



# Geçmişin ve Geleceğin Yapı Malzemesi Olarak Ahşap: Yapı Mühendisliği Çerçevesinde Bir İnceleme

Hüseyin Kürşat Çelik<sup>1\*</sup>, Gökhan Şakar<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-9408-7116), [celik.huseyinkursat@ogr.deu.edu.tr](mailto:celik.huseyinkursat@ogr.deu.edu.tr)

<sup>2</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0449-248X), [gokhan.sakar@deu.edu.tr](mailto:gokhan.sakar@deu.edu.tr)

(1st International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences ICEANS 2022, May 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1108072)

**ATIF/REFERENCE:** Çelik, H. K. & Şakar, G. (2022). Geçmişin ve Geleceğin Yapı Malzemesi Olarak Ahşap: Yapı Mühendisliği Çerçevesinde Bir İnceleme. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (36), 298-304.

## Öz

Ahşap, inşa etmekte kullanılan en eski yapı malzemelerinden birisidir. Doğal bir malzeme olması, kolaylıkla temin edilebilmesi, çekme gerilmelerini karşılayabilmesi, ağırlığına oranla taşıma gücünün yüksek olması gibi çeşitli avantajları onu alternatiflerinden farklı bir yere koymaktadır. Bu özellikleri ile ahşap, endüstri devrimine kadar yapı kültüründe önemli bir yere sahipti. Betonarme ve çelik inşaatlarındaki gelişmeler ahşabın popülerliğinin yitirilmesine sebebiyet verse de, endüstriyel ahşap ürünlerin geliştirilmesi ve yapı tasarım yaklaşımlarında çevreye duyarlı yapı inşa etme arzusu gibi etkilerle ahşap yeniden gündeme gelmiştir. Bu çalışmada, ahşabın günümüzdeki ve gelecekteki yerini anlamak için ahşap yapıların tarihsel gelişimi incelenmiştir. Ahşap yapı sistemlerindeki çeşitlilikler vurgulanarak, ahşabın yönetmelikler ve standartlardaki yeri irdelenmiştir. Ahşap yapıların geleceği ile modern tasarım ilkeleri için çeşitli öneri ve değerlendirmeler yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Ahşap köprü, Ahşap bina, EN5, NDS, Taşıyıcı sistem.

## Timber as a Building Material of the Past and the Future: An Investigation in the Perspective of Structural Engineering

### Abstract

Wood is one of the oldest building materials used in construction. Various advantages such as being a natural material, being easily available, able to withstand tensile stresses, and having a high carrying capacity compared to its weight put it in a different place from its alternatives. With these features, wood had an important place in the building culture until the industrial revolution. Although the developments in reinforced concrete and steel constructions have caused the loss of popularity of wood, it has come to the fore again due to the development of industrial wood products and the desire to build environmentally friendly structures in building design approaches. In this study, the historical development of wooden structures is examined in order to understand the present and future place of wood. By emphasizing the diversity in wooden construction systems, the place of wood in codes and standards has been examined. Various suggestions and evaluations have been made for the future of wooden structures and modern design principles.

**Keywords:** Timber bridge, Timber building, EN5, NDS, Structural system.

\* Sorumlu Yazar: [celik.huseyinkursat@ogr.deu.edu.tr](mailto:celik.huseyinkursat@ogr.deu.edu.tr)

## 1. Giriş

Ahşap, insan uygarlığının tüm varlığına şahitlik etmiş doğal bir malzemedir. Alet, araç gereç, mobilya gibi günlük ihtiyaçların yanı sıra ahşap, insan yapımı neredeyse tüm alanlarda etkisini göstermiştir. Bir malzeme olarak ahşabın bu kadar önemli yapan sebepler ahşabın doğal yapısında barınmaktadır. Doğadan doğrudan ve kolaylıkla temin edilebilmesi, kolay şekil verilebilmesi, ağırlığına oranla taşıma gücünün yüksek olması, dönemin alternatif malzemelerine karşın çekme kuvvetlerini karşılayabilmesi başlıca değerli özelliklerindedir [1].

Ahşabın kullanım alanı yalnızca gündelik ihtiyaçlarla sınırlı değildir. İlk dönemlerden bu güne kadar insanlık, ahşabı inşa etmekte de kullanmıştır. Ahşabın yeri inşaat tarihinde önemli bir yer kaplamaktadır. Ahşap için endüstri devrimine kadar baskın yapı malzemesi olduğu söylenebilir. Ancak, endüstri destekli betonarme ve çelik inşaat yöntemlerinin yaygınlaşması ile ahşap popülerliğini kaybetmiştir. Bunun nedenleri olarak ahşap ile yüksek mukavemet ihtiyaçlarına karşılık verilememesi, büyük kesit temininde zorluklar, alternatiflerine oranla dayanıklı ve uzun ömürlü olmaması gösterilebilir. Buna karşın, lamine ahşap ile başlayan endüstriyel ahşap ürünlerinin geliştirilmesi ile ahşap yeniden güçlü bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Ahşap kökenli malzemeler günümüz inşaat sektöründe çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Bu konuda yaya ve karayolu köprüleri, konutlar ve ticari yapılar başı çekmekle beraber, opera binası, sinema salonu, yüzme havuzu gibi katma değeri büyük yapılar da önemli bir yer tutmaktadır. Günümüz endüstri olanakları ile ahşabın özelliklerinin geliştirilebilmesi, ahşap ile artık daha zorlayıcı yapılar yapma fikrini yaygınlaştırmıştır. Bu durumun birkaç önemli gerekçesi olup bunlardan en temeli olarak küresel ısınma gösterilebilir. Çevreye duyarlı ve sürdürülebilir yapılar oluşturmak artık ekonomi, güvenlik gibi kaygılardan ayrılmaz noktaya gelmiştir. Dolayısıyla ahşabın günümüzdeki ve gelecekteki yeri üzerine çalışmalar artmıştır. Buna rağmen ahşabın tarihçesi hakkında çalışmalar kısıtlıdır [2].

## 2. Materyal ve Metot

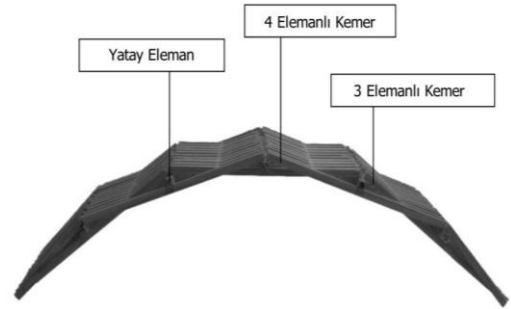
Ahşabın inşaat tarihçesindeki yeri dört ana bölüme ayrılabilir. Bunlar sırasıyla Ortaçağ öncesi, Ortaçağ-18.yüzyıl, 18.yüzyıl-19.yüzyıl, 20.yüzyıl ve günümüz olarak açıklanabilir. Bu sınıflandırma ahşap inşaatlarındaki önemli tasarım ve uygulama farklılıkları ile tarihteki önemli kültürel ve teknolojik gelişmeler dikkate alınarak yapılmıştır. Bu sınıflandırma, Ritter M. (1990)'da önerilen sınıflandırma referans alınarak yapılmıştır [3].

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Ortaçağ Öncesi Dönem

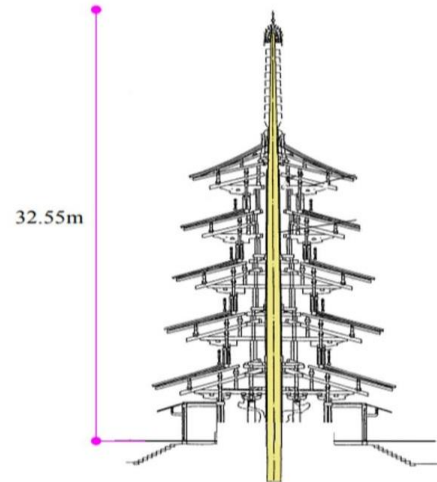
Birinci dönemde insanlık yapı oluşturmaya yeni yeni başlamıştır. İlkel sığınaklar, ilkel köprü örneklerine rastlanabilir. Dönemin zorlayıcı yapıları köprü örnekleridir. Milattan önceki dönemlerde Persler, Babiller, Romalılar, Antik Yunan ve Çin'de önemli yapıların izlerine rastlanabilir. Dönemin çarpıcı örnekleri olarak Babiller'in Fırat Nehri üzerine yaptığı 10 m genişlikte ve 180 m uzunluğundaki bir asma köprü, Antik Yunan döneminde yapılan meşe kazıklara oturtulmuş 275 m'lik Amphipolis Köprüsü ve Julius Caesar tarafından Roma ordusunu

Almanya'ya taşımak amacıyla gerektiğinde sökülebilir şekilde ahşap-ahşap birleşimlerinden oluşan Caesar Köprüsü verilebilir ([3, 4]). Dönemin sonlarına doğru Uzak Doğu'dan çarpıcı örnekler görülmektedir. Çin'de, Sarı Nehir üzerine ahşap çerçevelerin bir kemer görüntüsü elde edilecek şekilde kullanıldığı "Hongqiao" olarak bilinen Gökkuşağı Köprüsü bir kilometre taşı olarak gösterilebilir. Yatay stabiliteyi karşılamak amacıyla tali kirişlerin kullanıldığı ve kamalı birleşimlerin çivilerle desteklendiği bu köprünün, nehir üstündeki tekne hareketi gibi çeşitli tasarım gereklilikleri göz önüne alınarak gerçekleştirildiği düşünülmektedir [5] (Şekil 1).



Şekil 1. Hongqiao Köprüsü taşıyıcı sistemi [5]

Dönemde önemli bina örnekleri de görülmektedir. Pagoda olarak bilinen ve Çin etkisi ile başlayıp yakın topluluklara da sıçrayan inşaat yöntemi, ahşabın insanlığa sunduğu çeşitlilik için önemli bir örnektir. Birçok kez yıkıcı yer ivmelerine maruz kalmış olmasına rağmen çoğu pagoda günümüzde hala hizmet verebilir haldedir. Öyle ki, 32,55 m yüksekliğe ve 5,45 m2 yapı oturma alanına sahip Japonya'da bulunan bir pagoda, bin yılı aşkın süredir ayakta durmaktadır. Yapının uzun bir zaman dilimi içerisinde pek çok deprem görmüş olmasına rağmen ayakta kalabilmesi ise inşaat yönteminde saklıdır. Yapıda katlar arası bağlantı bulunmamaktadır. Yapı, merkezinde bulunan bir dikme elemanın zemine kazık şeklinde ankrajlanması ile mesnetlenmektedir. Deprem anında katlar arası yük aktarımı olmamasına rağmen yapı bütünlüğü korunabilmektedir [6] (Şekil 2).



Şekil 2. Pagoda taşıyıcı sistem örneği [6]

Bu dönemde inşaat mühendisliği mesleği profesyonellik kazanmış değildi. Buna rağmen ahşap ile mühendislik hizmeti verilmiş çeşitli yapılar yapılabilmektedir. İlkel yapı teknolojilerinden sistematik düşünce ile ahşap malzeme özelliklerinin değerlendirilmeye başlandığı verilen örneklerden görülebilir.

### 3.2. Ortaçağ-18.yüzyıl Arası

Ortaçağ'ın kapanması ve 18.yüzyıla yaklaşıldığı dönemlerde, özellikle Avrupa'da önemli gelişmeler yaşanmıştır. İnşaat mühendisliği de bu dönem içerisinde profesyonellik kazanmıştır. Özellikle Fransa'da önemli gelişmelere rastlanmaktadır. 20-45 m arası değişken açıklıklara sahip birçok ahşap köprü inşaatları yapılmıştır. Bu köprülerin taşıyıcı sistemi çoğunlukla kemerlerin geçme şeklinde birleştirilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Bu dönemde yapılmış önemli köprülere örnek olarak, Ren Nehri üzerinde konumlanan "Schaffhausen Köprüsü" gösterilebilir. Köprü 1758'de yapılmış olup, yaklaşık 52 ve 58 m uzunluğunda iki açıklıktan oluşmaktadır. Dönemin önemli köprülerine örnek gösterilebilecek bir başka köprü ise Almanya Wittingen'de yapılmış olup, tek açıklığa sahip olmak üzere yaklaşık 120 m geçmektedir ([3, 4]). İkinci dönemin ilerleyen zamanlarındaki gelişmelere özellikle Amerika'da rastlanmaktadır. 18.yüzyıl öncesi Amerika'da daha ziyade kısa açıklıklara oturtulmuş ahşap köprülere rastlanılsa da, 1750 ve sonrasında çok daha büyük açıklıklar geçen ve iyi mühendislik planlamalarına sahip ahşap köprülere rastlanmaktadır. Bu köprülere örnek olarak, York Nehri üzerine 1761'de inşa edilen, yaklaşık 7 m genişliğinde ve 80 m uzunluğa sahip bir ahşap köprü örnek gösterilebilir. Köprü, aralarında yaklaşık 5 m olacak şekilde teşkil edilen 4'lü ahşap dikmeler üzerine oturmaktadır. Köprü açıklıkları, nehir üzerindeki bot hareketlilikleri gözetilerek tasarlanmıştır. Dönemin sonlarına doğru önemli başka bir köprüye rastlanmaktadır. Ahşap köprü, toplam 720 m uzunluğa ve 12 m genişliğe sahiptir. Taşıyıcı sistem, 3 ahşap kemerin kafes şeklinde örülmesiyle oluşturulmaktadır. Köprü'nün en önemli özelliği ise, iklimsel etkilerin köprüye zarar vermemesi amacıyla, köprü'nün yüzeyi ve yanlarının çatı ile korunmuş olmasıdır ([3], [4]).

İkinci dönemde inşaat mühendisliği mesleğinin profesyonellik kazanması ile planlı yapı tasarımı örnekleri gerçekleştirilmiştir. Dönemin gereksinimine cevap olarak gelişmeler köprüler üzerinde görülmektedir. Büyük açıklıkların geçilmesi, kafes ve kemer teknolojilerindeki gelişmelerin yanı sıra, yapı dayanıklılığını arttırmak için önemli fikirler geliştirilmiş ve uygulanmaya başlanmıştır.

### 3.2. 19.yüzyıl-20.yüzyıl Arası

19.yüzyılın başlaması ile karayolu ve demiryolu ağlarının artışı, köprü ihtiyacında patlama yaratmıştır. Amerika'da kafes ve kemer sistemleri ahşap köprülerin yaygın yapı sistemidir. Çatı ile korunmuş ahşap köprü tipi daha önceki dönemde geliştirilmiş ve uygulanmış olsa da, 19.yüzyıla kadar bu sistem büyük ölçüde kullanılmamıştır. 19.yüzyıl başlarında köprü inşaatlarında yalnızca tasarım gereksinimlerini karşılamaktan ziyade, mühendisler tarafından daha cesur ve önceki sistemlerden daha üstün yapı sistemleri denemeye başlanmıştır. Bu nedenle dönem içerisinde birçok patent alınmıştır. Dönemin ilerlemesiyle korunmuş ahşap köprülerin sayısında ciddi bir artış görülmektedir. Howe, Pratt, Burr, Warren Dörtgeni(Lattice), Long gibi çeşitli kafes tipleri de bu dönemde geliştirilmiştir ([3], [4]). Buna paralel olarak, Britanya ve İrlanda'da ahşap, baskın köprü malzemesi olarak kullanılmıştır. 1830-1870'li yıllar arası demiryolu ağında işletilen çok sayıda ahşap köprü yapılmıştır. İnşaat teknolojisi Amerika'dan biraz daha farklı gelişmiştir. Bu dönemde yaklaşık 2500 ahşap köprü inşa edildiği düşünülmekle birlikte, bunların 900'ü viyadüktür. Köprüler genellikle yığma altyapıya oturtulmaktadır. Ayrıca, 1840'ların sonlarına doğru ahşap kazıklardan yapılmış altyapılara da rastlanmaktadır.

Kazıklar genellikle tek sıra veya çift sıra şeklinde, çaprazlarla güçlendirilerek yapılmaktadır. Ayrıca, kısa yığma duvarlara oturan, kolon ve çaprazlardan oluşan ahşap kulelere de rastlanabilir. Kullanılan ahşap çeşitliliği çok geniş olup, yüksek kalitede ahşap çeşitleri kullanılmaya çalışılmıştır. Dönemde yaygın bakış açısı, mukavemetli ahşap çeşidi kullanmanın, korunmuş düşük mukavemetli ahşap kullanmaktan daha ekonomik olduğudur. Köprülerin taşıyıcı sistemleri tutkallı lamine ahşap kemerler, lattice kafesleri, kafes, fan ve iskeledir. Ayrıca, giriş ve poligon kemer gibi basit yapı sistemleriyle de karşılaşmaktadır. Kraliçe ve Kral kafes türleri sıklıkla korunmuş ahşap köprü olarak kullanılmaktadır. Köprü açıklıkları çeşitli olup, 60 m açıklığa ulaşan köprüler kayıtlara geçmiştir [7].

### 3.3. 20.yüzyıl

20.yüzyılın başlaması ile çelik endüstrisinde çok hızlı şekilde önemli gelişmeler yaşanmıştır. 20. yüzyıl başlarına kadar ahşap, inşaat başlangıç maliyeti olarak çelikten çok daha ekonomik iken, fiyatının düşmesiyle çelik daha dikkat çekici bir köprü malzemesi haline gelmiştir. Yine bu dönemde betonarmenin yaygınlaşmasıyla, özellikle köprü tabliyelerinde sık kullanılan malzeme türü olmuştur. Dönemde diğer malzemelerde önemli gelişmeler gerçekleşirken, ahşap üzerine çalışmalar hız kaybetmiştir. Koruma ve birleşim türlerinin uygulanabilirliği alternatif malzemelerin gerisinde kalmaktadır. Ancak 1940'larda "glulam" olarak da anılan yapıştırma lamine ahşabın yaygınlaşması, ahşap köprüleri yeniden gündeme getirmiştir. Böylelikle ahşap üzerine yapılan araştırmalar ivme kazanmaya başlamıştır ([3], [4], [8]).

Yapıştırma lamine ahşabın yeri, ahşap inşaatlarında büyük yer tutmaktadır. Malzeme, Alman Otto Karl Friedrich Hetzer tarafından üretilmiş ve 1901 yılında patenti alınmıştır. Başta "Hetzer" sistemi ya da inşaatı olarak adlandırılmış olup, endüstrileşmiş Avrupa ülkelerinde hızla yaygınlaşmıştır. Bilinen ilk uygulaması, 1890 yılında Berlin Reichstag binasında 10 m uzunluğundaki kirişlerdir. Ardından Stockholm The Central Railway Station gibi önemli yapılarda da kullanım örnekleri verilebilir. Ancak, 1.Dünya Savaşı sırasında, malzemede yapıştırıcının süttten elde edilmesi ve savaş durumunda süt kıtlığı yaşanması ile malzemenin popülerleşmesi durmuştur. 1920'li yıllarda teknoloji, Amerika'ya sıçramış olup, 1940 itibarı ile başta Amerika olmak üzere tüm endüstrileşmiş ülkelerde tekrar yaygınlaşmıştır. Bu duruma, 2.Dünya Savaşı sırasında çelik kullanımının kısıtlanması da büyük katkı sağlamıştır ([9], [10], [11]).

Gelişmeleri birçok endüstrileşmiş dünya ülkeleri takip etmektedir. Lamine ahşap ile İngiltere'de köprü, çatı, hatta kabuk yapılar inşa edilmiştir. The Wilton Carpet Factory hiperbolik parabol kabuk çatısı dönemin ilginç örneklerindendir [12] (Şekil 3).

Yine bu dönemde, ahşap dışındaki köprülerde ciddi derecede dış etkiler nedeniyle bozulmalar yaşanmaya başlamıştır. Bu durum, mühendislerin dikkatini yeniden ahşaba çekmiştir. Ahşap sadece yeni köprülerin imalatında değil, mevcut köprülerin iyileştirilmesinde de değerlendirilmeye başlanmıştır. Gelişen malzeme kalitesi ve koruma yöntemleri ile ahşap köprüler uzun servis ömürlerine ulaşmış, ömürleri içerisinde iyi performans göstermiştir. Ahşabın başlangıç maliyetleri ve yaşam döngüsü analizleri sonuçlarına göre alternatiflerine göre daha ekonomik çözümler üretilebilmektedir.

Tüm bu gelişmelere ve avantajlarına rağmen, inşaat sektöründe ahşap büyük bir yer alamamıştır. Bu durumun nedeni, ahşaba yönelik bilgi birikiminin, çelik ve betonarme inşaatları ile ilgili bilgi birikiminin çok gerisinde kalması olarak değerlendirilmektedir ([3], [4], [8]).

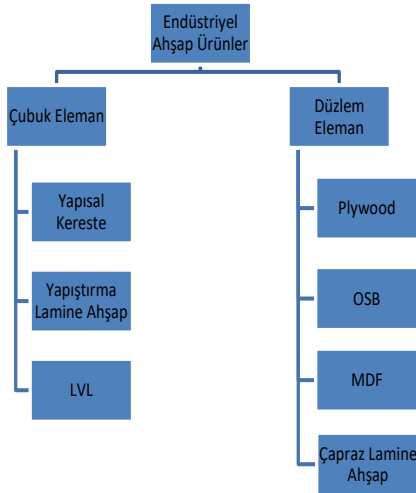


Şekil 3. The Wilton Carpet Factory Hiperbolik Parabol Kabuk Çatısı [12]

### 3.4. Günümüz Ahşap Yapıları

Ahşap, günümüzde sıklıkla kullanılan betonarme ve çelik inşaat yöntemlerine güçlü bir alternatif haline gelmiştir. Bugünlerde ahşabın önemli uygulama alanları köprüler ve binalardır. Bunun haricinde, ahşap-çelik ya da beton-ahşap karma sistemleri de önemli bir alternatiftir ([13], [14]).

Günümüz ahşap inşaatları çok çeşitlidir. Mevcut teknoloji ve endüstri olanakları ile ahşap malzemeler ile çeşitli yapı ve yapı elemanları teşkil edilebilir. Ahşap yapı sistemleri sınıflandırılırken genelde malzeme ve taşıyıcı sistem türleri referans alınmaktadır. Ancak bu çalışmada ahşap malzeme türleri yaygın kullanılan boyutları referans alınarak kategorize edilmiştir ve bu sınıflar aşağıda Şekil 4'te verilmiştir. Benzer şekilde ahşap yapılar ise malzeme çeşitliliği dahil edilmeden, taşıyıcı sistem türü referans alınarak kategorize edilmiştir. Günümüzde yaygın kullanılan ahşap taşıyıcı sistem türleri ve örnekleri aşağıda Şekil 5'te verilmiştir.



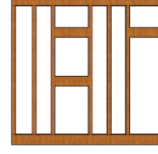
Şekil 4. Ahşap Kökenli Malzeme türleri



Şekil 5.a. Panel sistemler



Şekil 5.b. Karmaşık sistemler



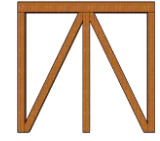
Hafif Çerçeve



Modüler Sistem



Portal çerçeve



Çaprazlı çerçeve

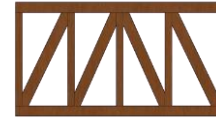
Şekil 5.c. Çerçeve sistemler



Dolu Gövde



Kemer



Kafes



Kafes kemer

Şekil 5.d. Kiriş sistemler

Şekil 5. Modern ahşap yapı taşıyıcı sistemleri

Modern ahşap köprülerin kullanım alanları ve uygulama çeşitliliğini temsilen; Norveç-Tynset Köprüsü, İsveç-Skellefteå Köprüsü, Amerika-Overpeck Park Köprüsü, Kanada-Mistissini Köprüsü(Şekil 6) ve Hırvatistan-Trogir Köprüsü verilebilir. Bu köprüler işletmede olup, sırasıyla 70 m, 130 m, 60 m, 160 m ve 25 m açıklığa sahiptir. Köprülerin çoğunluğu karayolu köprüsü olup, geneli yapıştırma lamine ahşapla inşa edilmiştir. Taşıyıcı sistemleri kemer, kablolu, kiriş gibi çeşitli sistemler veya bu sistemlerin bir arada kullanımı ile oluşturulmuştur. Dahası, günümüzde 1 km toplam açıklığa sahip olacak köprülerin tasarımları ve değerlendirilmesi yapılmaktadır ([15], [16], [8], [17]).



Şekil 6. Kanada-Mistissini Köprüsü [17]



Ahşap, yalnızca büyük ve orta açıklığa sahip köprülerde değerlendirilmemektedir. Yüzey perdahı ya da herhangi bir başka işlem yapılmaksızın, doğrudan ahşap kütükler aracılığıyla köy yolu gibi düşük trafik hacimleri karşılanabilir. Amerika'da ve Kanada'da sıklıkla kullanılan bu sistem, genellikle 5-20 m temiz açıklıklara uygulanmaktadır. Benzer sistem, lamine ahşap ya da ahşap panel elemanlarla, doğrudan döşemeye yük taşıtmak sureti ile de yapılabilir [3].

Ahşap köprü sistemlerinde net uygulama sınırları belirlemek güçtür. Tasarım gereksinimlerine karşılık malzeme, taşıyıcı sistem, tali taşıyıcı eleman varlığı, örgü eleman, öngerme ve ard germe sistemleri uygulanabilir.

Ahşap binalar denildiğinde genellikle büyük yapı oturma alanına sahip olmayan, az katlı konut tipi yapılar akla gelir. Günümüzde bu sistem, betonarme sürekli ya da radye temele oturan, ahşap kereste ve plywood, osb gibi panel elemanlardan teşkil taşıyıcı duvarlar ile yapılmaktadır. Ancak özellikle 2000 yılı sonrası ahşap binalarda çok çeşitli uygulamalar görülebilir. Günümüzde ahşap moment çerçeve, çaprazlı çerçeve, CLT panellerden teşkil perde duvar gibi sistemler yoğunlukla kullanılmaktadır.

Günümüzde ahşap çok katlı yapılar yaygın olmamakla birlikte uygulanmaya başlamıştır. Guinness rekorlarına göre dünyanın en yüksek ahşap binası Norveç, Brumunddal'da bulunan 18 katlı, 85,4 m yüksekliğindeki Mjøstårnet'tir (Şekil 7). Yapı, yapıştırma lamine ahşap iç kolon, kiriş ve kafesten oluşmaktadır. Ayrıca, CLT paneller ikincil taşıyıcı eleman olarak da kullanılmıştır [18].



Şekil 7. Mjøstårnet Taşıyıcı Sistemi-Norveç [18]

Ahşabın modern devrinin bir önemli bileşeni de birleşimlerdir. Ahşap yapı sistemlerinde birleşimler tutkal, çelik, ahşap gibi elemanlar ile oluşturulabilir. Birleşim türü seçiminde yükleme durumu, yapı ömrü gibi çeşitli tasarım kriterleri etkin rol oynamaktadır. Ahşap yapı birleşimlerinin alternatiflerinden farklı yanı çeşitliliğidir. Tek katlı konut tipi yapılarda 5x10 kereste ile plywoodtan teşkil duvarlarda çivi kullanılabilirken, CLT gibi panel elemanlar ya da ahşap moment çerçevelerde çelik yapılarda da sıklıkla gördüğümüz guseli birleşimler, korniyerli birleşim gibi detaylar uygulanabilir. Ahşap yapı birleşimleri, malzeme tipi, detay tipi gibi çeşitli şekillerde kategorize edilebilir. Yazarlar, ahşap birleşimlerini kullanılan malzeme ve birleşim tekniğinin temelini referans alınarak sınıflandırmıştır. Buna göre birleşimler; geleneksel, dübel, yapıştırma ve mekanik olarak adlandırılabilir [19].

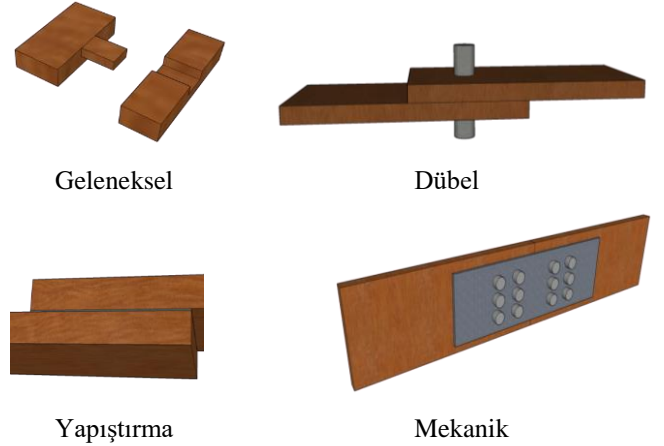
Geleneksel birleşimler; ahşap yapı elemanlarının birleşim geometrisine uygun olarak çeşitli işlemlerle birbirlerine mekanik

olarak bağlanmasıdır. Bu tür birleşimlerde çivi gibi ek elemanlar da kullanılabilir. Yük taşıma kapasiteleri, ahşap eleman ve çivi gibi alternatiflere kıyasla taşıma gücü düşük malzemelerden oluşturulduğu için, taşıma gücü ve süneklik kapasitesi sınırlıdır [19].

Dübel, genellikle iki eleman arasında birleşimin daha mukavemetli olmasını sağlamak için birleşim elemanının geçeceği deliğe plastik ya da farklı malzemelerden yapılmış yuva anlamına gelse de, ahşap yapılarda çok daha geniş bir anlam ifade etmektedir. Bu tarz birleşimde, birleştirilecek iki eleman arasında bir birleşim elemanı kullanılmaktadır. Bu eleman, genellikle yük doğrultusuna 90o açı ile yerleştirilir ve kesme kuvveti altında kalarak yük aktarır. Birleşim için elemanlarda delik açmak zorunlu değildir. Birleşim elemanı olarak çivi, vida, dübel, dişli levha veya civata ve bulon kullanılabilir [19].

Yapıştırma, yalnızca yapı birleşimi için değil, yapma enkesit elde edilmek için de kullanılabilir. Belirli bir uygulama sınırı yoktur, yapıştırma amacıyla genelde tutkal yerine geçebilecek birçok malzeme kullanılabilir [19].

Mekanik birleşimler, prefabrik inşaatlarda gördüğümüz birleşim detaylarını kapsamaktadır. Çelik yapılarda rijit, yarı rijit ya da mafsalı birleşim detayları birebir iki ahşap çubuk elemana uygulanabilmektedir. Buna ek olarak, çivili levha, dişli levha gibi elemanlar, özellikle kafes sistemlerde sıklıkla kullanılmaktadır [19] (Şekil 8).



Şekil 8. Ahşap yapı birleşimleri

Ahşap yapıların modern zamanının bir önemli alanı da yönetmelik tabanlı tasarım olanağıdır. Günümüzde yapı tasarımı için çeşitli otoriteler tarafından düzenlenen yönetmelik ve standartlar bulunmaktadır. Bu tür dokümanlar tasarımcıyı yönlendirmekte ve yol göstermektedir. Ülkemizde 1979 yılında kabul edilmiş TS-647: Ahşap Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları mevcuttur. Ancak, 2018'de Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayınlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği(TBDY)'nde ahşap yapıların depreme karşı tasarımı için başka bir yönetmelik referans alınmaktadır ([20], [21]).

Ahşap için günümüzde dünya genelinde iki popüler yönetmelik bulunmaktadır. Bunlar, Avrupa Komisyonu tarafından düzenlenen Eurocode 5: Design of Timber Structures(EN5) ve Amerika Ahşap Konseyi sorumluluğunda olan Design Specifications of Wood Construction'dur (NDS). TBDY'de ahşap yapıların tasarımı için EN5 referans alınmıştır ([22], [23]).

EN5 köprü ve bina olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Yapı marketlerinden kolaylıkla temin edilebilecek tüm endüstriyel ahşap ürünleri yönetmelik çerçevesinde değerlendirilebilir. EN5'te Yük ve Dayanım Katsayıları ile tasarım ilkeleri benimsenmektedir. Bu çerçevede elastik birinci mertbe ve elastik ikinci mertbe analizleri gerçekleştirilebilir. Ahşabın doğrusal olmayan davranışı ise yalnızca basınç altında davranış için elastik-kusursuz plastik olarak dikkate alınabilmektedir. Yönetmelikte sınır durum ilkeleri benimsenmektedir [22].

NDS çerçevesinde görsel ya da mekanik olarak derecelendirilmiş ahşap, lamine ahşap, ahşap kazık ve direk, prefabrik I kesitler, kompozit paneller ve CLT incelenebilmektedir. Yönetmelik perspektifinde tasarımlar Emniyet Gerilmeleri ile Tasarım veya Yük ve Dayanım Katsayıları ile tasarım ilkelerine göre tasarlanabilir. Seçim, tasarımcıya bırakılmaktadır [23].

Ahşap yapılar, deprem yönetmeliklerinde de yer almaktadır. Ancak, ülkemizde yürürlükte olan TBDY çerçevesinde ahşap yapıların tasarımı çok sınırlıdır. Dayanıma göre tasarım ilkeleri ile ahşap yapı tasarımında yalnızca iki tür yapı sisteminin tasarımı mümkün olup; bunlar, süneklik düzeyi yüksek çivili veya vidalı OSB veya kontrplak duvar panelleri ve süneklik düzeyi düşük çivi, vida ve bulon ile tutkallı duvar panelleri veya ahşap çaprazlı yapılarıdır. Buna karşın, Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance'da daha fazla yapı sistemi dikkate alınabilmektedir. Yönetmelik çerçevesinde konsol, giriş, kemer, kafes, yapıştırma duvar panelleri ve diyaframlar, portal çerçeve gibi sistemler dikkate alınabilir. Amerika'da ahşap yapıların depreme karşı tasarımına yönelik ayrıca bir yönetmelik bulunmamakta olup, tasarım ilkeleri ASCE 7-16: Minimum Design Loads for Building and Other Structures'da verilmektedir. Buna göre, ahşap panellerden oluşan perdeler ve ahşap çerçeveler dikkate alınabilmektedir ([21], [24], [25]).

## 4. Sonuç

Ahşap, tarihin başlangıcında ilkel barınaklar ve basit açıklık geçme amacıyla başlanarak günümüzün karmaşık yapılar olan köprü ve çok katlı binalara kadar varlığını ve etkisini sürdürmüştür. Teknoloji ve bilgi birikimi geliştikçe ahşap gelişmiştir, ahşap mühendisliği geliştikçe teknoloji ve bilim de gelişmiştir. Öyle ki, günümüzde sıklıkla kullandığımız çeşitli kafes sistemlerinin ilk uygulamaları ahşap ile yapılmıştır. Ahşabın alternatif yapı malzemelerinden ayrı bir yere sahip olması, onun yapısındaki özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Doğadan kolaylıkla temin edilebilir. Hiçbir işlem yapılmadan bile kullanılabilir. İhtiyaçları karşılayacak şekilde endüstriyel ürünler haline getirilebilir. İstenilen boyutlarda ve niteliklerde çeşitli ahşap kökenli malzemeler üretilebilir. Buna ek olarak ağırlığına oranla taşıma gücü yüksektir. Bu durum, ahşap tasarımlarının ekonomik olmasına sebep olmaktadır. Böylelikle malzeme kendi yüklerini taşımakla kalmayıp, yapı servis ömrü boyunca oluşacak yükleri de etkin bir şekilde karşılayabilmektedir [26].

Ahşap yapıların tarihçesi 5 ana bölümde incelenebilir. Bu bölümler, ahşap inşaat yöntemindeki gelişmeler ve tarihteki önemli değişimler dikkate alınarak yapılmıştır. Bu bölümler sırasıyla Ortaçağ öncesi dönem, Ortaçağ-18.yüzyıl, 18.yüzyıl-19.yüzyıl, 19.yüzyıl-20.yüzyıl ve günümüzdür. Birinci dönemde ilkel sığınak, barınak, köprü gibi sistemler görülmekte iken dönemin sonuna doğru askeri ya da bayındırlık amaçlı kullanım örneklerine rastlanılmaktadır. İkinci dönemde ise artık inşaat

mühendisliği mesleği profesyonellik kazanmıştır. Bunun etkisinde çok daha planlı yapı örnekleri görülmektedir. Dönemde dış etkilerin yıpratıcı koşullarına karşın ahşabı korumak için çeşitli yapı sistemleri gerçekleştirilmiştir. Kemer ve kafes köprü sistemlerinde önemli gelişmeler görülmüştür. Üçüncü dönemde karayolu ve demiryolu ihtiyacında yaşanan patlama, köprüleri daha değerli kılmıştır. Dönemin köprü tasarımında baskın yapı malzemesi olarak ahşap kullanılmış olmakla beraber, daha cesur tasarımlar da gerçekleştirilmiştir. Birçok kafes sistemi patentlenmiştir. Ancak endüstriyel inşaat yöntemlerinden olan betonarme ve çelik teknolojilerindeki gelişmeler, ahşabın popülerliğini yitirmesine sebebiyet vermiştir. Dördüncü dönemin en önemli özelliği, endüstriyel ahşap ürünlerinin geliştirilmesi olarak gösterilebilir. Günümüzde de sıklıkla kullanılan yapıştırma lamine ahşap, ilk defa bu dönemde geliştirilmiştir.

Ahşabın dezavantajı olarak birkaç neden sayılabilir. Bunlardan başlıcaları; büyük kesit teminindeki zorluklar ve malzeme sarfiyatı, dış etkilere karşı korunmada görülen zorluklar, tasarım ve hesap ilkelerindeki kısıtlar ile birleşimlerin yetersizliğidir. Ancak, endüstriyel ahşap ürünlerinin yaygınlaşması, kimyasal koruma tekniklerinin geliştirilmesi gibi gelişmeler ile bu dezavantajlar önemli ölçüde ortadan kalkmıştır.

Günümüzde işletmede olan birçok çarpıcı ahşap köprü ve bina örnekleri görülebilir. Ancak ahşabın tarihçesi ve olanakları göz önüne alındığında; günümüzde yeterli popülerliğe sahip olmadığı söylenebilir. Ahşabın yönetmeliklerdeki yeri betonarme ve çelik alternatiflerine oranla kısıtlıdır. Dayanıma göre tasarım ilkeleri günlük tasarımlarda mühendislere büyük kolaylık sağlamaktadır. Ancak ahşap yapılar yönetmeliklerde bu konuda yeterince yer almamaktadır.

Ahşabın hangi şartlar altında uygulandığında ekonomik sonuçlar verdiği hakkında net sınırlar bulunmamaktadır. Literatürde çeşitli çalışmalar olsa da bu çalışmalar köprüler üzerine odaklı olup kısıtlıdır ([27], [28], [29]).

Ahşap yapı uygulamalarının özellikle deprem bölgelerinde bir takım dezavantajları mevcuttur. Ahşap yapıların sünekliği hakkında çeşitli tereddütler bulunmaktadır [30]. Ahşap, basınç altında plastik davranabilir. Ancak bir sistemi tamamen basınca çalıştırmak her zaman mümkün olmayabilir. Ayrıca, ahşabın malzeme özelliklerinin en uygun biçimde kullanılacağı yapı tasarım fikirleri kısıtlıdır. Bu fikirlere örnek olarak, ahşap-FRP kompozitleri verilebilir [31]. Ahşap yapılar için yapılan çeşitli öneriler aşağıda sıralanmıştır.

- Ahşabın plastik davranışını daha verimli kullanılabilecek sistemler geliştirilebilir. Bu sayede, malzeme daha etkin kullanılarak çevrimsel yüklerle karşı ahşap daha güvenilir bir şekilde kullanılabilir.

- Ahşabın malzeme modellerinde ve sonlu elemanlar modellerinde çeşitli gelişmeler yaşansa da, yönetmeliklerde ve standartlarda yeterince yer bulamamaktadır. Bunun önemli bir nedeni, hangi modelin hangi şartlarda güvenilir ve ekonomik sonuçlar vereceğinde çeşitli soru işaretlerinin bulunmasıdır. Malzeme modelleri ve sonlu eleman tipleri ile analiz metodlarının kullanılabilirliği ile ilgili çalışmalar artarsa, ahşap yapılar daha bilinçli bir şekilde tasarlanabilir hale gelebilir.

- Ahşap kökenli malzemelerin çeşitli avantajları bulunmakla birlikte kusursuz değildir. Ahşap, yapısı gereği kompozit bir malzemedir. Bu durumlar göz önüne alındığında, ahşap-beton, ahşap-çelik ya da ahşap-lifli polimer kompozitleri üzerine yapılan çalışmaların artması, ahşabın gelecekte daha

verimli kullanılmasının önünü açabilir. Lifli polimerlerin yapısının ahşapla paralel olması, onu daha dikkat çekici yapmaktadır.

• Ülkemiz özelinde ahşap tasarımında bilgi birikiminin oldukça kısıtlı olduğu söylenebilir. Ahşap üzerine Türkçe kitap, makale, bildiri gibi yayınların artması ile ahşap hakkında bilgilerin daha erişilebilir hale gelmesi sağlanabilir.

## Kaynakça

- [1] Smith, I., & Snow, M. A. (2008). Timber: An ancient construction material with a bright future. *The Forestry Chronicle*, 84(4), 504-510.
- [2] ÇALIŞKAN, Ö., MERİÇ, E., & YÜNCÜLER, M. (2019). Ahşap ve ahşap yapıların dünü, bugünü ve yarını. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(1), 109-118.
- [3] Ritter, M. A. (1990). Timber bridges: Design, construction, inspection, and maintenance. US Department of Agriculture, Forest Service, Engineering Staff.
- [4] Partov, D., Maşlak, M., Ivanov, R., Petkov, M., Sergeev, D., & Dimitrova, A. The development of wooden bridges through the ages—a review of selected examples of heritage objects. Part 1—the milestones. *Czasopismo Techniczne*, 2016(Budownictwo Zeszyt 2-B 2016), 93-105. <https://doi.org/10.2749/101686608783726614>
- [5] Chen, P. S. (2008). A Study Report on an Ancient Chinese Wooden Bridge Hongqiao. *Structural engineering international*, 18(1), 84-87. <https://doi.org/10.2749/101686608783726614>
- [6] Nakahara, K. O. J. I., Hisatoku, T., Nagase, T., & Takahashi, Y. (2000). Earthquake response of ancient five-story pagoda structure of Horyu-Ji temple in Japan. *Proceedings of the WCEE*.
- [7] Bill, N. A. (2016). Timber bridge construction on British and Irish railways, 1840-1870: the scale of construction and factors influencing material selection. *Construction History*, 31(1), 75-98. <https://www.jstor.org/stable/26489021>
- [8] Crocetti, R. (2014). Timber bridges: General issues, with particular emphasis on Swedish typologies. In *Internationales Holzbau-Forum IHF 2014*.
- [9] Rhude, A. J. (1998). Structural glued laminated timber: history and early development in the United States. *APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology*, 29(1), 11-17. <https://doi.org/10.2307/1504543>
- [10] Seraphin, M. (2003, January). On the origin of modern timber engineering. In *Proceedings of the First International Congress on Construction History, Madrid*.
- [11] Rhude, A. J. (1996). Structural glued laminated timber: History of its origins and early development. *Forest Products Journal*, 46(1), 15.
- [12] Sutherland, J. (2010). Revival of structural timber in Britain after 1945. *Construction History*, 25, 101-113. <https://www.jstor.org/stable/41613962>
- [13] Hassanieh, A., Valipour, H. R., Bradford, M. A., & Sandhaas, C. (2017). Modelling of steel-timber composite connections: Validation of finite element model and parametric study. *Engineering Structures*, 138, 35-49. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.02.016>
- [14] Dias, A. M. P. G., Skinner, J., Crews, K., & Tannert, T. (2016). Timber-concrete-composites increasing the use of timber in construction. *European Journal of Wood and Wood Products*, 74(3), 443-451. <https://doi.org/10.1007/s00107-015-0975-0>
- [15] Gilham, P. C. (2015, April). A new look at modern timber bridges. In *Structures Congress 2015* (pp. 287-298).
- [16] O'Born, R. (2018). Life cycle assessment of large scale timber bridges: A case study from the world's longest timber bridge design in Norway. *Transportation research part D: transport and environment*, 59, 301-312. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.01.018>
- [17] Lefebvre, D., & Richard, G. (2014, December). Design and construction of a 160-metre-long wood bridge in Mistissini, Quebec. In *Proceeding of Internationales Holzbau-Forum* (pp. 3-5).
- [18] Abrahamsen, R. (2017, December). Mjøstårnet-Construction of an 81 m tall timber building. In *Internationales Holzbau-Forum IHF* (Vol. 2017).
- [19] Borgström, E. (2016). Design of timber structures—structural aspects of timber construction. *Swedish Forest Industries Federation, Stockholm*.
- [20] Türk Standartları Enstitüsü. (1979). TS 647 Ahşap Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları.
- [21] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği.
- [22] Eurocode 5. European Committee for Standardization. (2004). *Design of Timber Structures*
- [23] American Wood Council's Wood Design Standarts Committee. (2018). *National Design Specification (NDS) for Wood Construction*.
- [24] Eurocode 8. European Committee for Standardization. (2004). *Design of Structures for Earthquake Resistance*.
- [25] American Society of Civil Engineers, American National Standard. (2016). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*.
- [26] Şakar, G. & Çelik, H. K. (2021). SOLUTIONS OF SOLID TIMBER AND GLULAM BRIDGE EXAMPLE WITH DIFFERENT APPROACHES IN TURKEY . *European Journal of Technique (EJT)* , 11 (1) , 13-18 . <https://doi.org/10.36222/ejt.712893>
- [27] Jutila, A., & Salokangas, L. (2000). Research on and development of wooden bridges in Finland. *Structural engineering international*, 10(3), 182-185. <https://doi.org/10.2749/101686600780481455>
- [28] Behr, R. A., Cundy, E. J., & Goodspeed, C. H. (1990). Cost comparison of timber, steel, and prestressed concrete bridges. *Journal of Structural Engineering*, 116(12), 3448-3457. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1990\)116:12\(3448\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1990)116:12(3448))
- [29] Verna, J. R., Graham Jr, J. F., Shannon, J. M., & Sanders, P. H. (1984). Timber bridges: Benefits and costs. *Journal of Structural Engineering*, 110(7), 1563-1571. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1984\)110:7\(1563\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1984)110:7(1563))
- [30] Jorissen, A., & Fragiaco, M. (2011). General notes on ductility in timber structures. *Engineering structures*, 33(11), 2987-2997. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2011.07.024>
- [31] Plevris, N., & Triantafyllou, T. C. (1992). FRP-reinforced wood as structural material. *Journal of materials in Civil Engineering*, 4(3), 300-317. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(1992\)4:3\(300\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(1992)4:3(300))