj ve dezavantajları ile dünya pazarındaki yeri hakkında bilgi verilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çapraz Tabakalanmış Kereste, Mühendislik Ürünü Ağaç Malzeme, Çevre, İnşaat, Yapı Malzemeleri.

Rising Trend in Engineered Wood Products; Cross Laminated Timber

Abstract

Buildings have a significant impact on human and environmental health. Today, the most important factors in building sector, less waste extraction, less greenhouse gas emissions, less water and energy consumption in their production, low impact on human health and the environment are factors that stand out. Cross laminated timber (CLT) has emerged as a sustainable “green” alternative to traditional building materials such as steel, concrete and wall. Cross laminated timber (CLT) is an engineered wood product, which is glued with glue and pressure, stacked in different directions to form panels in rectangular or curved form. Cross laminated timber (CLT) is an engineered wood product, which is combined with glue and pressure, stacked in different directions to form panels in rectangular or curved form. With its high strength, dimensional stability and design flexibility, the Cross laminated timber (CLT) has proven in many applications that it is a very advantageous alternative to traditional building materials such as concrete, walls and steel in many building types. Cross laminated timber (CLT) panels consist of an odd number of lumber layers (usually three, five, seven or nine). These panels are designed specifically for each project and for each segment. Since the Cross laminated timber (CLT) panels are already manufactured and assembled in place, they reduce construction time and produce almost no waste in their production. In this study, it is aimed to give information about production processes, properties, advantages and disadvantages, world market of these products.

Keywords: Cross Laminated Timber, Engineered Wood Product, Environment, Construction, Building Materials.

1. Giriş

Dünyadaki şehir nüfusu hızla arttıkça kentlerde konut talebi de artmaktadır. Beton ve çelik, en yaygın iki altyapı yapı malzemesidir (Aggeliki, 2018). Bu malzemelerin yüksek düzeyde tanınmasına rağmen, beton ve çelik üretimlerinde büyük miktarda enerji tüketimi, yoğun hammadde kullanımı, çok fazla atık çıkması gibi birçok olumsuz yönleri de bulunmaktadır (Deaton, 2016). Çimento ve demir-çelik üretiminde atmosfere yüksek miktarlarda CO₂ salınımlarının gerçekleştiği sektörlerdir. Çimento üretimi dünya çapında karbon emisyonu salınımlarının %6'sına, demir-çelik üretimi ise %6,7'sine neden olmaktadır (Köse, 2018). Beton ve çeliğin istenmeyen bu özellikleri karşısında mimarlar ve mühendisler, büyük altyapı inşaatları için daha çevreci ve eko sisteme uygun alternatif bir yapı malzemesi olan ağaç malzemeye yönelmeğe başladılar. Beton ve çelik ile karşılaştırıldığında rüzgâra veya diğer kuvvetlere karşı daha düşük direnç özelliklerine sahip olan ağaç malzeme yüksek binaların yapımında kullanımını sınırlıdır. Orman endüstrisi üretim teknolojisi ve tutkal endüstrisindeki gelişmeler, çevre etkilerini ön plana çıkararak üretim anlayışı, standartlara uygun kaliteli malzeme ihtiyacı enerji verimliliğini arttırıcı, çevreci malzemelerin üretilmesi ve geliştirilmesi mühendislik ürünü ağaç malzemeleri (MAM) ortaya çıkmıştır (Nelson, 1997; Winistorfer ve Steudel, 2002; Mengeloğlu ve Kurt, 2004; Carrick ve Mathieu, 2005; Kurt ve Çavuş, 2011; Kurt ve ark., 2011; Kurt ve ark., 2012; Kurt ve ark., 2013). Şekil 1'de mühendislik ürünü ağaç malzeme(MAM) ürünleri gösterilmiştir.



Şekil 1. Mühendislik Ürünü Ağaç Malzeme (MAM) ürünleri (Winistorfer ve Steudel, 2000'den adapte edilmiştir).

Mühendislik Ürünü Ağaç Malzeme (MAM) ürünleri "Engineered Wood Products (EWP)" olarak isimlendirilen terimden literatürümüze girmiştir. Mühendislik Ürünü Ağaç Malzeme (MAM); tomruklardan kereste, kaplama, yonga, şerit yonga ve lif gibi şekil değiştirerek elde edilen eleman ve parçaların tutkalanıp, sıcaklık ve basınç altında preslenerek şekil verilmesiyle elde edilen kompozit malzemelerdir. Bu ürünler yapısal kompozit keresteler (Structural Composite Lumbers), yapısal odun levhalar (Structural Composite Boards), tabakalanmış ağaç malzeme (Glued Laminated Timber) ve -I-kirişler (Wood I- joist) olmak üzere dört ana kısma ayrılabilir (Nelson, 1997).

Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK), kavisli ve dikdörtgen şekilde yapı oluşturmak için yapısal tutkallar kullanılarak lamine edilmiş, en az üç ortogonal kereste katmanından oluşan bir mühendislik ürünü yapı malzemesidir. Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) ürünü çatı, zemin veya duvar uygulamaları için tasarlanmış elemanlar, direk veya kirişlerin yanı sıra CNC makineler tarafından özel olarak kesilmiş (pencereler, kapılar ve girişler) prefabrik paneller şeklinde olabilmektedir (Espinoza ve ark., 2015; Aicher ve ark., 2016). Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) teknolojisi, çevre dostu, düşük fiyatlı, yangın emniyeti olan ve düşük ağırlık, iyi yangın dayanımına sahip olması (Frangi ve ark., 2009; Fragiaco ve ark., 2013), yalıtımlık gibi özelliklere sahip olduğundan gelecekte çok büyük bir potansiyele sahiptir. Bu çalışmada ülkemizde yeni tanınmaya başlayan çapraz tabakalanmış kerestenin üretim süreçleri, özellikleri kullanımı, avantaj ve dezavantajları ile dünya pazarındaki yeri hakkında derleme bilgi verilmeğe çalışılmıştır.

2. Çapraz Tabakalanmış Kereste

Genel görünümü ve üretim yüzeye göre tabakaların yönleniş biçimleri Şekil 2'de gösterilen Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) mühendislik ürünü ağaç malzemelerin (MAM) yeni bir türüdür. Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK); smartlam, X-lam, mass timber veya crosslam isimleri ile bilinmekte ve günden güne kullanımı

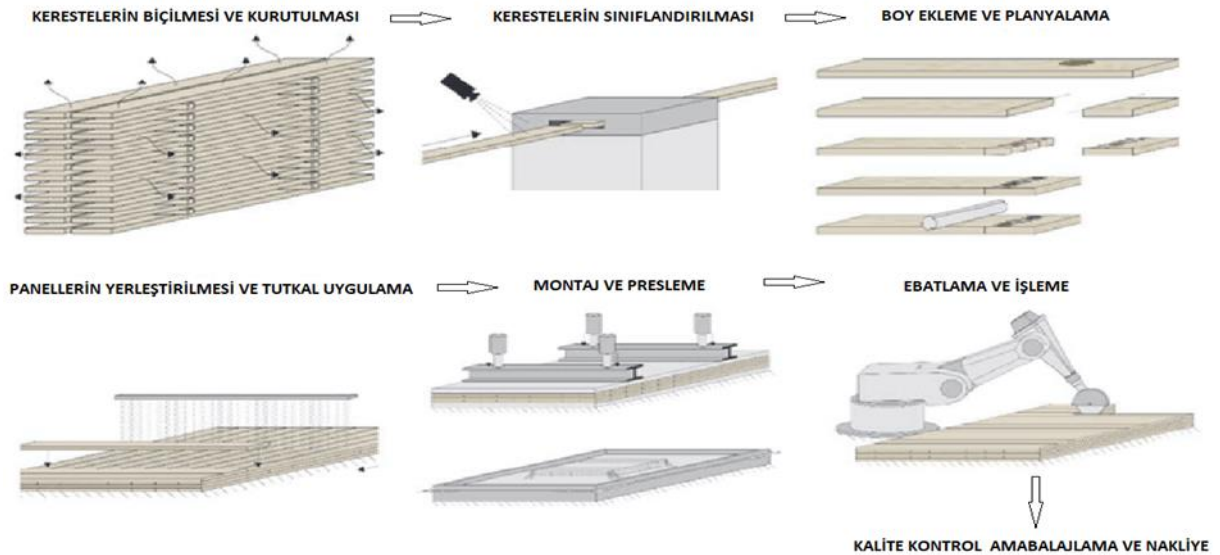
yaygınlaşmaktadır (Espinoza ve ark., 2015). Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) çoğunlukla prefabrik panel olarak yapısal uygulamalarda kullanılmaktadır. Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) kontrplak üretiminde olduğu gibi her ahşap katmanın lif yönleri birbirine dik açı yapacak şekilde yapıştırılması ile üretilmektedir. Çapraz tabakalanmış keresteyi (ÇTK) kontrplak üretiminden ayıran en büyük özellik üretiminde kaplama levhaları yerine kerestelerin kullanılmasıdır (Lepage, 2012). Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK), katmanları benzeyen ve birbirlerine dik olarak yerleştirilmiş 3-5-7-9 kereste katmanından oluşmaktadır. Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK), konut, konut dışı ve ticari yapılarda prefabrik duvarlar, zemin ve çatı elemanları olarak başarıyla kullanılmakta birlikte çok katlı ahşap bina yapımı için yeni bir çözüm olarak önerilmektedir (Mohammed ve ark., 2012). Çapraz tabakalanmış kerestenin (ÇTK) yapısal alanda kullanılmasında ve popülerliğinin artışıdaki en önemli sebep “yeşil bina hareketinden” kaynaklanmaktadır (Thiel, 2014). Çelik ve beton ile rekabet etme gücünü gösteren Çapraz tabakalanmış kerestenin (ÇTK), geleneksel inşaat malzemeleri üzerindeki üstünlüğü, daha düşük finansman ile daha hızlı inşaat yapmasından kaynaklanmaktadır (Zumbrunnen ve Fovargue, 2012).



Şekil 2 çapraz tabakalanmış kerestenin genel görünümü (URL1, 2019).

2.1. Çapraz Tabakalanmış Kereste Üretimi

Üretim süreci şematik olarak şekil 3'te gösterilmiş olan Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) tipik olarak dokuz temel adımda üretilmektedir. Bu adımlar; 1) kereste seçimi, 2) Kereste sınıflandırması, 3) Kerestelere boy yönünde eklemeye yapılması, 4) Kereste yüzeylerinin düzeltilmesi (planyalanması), 5) Kerestelerin yerleştirilmesi, 6) Yapıştırıcı uygulaması, 7) Montaj ve presleme, 8) Kalite kontrol, ebatlama ve işleme, 9) Ürün markalama, paketleme ve nakliye.



Şekil 3 Çapraz Tabakalanmış Kereste Üretimi (Mestek ve ark., 2010).

Üretimde kullanılacak kerestenin özellikleri ve kalitesi Çapraz tabakalanmış kerestenin (ÇTK) üretim sürecinde çok önemlidir. Genellikle kereste, istenen kalite ve rutubet miktarını karşılamak için önceden sınıflandırılmış ve fırınlanmış olmalıdır. (Yeh ve ark., 2013). Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) üretiminde kullanılan kerestelerin rutubet miktarı üretim sırasında 12 ± 3 aralığında olmalıdır. Eğer üretimde yapısal kompozit kereste ürünleri

kullanılacaksa, bu ürünlerin rutubet miktarı $8\pm 3\%$ aralığında olmalıdır (Ansi/Apa, 2012). Kerestelerin rutubet miktarı üretimde kullanılacak yapıştırıcıların rutubet miktarını karşılaması oldukça önemli bir konudur. Bazı yapıştırıcılar rutubet miktarına karşı daha hassas olup rutubet miktarındaki değişim liflerin yönü ve üretimde kullanılan kereste türlerine bağlı olan farklı daralma katmanları arasındaki iç gerilmeleri en aza indirmek için oldukça önemlidir (Yeh ve ark., 2013). Üretimde kullanılacak kerestelerin kaliteleri tüm yapısal gereklilikleri yerine getirmek zorundadır (Ansi/Apa, 2012; Lewis ve ark., 2014). Ek olarak, kereste sıcaklığının yapıştırıcı bağının üzerinde etkisinin olmasından dolayı üretim tesisinde ve kereste deposunda sabit sıcaklık ve iklim şartları oluşturulmalıdır. Üretim tesislerinde genellikle, $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'lik bir sıcaklık önerilmektedir (Ansi/Apa, 2012; Yeh ve ark., 2013).

Kerestelerin sınıflandırması aşamasında keresteler görsel veya elektronik olarak farklı adımları izlenerek sınıflandırılır. Sınıflandırmada rutubet miktarı ve kerestenin görsel özelliklerinin belirlenmesi, kerestelerin aynı mühendislik özelliklerine sahip olmaları için oldukça önemlidir. Üretim için lif yönündeki ve liflere dik yöndeki katmanlar için elektronik ve görsel sınıflandırma yapılır. Estetik kaliteyi sağlamak için, en dış katmanların açıkta kalan yüzeyleri daha iyi bir görsel görünüme sahip olmalıdır (Schickhofer, 1994; Schickhofer ve ark., 2010).

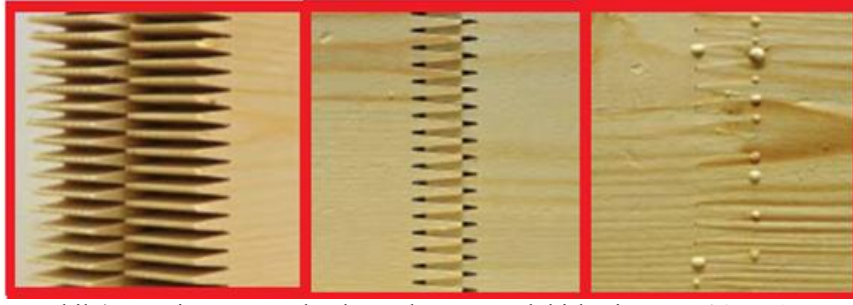
Sınıflandırılan kereste yüzeyleri aynı anda dört tarafına planyadan geçirilerek düzeltilir. Bu işlem bütün katmanlardaki kerestelerin gerekli genişlik ve kalınlığı sağlaması bakımından önemlidir. Planyalama işlemi kerestelerin yüzeye daha iyi yapışması ve yüzeyde oluşabilecek oksidasyonu azaltması için önemlidir (Julien, 2010; Yeh ve ark., 2013; Sikora ve ark., 2016). Planyalama işleminde optimum yapıştırmayı temin etmek için gereken hassasiyeti sağlamalıdır. Genel olarak 2,5 mm kalınlıktan ve 3,8 mm genişlikten planyalama yapılması önerilmektedir. Planyalama işleminden sonra, keresteler rastgele uzunluktadır. Bu nedenle, istenilen genişlik ve boy yönünde eklemeler yapılması gereklidir (Smardzewski, 1996; Brandner, 2013; EN 16351, 2015). Planya işleminden sonra, keresteler istenen uzunlukta kesilir. Boy kesme işleme Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) presinin boyutu, uzunluğu ve laminasyonun amacına göre belirlenir. Keresteler boyuna tabakalar için kullanılacaksa, parmak birleştirme yapılan kerestelerin maksimum uzunluğu, presin uzunluğu kadar olur. Eğer paralel tabakalar kullanılacaksa, kerestelerin boyu presin genişliği kadar kesilir (Yeh ve ark., 2013). Kerestelere boy yönünde ekleme yapılması aşamasında genellikle parmak birleştirmeler kullanılmaktadır. Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) üretiminde yaygın olarak kullanılan geometrik ölçüler (Brandner, 2013) Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) üretiminde yaygın olarak kullanılan parmak dişli birleştirmenin geometrik ölçüleri (Brandner, 2013).

Lfj	P	Bt	bn	lt	α	v(bn) %	Örnek
15	3,8	0,5	0,5	0,5	5,6	13,6	
20	5	0,6	0,6	0,5	5,7	12,0	
20	6,2	1,1	1,1	0,5	6	17,8	

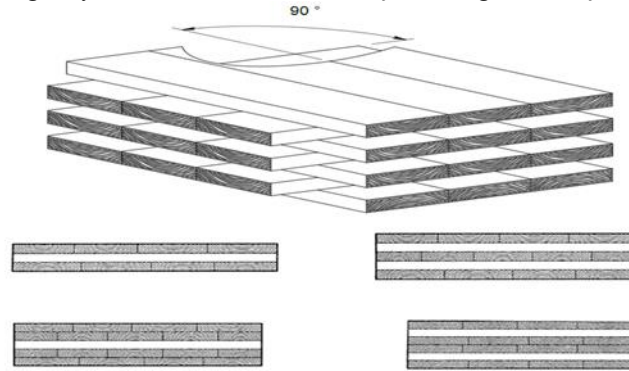
Lfj= diş boyu,
P= eğim açısı,
bt=uç genişliği,
bn=taban genişliği,
 α =diş açısı,
v(bn) %= kesitteki kayıp
* ölçüler mm'dir.

Jokerst'e göre parmak birleştirme 5 aşamadan oluşmaktadır. Bunlar: 1. Kereste seçimi ve hazırlanması, 2. Birleştirme profilinin oluşturulması, 3. yapıştırıcı uygulaması, 4. montajı ve son olarak yapıştırıcının kurummasıdır (Jokerst, 1981). Parmak birleştirme için oluşturulacak profil geometrisi yapışma yüzeyini artırmak için önemlidir (Brandner, 2013). Bu aşamada kereste bünyesinde bulunan budak, çatlak ve lif kıvrıklığı gibi istenmeyen özelliklerden kereste arındırılır. Daha sonra bir freze yardımı ile dişler oluşturularak yapışmaya hazır hale getirilir (Brandner, 2013). Parmak birleştirmelerde kerestelerin boyu presin boyutu ve uzunluğuna göre belirlenir. Keresteler boyuna tabakalar için kullanıldığında, parmak birleştirmeli kerestenin maksimum uzunluğu, presin uzunluğuna göre dik tabakalar için ise presin genişliğine göre kesilir (Yeh et al., 2013). Parmak birleştirme işleminde yaygın olarak arefenol-resorsinol, resorsinol, melamin, melamin-üre, üre, diğer termoset ve termoplastik tutkallar ile polivinil yapıştırıcılar kullanılmaktadır. Bu tutkallardan melamin, üre ve PVA'lar sadece yapısal olmayan uygulamalarda kullanılmaktadır (Jokerst, 1981). Tekniğine uygun yapılmış bir parmak birleştirme örneği şekil 4'te gösterilmiştir. Parmak birleştirme işlemini ise kerestelerin yerleştirilmesi işlemi takip etmektedir.



Şekil 4 örneğine uygun olarak yapılmış parmak birleştirme (Bejder, 2012).

Parmak birleştirme işlemi kerestelerin yerleştirilmesi işlemi takip etmektedir. Bu aşamada ise kalınlıkları 1,5-5 cm ve genişlikleri ise 6-24 cm arasında değişen keresteler 3-5-7-9 tabakadan oluşacak şekilde ve birbirlerine 90°'lik açı yapacak şekilde yerleştirme işlemi yapılır. Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) elemanları genellikle yük taşıma bileşenleri olarak kullanılır. Yük taşıma miktarları, bu ürünü oluşturan ahşap materyallerin direnç özelliklerine ve tutkal türüne bağlı olarak farklılık göstermektedir. Her katman arasında Çapraz tabakalanmış kerestenin (ÇTK) yük taşıma kapasitesine önemli katkı sağlayan tutkal tabakası oluşturulur ve tabakalar bir birine 90°'lik açıyla yapıştırılır. Oluşturulacak panellerin boyutları üretim alanlarına ve taşıma şartlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Bogensperger ve ark., 2011; Bogensperger ve ark., 2012; Teibinger, 2013). Tabakaların yüzey tabakaya göre yönlendirilmesi ve kesitleri Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5 Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) tabakaların yüzey tabakaya göre yönü ve kesitleri (URL2, 2019).

Tabakaların yönlendirilmesi aşamasında hem kereste katmanlarının lif yönleri birbirine zıt gelecek şekilde yerleştirme yapılırken hem de tutkal uygulaması aşamasına da geçilmiş olur. Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) üretiminde yapısal tutkal çeşitlerinden fenol-resorsinol formaldehit (PRF), emülsiyon polimer izosiyanatlar (EPI) ve poliüretan (PUR) gibi tutkallar kullanılır (Yeh ve ark., 2013). Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) üretiminde yüzeylerin birbirlerine daha iyi yapışması için; tutkal sistemi, kereste türleri, yüzeyin pürüzlülüğü ve düzlüğü, tutkal uygulama sistemi ve uygulanan tutkal miktarı önemlidir. Yapıştırıcı uygulaması, yüzey oksidasyonu, penetrasyon ve ağaç malzemenin boyutsal kararsızlığı gibi sorunların üstesinden gelmek, yapıştırma etkinliğini artırmak için planyalama işleminin hemen ardından yapılmalıdır. Ek olarak presleme süresi tutkal türüne bağlı olarak genellikle 10 dakika ila birkaç saat arasındadır. Pres süresini kısaltmak ve tutkal kuruma süresini azaltmak radyo frekanslı (RF) teknolojileri uygulanabilir. Genel olarak, Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) üretiminde mevcut üç pres sistemi bulunmaktadır (Brandner, 2013). En yaygın yöntem olarak hidrolik, pnomatik ve vakumla pres sistemleri kullanılmaktadır (Gagnon ve Crespell 2010; wang ve ark., 2011). Çapraz tabakalanmış kereste üretiminde kullanılan pres basıncı ise hidrolik pres sisteminde $\leq 1,5$, pnomatik pres sisteminde $\leq 1,0$ ve vakum pres sisteminde ise $\leq 0,1$ N/mm² olarak uygulanmaktadır.

Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) üretim sürecinde, üreticiler arasındaki temel fark yapıştırma sisteminde ortaya çıkmaktadır. Bir kısım üreticiler katmanları kerestelerinin kenar yapıştırmasıyla hazırlamakta, bazı üreticiler ise katmanlara sadece yapıştırıcı uygulamakta ve hepsini bir adımda yapıştırmaktadır (Gagnon ve Crespell, 2010).

Katmanları oluşturan keresteler arasında oluşabilecek boşlukları ortadan kaldırmak veya boşluk oranını en azaltmak için presleme işlemi hem yüzeyden hem de kenar kısımlardan yapılmaktadır. Pres aşamasında ortam sıcaklığının 15°C yüksek olması önerilmektedir. Bunun sebebi ise bazı yapıştırıcıların düşük sıcaklıklarda sertleşmesinin daha uzun sürmesidir. Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) kalite-kontrol, işleme ve kesim işlemi sırasında bu ürünler için tasarlanmış endüstriyel zımpara makinesi ile 0,1 mm toleransla hedef kalınlığa

zımparalamak için kullanılmaktadır. Zımparalama işleminden sonra, Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) panelleri daha sonra CNC makineler yardımıyla pencereler ve kapılar, ek yerlerinin kesilip açılması aşamasına geçilir. Üretim sırasında meydana gelen hataları ortadan kaldırmak için küçük onarımlar, imalat işleminin bu aşamasında gerçekleştirilir. Üretim sürecinin en son aşamasında ise ürün işaretleme, paketleme ve nakliye işlemleri gelmektedir. Depolama sırasında Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) panellerinde ağaç malzemenin higroskopik yapısına bağlı olarak rutubet değişiminin önüne geçecek şekilde ambalaj yapılması gerekmektedir (Gagnon ve Crespell, 2010).

2.3. Çapraz Tabakalanmış Kerestenin Avantaj ve Dezavantajları

Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) hem keresteye göre hem de diğer yapısal malzemelere göre birçok avantajı vardır. Çapraz tabakalanmış kerestenin (ÇTK) keresteye göre avantajları şunlardır. Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) panel üretiminde kullanılan keresteler hem mekanik hem de görsel olarak sınıflandırılmaktadır. Ek olarak Böylece yüksek dayanıklılığa istenen yerlerde veya özellikle ürünün dış yüzeyinde yüksek sınıflı keresteler kullanılmakta veya düşük sınıftaki keresteler ürünün iç kısmında yer almasına olanak sağlamaktadır. Eğilme, çukurlaşma, bükülme ve çarpılma daha azdır (Nelson,1997). Ağaç malzemeler; doğal yapıları gereğince lif kıvrıklığı, budak vb. gibi istenmeyen özelliklerinin yanısıra, kesildiği yere göre (dal, gövde) ve yöne göre (radyal, teğet, boy) değişik mekanik özellikler gösteren anizotrop malzemelerdir. Çapraz tabakalanmış kereste de (ÇTK) ise budaklar ve istenmeyen yerler kesilerek atılmış veya panel içerisinde dağıtılmışlardır.

Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) diğer yapısal malzemelere göre; depreme dayanıklılık, düşük karbon ve sera gazı salınımı azaltması, sürdürülebilir olması, daha az atık, akustik performans, termal iletkenlik gibi yapısal avantajlara sahiptir. Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK), çelik ve beton kullanılmış benzer yapılarla karşılaştırıldığında, inşaat maliyetini ve süresini azaltmakta ve gerekli estetik ve mimari gereklilikleri sağlamaktadır (Pogrebnoy ve Kuznetsov, 2008; Gagnon ve Pirvu, 2012; Polastri ve ark., 2017; Polastri ve ark., 2018).

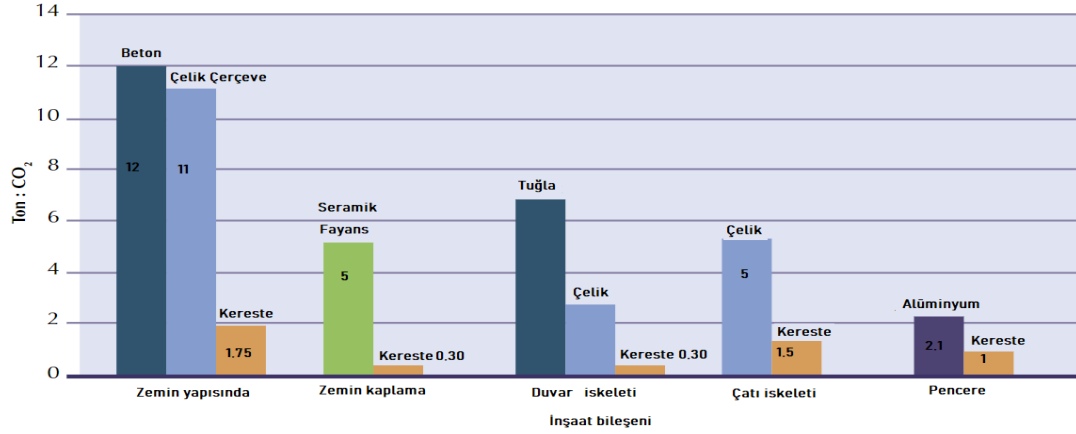
Sürdürülebilir bir malzeme kullanılarak üretilen ÇTK, mükemmel termal performansına ek olarak bir dizi çevresel fayda sağlamaktadır. Ağaç malzemenin yaşam döngüsü değerlendirme çalışmaları, enerji, hava ve su kirliliği açısından çelik ve betondan daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur (Bowyer ve ark., 2005; Chen, 2011). Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) üretiminde kereste kullanılması nedeniyle diğer inşaat malzemeleri ile karşılaştırıldığında işlenmesi için daha az enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) panelleri üretiminde ortaya çıkan atıklar imalat işlerinde, merdiven ve diğer mimari elemanların yapımında veya biyoyakıt olarak kullanılabilirler. Kullanım ömrünü tamamlamış Çapraz tabakalanmış kerestelerin (ÇTK) geri dönüşümleri diğer geleneksel inşaat malzemelerine göre daha kolaydır beton ve çelik yapılarla karşılaştırıldığında, daha az bozulma gösterir. Boyutsal stabilite ve rijitlikleri nedeniyle, ÇTK panelleri etkili bir yanıl yüke dirençli sistem oluşturur. Yapılan bazı sismik araştırmalarda Çapraz tabakalanmış kerestenin (ÇTK) iyi sünek davranışlar ve enerji dağıtımı sağladığı tespit edilmiştir (Brander, 2013).

Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) akustik performansa katkıda bulunduğundan, etkili ses iletimi için yeterli gürültü kontrolü sağlamaktadır. Montaj sırasında hava sızdırmazlığı sağlamak ve zemin ile duvar panelleri arasındaki arayüzlerde ses yalıtımını iyileştirmek için sızdırmazlık maddesi ve diğer tip membranlar kullanılması, akustik özelliklerin artmasına katkıda bulunmaktadır (Gagnon ve Crespell, 2011; Pagnoncelli ve Morales, 2016).

Yapılan bazı araştırmalarda, Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) beton, duvar ve çelik yapı tipleriyle karşılaştırıldığında daha hızlı inşaat süresi ve daha düşük temel maliyetlerinin avantajları hesaba katılmamakla birlikte maliyetinin konut tipine göre yüzde 15 ila 50 daha az olduğu tespit edilmiştir (Crespell ve Gagnon, 2010; Laguarda Mallo ve Espinoza 2014).

Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) ile çatı/duvar, duvar/zemin ve katlar arası bağlantılar kurmak, Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) panellerini diğer ahşap esaslı elemanlara, betona veya çeliğe bağlamak için bağlantı elemanları kullanılması kurulum kolaylığı sağlar. Çapraz tabakalanmış kerestenin (ÇTK) termal performansı, panel kalınlığı ile ilgili olan U-değeri veya ısı transfer katsayısı ile belirlenir. Daha kalın paneller daha düşük U değerlerine sahiptir; daha iyi yalıtkanlardır ve bu nedenle daha az yalıtım gerektirir. Bu durum yapı için daha iyi enerji verimliliği sağlar (Nie, 2015).

Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK), kullanımı ile beton ve çeliğe göre sera gazı yayımında yaklaşık %55 azalma sağlanabilmektedir. Beton çelik ve diğer inşaat malzemelerine göre çok daha düşük bir termal iletkenlik sağlamaktadır. Ağaç malzemenin yapısal alanda kullanımı, karbon lavabo adı verilen çevre için olumlu bir etki yaratmaktadır (Head ve arup, 2008; Lehmann ve Hamilton, 2011). Çeşitli inşaat malzemelerin karbon salınımı değerleri şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6 Çeşitli inşaat malzemelerin karbon salınımı değerleri (AG,2006)

Çapraz tabakalanmış kerestenin (ÇTK) dezavantajları ise üretimleriyle ilgili konularda profesyonel üretim personeline ihtiyaç duyulması, geniş boyutları yüzünden birleştirmelerin metal plaka ve cıvata ile yapılması, üretimi ve depolanması için daha fazla yatırım gerektirmesidir. Tüm avantajlarına rağmen hala Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) ile ilgili bazı sorunlar ve endişeler de bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) panelleri taşıma zorluklarıdır. Ek olarak Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) panellerin termal iletkenlik katsayısının bazı bölgelerdeki inşaat katsayılarından (Kuzey Amerika) daha düşük olmasıdır. Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) panellerin çerçeve konstrüksiyonda kullanılmasında ekstra yalıtım malzemelerine ihtiyaç duyulması da bir diğer dezavantajdır (Alvarez 2007; Head ve Arup, 2008; Crespell ve Gagnon, 2010).

2.3. Çapraz Tabakalanmış Kerestenin Uygulama Alanları

Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) panelleri önceden hesaplanmış direnç özelliklerine sahip olmaları nedeniyle birçok yapısal ve yapısal olmayan alanda kullanılmalarını sağlar (Crespell ve Gagnon, 2010). Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) panellerinin kullanımı, Avrupa'da özellikle yapı sanayinde popüler ve başarılı bir inşaat yöntemi haline gelmiştir. Günümüzde evler, kulübeler, güç hattı kuleleri, kiliseler ve köprülerden, yüksek katlı apartmanlara ve ofis binalarına kadar her çeşit yapı için kullanılmaktadır. Bu panellerin yapısal kullanımında dört ana bağlantı düzeneği vardır (Augustin, 2008; Mohammad ve ark. 2013; Gavrić ve ark., 2015a). Bunlar sırasıyla a) Duvar-temel bağlantıları; b) Duvardan duvara bağlantılar; c) Duvar-zemin-duvar bağlantıları ve Zemin-zemin bağlantılarıdır. Zemin bağlantıları çiviler, vidalar ve dübel tipi mekanik bağlantı elemanları ile yapılmaktadır (Uibel ve Blaü, 2007; Crespell ve Gagnon, 2010; Gavrić ve ark., 2015b; Izzi, 2016). Bu bağlantılar takviye elemanı olarak yapısal tutkallar ile birlikte de kullanılabilir (Mohammad ve ark. 2013). Bu paneller yapısal, sağlamlaştırıcı ve taşıyıcı olmayan duvarlar, tavanlar ve çatı elemanları olarak veya diğer inşaat malzemeleriyle birleştirilerek de kullanılabilirler. Şekil 7'de Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) panelleri ile yapılmış bir konstrüksiyon detayı ve uygulama örneği gösterilmiştir.



Şekil 7 Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) panelleri ile yapılmış bir konstrüksiyon detayı ve uygulama örneği (URL3, 2019).

2.3. Çapraz Tabakalanmış Kereste Pazarı

Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) 1990'ların başında Avusturya ve Almanya ortaya çıkan bir ürün olmasına rağmen günden güne bu ürüne olan ilgi artarak devam etmektedir. Günümüzde Avrupa ve Kuzey Amerika'da konut ve konut dışı inşaatlarda popülerlik kazanmaktadır. 2012 yılında yaklaşık 20 Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) üreticisi (Chui, 2012) bulunmasına rağmen günümüzde bu sayı katlanarak artmaktadır. Dünya çapında Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) üretimi 2012 yılında 0,3 milyon m³ ve 2014 yılında 0,8 milyon m³ üretim hacmine ulaşmıştır (Laguarda Mallo ve Espinoza 2014).

Expert Market Research tarafından yayınlanan yeni rapora göre, küresel Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) pazarının 2016 yılında 1 Milyon m³ üretim hacmine ulaşmıştır. Avrupa, Kanada, Japonya ve ABD'de daha fazla Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) üretim tesisleri kurulmaktadır. Yeni kurulan bu üretim tesisleri ile birlikte küresel Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) üretimi 2026 yılında potansiyel olarak 3 milyon m³ ulaşacağı öngörülmektedir (Espinoza ve ark., 2015; Muszynski ve ark., 2017). Bu pazar büyümesini arttıran sebepler ise; bu ürüne karşı artan farkındalık, gelişmiş pazarlama ve etkili dağıtım ağı, azalan inşaat maliyetleri ve etkin enerji tasarruflu inşaat malzemelerine olan taleplerdir (Brandner ve ark., 2016). Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) ülkemizde ise henüz yaygın olarak tanınıp kullanılmaya başlamamıştır.

3. Sonuç ve Öneriler

Değişik malzemelerin inşaat ve yapı işlerinde kullanılması sonucunda; sürdürülebilirlik kavramı öne çıkmaktadır. Çapraz tabakalanmış kerestenin (ÇTK) hem sürdürülebilir ve çevreci bir yapı malzemesi olması, üretiminin kontrolünün olması, üretim sırasında istenmeyen kısımların çıkarılması, daha iyi akustik ve termal iletkenliklere sahip olması, beton ve çeliğe göre avantajlarındandır. Üretim teknikleri ve tutkal teknolojilerindeki gelişmeler bu ürünün daha iyi mekanik ve fiziksel özelliklere sahip olmasının önünü açmıştır. Türkiye'de çok fazla tanınmayan hatta üretimi bile yok denecek kadar az olan bu ürünün hakkında farkındalık oluşturmak gerekmektedir. Ülkemizde bu malzemelerin fiziksel, mekanik ve diğer özellikleri ile ilgili akademik araştırmalar ise oldukça sınırlıdır. Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) yapı kerestesinin tanınırlığının artırılması, kullanıcılara, mimar mühendis ve sanayicilere bilgi verilmesi, gerekli akademik araştırma sayısının artması ve elde edilen verilerin sanayi toplum kuruluşları ile paylaşılması gerekmektedir. Çapraz tabakalanmış kereste (ÇTK) deprem kuşağında bulunan ülkemiz için oldukça faydalı bir üründür.

Kaynaklar

1. **AG. (2006).** Australian Government. Forest and Wood Products Research and Development Corporation, Forests, Wood and Australia's Carbon Balance. Modified from InWood. International Magazine, 55(2): 24-39.
2. **Aicher, S., Hirsch, M., Christian, Z. (2016).** Hybrid cross-laminated timber plates with beech wood cross-layers. Construction and Building Materials, 124: 1007-1018.
3. **Alvarez, M. (2007).** The State of America's Forests. Bethesda, MD: Society of American Foresters. Bethesda. pp.68.
4. **ANSI/APA PRG 320, (2012).** APA-The Engineered Wood Association, Standard for performance-rated cross-laminated timber, Tacoma, Washington, USA, pp.1-17.
5. **Brandner, R. (2013).** Production and Technology of Cross Laminated Timber (CLT): A state-of-the-art Report. in Focus Solid Timber Solutions- European Conference on Cross Laminated Timber (CLT). 21 May 2013. Graz, Austria: University of Bath, Bath, pp. 3-36,
6. **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, 74(3): 331-351.
7. **Bowyer, J., D. Briggs, L. Johnson, B. Kasal, B. Lippke, J.Meil, M. Milota, W. Trusty, C. West, J. Wilson, Winistorfer. P. (2001).** Corrim: A report of progress and aglimpse of the future. Forest Prod. J. 51(10):10-22
8. **Carrick, J., Mathieu, K. (2005).** Durability of laminated veneer lumber made from blackbutt (Eucalyptus Pilularis). International Conference On Durability of Building Materials and Components; Lyon, France: pp.55.
9. **Chen, Y. (2011).** Structural performance of box based cross laminated timber system used in floor applications, PhD. Thesis, University of British Columbia, Vancouver, Canada,
10. **Bejder, A. (2012).** Aesthetic Qualities of Cross Laminated Timber, PhD. Thesis, Aalborg University, Aalborg, Denmark.
11. **Bogensperger, T., Augustin, M., Schickhofer, G. (2011).** Properties of CLT-panels exposed to compression perpendicular to their plane. In: 44th CIB-W18 Meeting, Alghero, Italy: pp.8.

12. Bogensperger, T., Silly, G., Schickhofer, G. (2012). Comparison of methods of approximate verification procedures for cross laminated timber. Research Report, holz.bau forschungs gmbh, Graz, Austria, pp.49.
13. Espinoza, O. (2015). Cross-Laminated Timber: Status and Research Needs in Europe. *BioResources*, 11(1), 281-295.
14. EN 16351, (2015). "Timber structures–Cross laminated timber –Requirements.
15. Espinoza, O., Buehlmann, U., Smith, B. (2012). Forest certification and green building standards: Overview and use in the U.S. hardwood industry. *Journal of Cleaner Production*, 33(1), 30-41.
16. Fragiaco, M., Menis, A., Clemente, I., Boichicchio, G. (2013). Fire Resistance of Cross-Laminated Timber Panels Loaded Out of Plane, *Journal of Structural Engineering*, 139: 12-15.
17. Frangi, A., Fontana, M. Hugi, E., Jobst, R. (2009). Experimental Analysis of Cross-Laminated Timber Panels in Fire. *Fire Safe Journal*, 44: 107-108.
18. Gagnon, S., Crespell, P. (2010). Cross Laminated Timber: a Primer. FPInnovations. Special publication. pp.52.
19. Gagnon, S., Pirvu, C. (2012). Cross-laminated timber (ÇTK) handbook. FPInnovations, Vancouver, Canada. In: Erol Karacabeyli, B. D. (ed.) CLT handbook: cross-laminated timber. U. S. ed. ed. Pointe-Claire, QC: FPInnovations. pp. 594.
20. Gavrić, I., Fragiaco, M., Ceccotti, A. (2015). Cyclic Behavior of CLT Wall Systems: Experimental Tests and Analytical Prediction Models. *Journal of Structural Engineering*, 141:11.
21. Gavrić, I., Fragiaco, M., Ceccotti, A. (2015). Cyclic behavior of typical screwed connections for cross-laminated (CLT) structures. *European Journal of Wood and Wood Products*, 73:2, 179-191.
22. Grasser, K. (2015). Development of Cross Laminated Timber in the United States of America. Msc Thesis, University of Tennessee, USA. pp.1-95.
23. Head, P., Arup, T. (2008). Entering the ecological age: the engineer's role. 7th Brunel International Lecture. ICE: London. pp. 2-9.
24. Izzi, M., Flatscher, G., Fragiaco, M., Schickhofer, G. (2016). Experimental investigations and design provisions of steel-to-timber joints with annular-ringed shank nails for Cross-Laminated Timber structures, *Construction and Building Materials*, 122: 446-457.
25. Jeleč, M., Varevac, D., Rajčić, V. (2018). Cross-laminated timber (CLT)–a state of the art report. *Gradevinar*, 70(2)2: 75-95.
26. Jokerst, R. (1981). Finger-Jointed Wood Products US. Department of Agriculture Forest Service Forest Products Laboratory Research Paper FPL 382. Pp: 6-10.
27. King, B. 2018. The New Carbon Architecture: Building to Cool the Climate. New Society Publishers, Canada pp. 20-47.
28. Köse, İ. (2018). İklim Değişikliği Müzakereleri ve Türkiye'nin Paris Anlaşması'nı İmza Süreci. *Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi*, 9: 55-81.
29. Kurt, R., Çavuş, V. (2011). Manufacturing of parallel strand lumber (PSL) from rotary peeled hybrid poplar I-214 veneers with phenol formaldehyde adhesives. *Wood Research*, 56(1), 137-144.
30. Kurt, R., M. Çil, K. Aslan, Çavuş, V. (2011). Effect of Pressure Duration on Physical, Mechanical, and Combustibility Characteristics of Laminated Veneer Lumber (LVL) Made with Hybrid Poplar Clones. *Bioresources*, 6(4): 4886-4894.
31. Kurt, R., Aslan, K., Çavuş, V. (2013). Influence of press pressure on the properties of parallel strand lumber glued with urea formaldehyde adhesive. *Bioresources*, 8(3): 4029-4037
32. Kurt, R., Aslan, K., Çil, M., Çavuş, V. (2012). Properties of parallel strand lumber from two hybrid poplar clones using melamine urea formaldehyde adhesive. *BioResources*, 7(3): 3711-3719.
33. Laguarda Mallo, F., Espinoza, O. (2014). Outlook for Cross-Laminated Timber in the United States *BioResources*, 9(4): 7427-7443.
34. Lehmann, S., 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.
35. Lepage, R. (2012). Moisture Response of Wall Assemblies of Cross-Laminated Timber Construction in Cold Canadian Climates. MSc Thesis, University of Waterloo, Ontario, Canada.
36. Lewis, K., Shrestha, R., Crews, K. (2014). Introduction to cross laminated timber and development of design procedures for Australia and New Zealand. In ST Smith (ed.), 23rd Australasian Conference on the Mechanics of Structures and Materials (ACMS M23), 9-12 December 2014; Southern Cross University, Lismore, NSW, pp. 601-606.
37. Mengeloğlu, F., Kurt, R. (2004). Mühendislik Ürünü Ağaç Malzemeler TabakalanmışKaplama Kereste (TAK) ve Tabakalanmış Ağaç Malzeme (TAM). *KSÜ Fen veMühendislik Dergisi*, 7(1): 39-44.
38. Mestek, P., Werther, N., Winter, S. (2010). Building with Cross Laminated Timber - Load-bearing solid wood components for walls, ceilings and roofs, Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V., Wuppertal, pp. 67-70.

39. **Mohammad, M., Douglas, B., Rammer, D., Pryor, S. E. (2013).** Chapter 5: Connections Connections in cross-laminated timber buildings. In: Erol Karacabeyli, B. D. (ed.) CLT handbook: cross-laminated timber. U. S. ed. ed. Pointe-Claire, QC: FPInnovations. pp. 60-77.
40. **Muszynski, L., Hansen, E., Fernando, S., Schwarzmann, G., Rainer, J. (2017).** insights into the Global Cross-Laminated Timber Industry. *BioProducts Business*, 2(8): 80-82.
41. **Nelson, S., (1997).** Structural Composite Lumber. In: *Engineered Wood Products: A guide for specifiers, designers and users*, PFS Research Foundation, Madison, pp.147–172.
42. **Nie, X. (2015).** Failure mechanism of rolling shear failure in cross-laminated timber. Msc. Thesis, University of British Columbia, Vancouver, Canada.
43. **Pagnoncelli, L., Morales, F. (2016).** Cross-laminated timber system (CLT): laboratory and in situ measurements of airborne and impact sound insulation. EuroRegio 2016, June 13 -15, Porto, Portugal pp:1-8.
44. **Polastri, A., Giongo, I., Angeli, A., Brandner, R. (2017).** Mechanical characterization of a pre-fabricated connection system for cross laminated timber structures in seismic regions. *Engineering Structures*, 27 (4): 502-511.
45. **Polastri, A., Giongo, I., Angeli, A., Brandner, R. (2018).** Mechanical characterization of a pre-fabricated connection system for Cross Laminated Timber structures in seismic regions. *Engineering Structures*,t 167:705–715.
46. **Pogrebnoy, I.O., Kuznetsov V.D. (2008).** Non-nogging prestressed building frame with flat-slab deck. *Magazine of Civil Engineering*, 3 (13): 5–12.
47. **Schickhofer, G. (1994).** Rigid and Flexible Composite Action of Laminated Timber Structures. PhD. Thesis, Graz University of Technology, Graz, Austria.
48. **Schickhofer, G., Bogensperger, T., Moosbrugger, T., Herausgeber: B. (2010).** SPhandbuch. Verlag der Technischen Universität Graz, 2, pp. 384.
49. **Sikora, K.S., McPolin, D.O., Harte, A.M. (2016).** Effects of the thickness of cross-laminated timber (CLT) panels made from Irish Sitka spruce on mechanical performance in bending and shear. *Construction and Building Materials*, 116:141-150.
50. **Smardzewski, J. (1996).** Distribution of stresses in finger joints. *Wood Science and Technology*, 30:477-489
51. **Teibinger, M., Matzinger, I. (2013).** Construction with Cross-Laminated Timber in Multi-Storey Buildings—Focus on Building Physics. *Holzforschung*, Austria. Pp.1-19.
52. **Thiel, A. (2014).** ULS and SLS Design of CLT and its implementation in the CLT designer. COST Action FP1004, Focus Solid Timber Solutions, European Conference on Cross Laminated Timber, 2nd Edition, Graz, Austria, pp. 77 -102.
53. **Uibel T., Blaü H. J., (2007).** Edge joints with dowel type fasteners in cross-laminated timber. Proceedings of the CIB Working Commission W18–Timber Structures. 40th meeting, 2007, Bled, Slovenia.
54. **URL1, (2019).** “<https://www.apawood.org/cross-laminated-timber>”
55. **URL2, (2019).** “https://www.klh.at/en/download/public/zertifikate/KLH_ETA_certificate_EN.pdf”
56. **URL3, (2019).** “<https://www.canadianarchitect.com/features/1003730141>”
57. **Yeh, B., Kretschmann, D., Wang, B. (2013).** Manufacturing Cross -laminated timber manufacturing. In: Erol Karacabeyli, B. D. (ed.) ÇTK handbook: cross -laminated timber. U. S. ed. ed. Pointe -Claire, QC: FPInnovations. pp. 1-59.
58. **Yeh, B., Gagnon, S., Williamson, T., Pirvu, C., Lum, C., Kretschmann, D. (2009).** The North American productstandard for cross-laminated timber. *Wood Design Focus*, 22(2), pp. 13-21.
59. **Zhiqiang, W., Hongmei, F., Ying-Hei, C., Meng Gong, M. (2014).** Feasibility Of Using Poplar As Cross Layer To Fabricate Cross Laminated Timber. World Conference Of Timber Engineering, 10-14 August. Quebec, Canada. pp.1
60. **Zumbrunnen, P., Fovargue, J. (2012).** Mid-rise CLT buildings, the UK’s experience and potential for Australia and New Zealand. Proceedings, 12thWorld Conference on Timber Engineering, WTCE 2012, Auckland, New Zealand, pp. 91-98.
61. **Wang, Z., Gong, M., Chui, Y.H. (2015).** Mechanical properties of laminated strand lumber and hybrid cross laminated timber. *Construction and Building Materials*, 101, pp.622–627.
62. **Winistorfer, S., Steudel, H., (2000).** Issues for structural composite lumber industry. *Forest Products Journal*, 47(1): 43–47.