

# Sürdürülebilir Yapılar İçin Ahşap ve Lamine Ahşabın Lifli Polimer (FRP) Malzemeler ile Güçlendirilmesinin Değerlendirilmesi

## *Evaluation of Reinforcement of Timber and Laminated Timber with Fibrous Polymer (FRP) Materials for Sustainable Structures*

Dilan Çankal<sup>1</sup> 

Gökhan Şakar<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, dilan.cankal@cbu.edu.tr

### Özet

Dünyada enerjinin büyük bir kısmı inşaat sektörü tarafından harcanmaktadır. İnşaat sektörü bilinçsiz hammadde tüketimi, malzemelerin üretim süreçleri, yapıların yıkımı sonrası oluşan atıklar gibi birçok açıdan çevresel zarar potansiyeli yüksek bir sektördür. Ahşap, inşaat mühendisliği uygulamalarında çevresel zararın aksine fayda sağlayan ve yenilenebilir bir kaynak olarak nitelendirilen ağaçlardan elde edilen, estetik değeri yüksek, doğal bir yapı malzemesidir. Ancak masif ahşabın kusurlarından dolayı yapısal özellikleri bazı durumlarda yetersizdir. Ahşabın kusurlarını en aza indirerek elde edilen lamine ahşabın kullanımı estetik, ekolojik ve mühendislik özellikleri açısından oldukça fayda sağlamaktadır. Lamine ahşap, düşük enerji gereksinimi ve üretim sırasında yarattığı düşük kirlilik nedeniyle, çevre üzerinde beton ve çelik gibi diğer yapı malzemelerine kıyasla daha az zararlı etkiye sahiptir. Sürdürülebilirlik için tarihi ahşap yapıların ve lamine ahşap kullanılarak yapılmış yapıların hasarlarının onarımı veya mevcut durumunun iyileştirilmesi için lifli polimer (FRP) malzemeler kullanılmaktadır. FRP malzemeler yapı elemanında kesit kaybı olmadan veya çok az bir kayıpla yapının estetiğini bozmadan kullanımı sağlamaktadır. Çalışma kapsamında, ahşap yapı malzemesinin potansiyeli, yeşil binaların yapımına oldukça uygun olan lamine ahşap malzemeler ve bu malzemelerin FRP malzemeler ile güçlendirilmesi sürdürülebilirlik kapsamında değerlendirilecektir. Ahşap yerine, ahşaptan türetilmiş mühendislik ürünü olan lamine ahşabın yapılarda kullanımı ve hasar alması halinde de FRP malzemeler ile güçlendirilmesinin sürdürülebilir ve yenilenebilir bir yapı oluşturmaya katkısı irdelenecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Ahşap, Lamine Ahşap, Lifli Polimer (FRP) Malzemeler, Sürdürülebilirlik

*Bu makaleden şu şekilde alıntı yapınız / Cite this article as: Çankal D, Şakar G. Sürdürülebilir Yapılar İçin Ahşap ve Lamine Ahşabın Lifli Polimer (FRP) Malzemeler ile Güçlendirilmesinin Değerlendirilmesi: Chj 2021; 2(2):99-109*

## Abstract

A large part of the energy in the world is consumed by the construction sector. The construction industry is a sector with a high potential for environmental damage in many aspects such as unconscious raw material consumption, production processes of materials, wastes generated after the destruction of buildings. Timber is a natural building material with high aesthetic value obtained from trees, which are considered as a renewable resource and provide benefits in civil engineering applications contrary to environmental damage. However, its structural features are insufficient in some cases due to solid timber imperfections. The use of laminated timber, which is obtained by minimizing the defects of the timber, is very beneficial in terms of aesthetic, ecological and engineering features. Laminated timber has a much less harmful effect on the environment than other building materials such as concrete and steel, due to its low energy requirement and the low pollution it creates during production. For sustainability, fibrous polymer (FRP) materials are used to repair damages or improve the current condition of historical timber structures and structures made using laminated timber. FRP provides the use of the building element with little or no loss of cross-section without disturbing the aesthetics of the structure. Within the scope of the study, the potential of timber building materials, laminated timber materials that are very suitable for the construction of green buildings and the reinforcement of these materials with FRP materials will be evaluated within the scope of sustainability. The use of laminated timber, which is an engineering product derived from timber instead of timber, in buildings and its contribution to creating a sustainable and renewable structure in case of damage with FRP materials will be discussed.

**Keywords:** Timber, Laminated Timber, Fibrous Polymer (FRP) Materials, Sustainability

## 1. GİRİŞ

Önemi ve miktarı giderek artan çevresel sorunlar, yerel olmanın ötesinde, tüm dünyanın gündeminde önemli bir konu haline gelmiştir. Zamanla doğal enerji kaynaklarının azalması, hatta yakın gelecekte tükenecek olması ve son yıllarda özellikle çeşitli doğal afetlerle varlığını hissettiren küresel ısınma, çevre kirliliği, atık yönetimi gibi sorunlar tüm dünyada ciddi bir araştırma konusu haline gelmiştir. Bu bağlamda, sürdürülebilirlik kavramı önem kazanmaya başlamış ve gittikçe daha önemli bir hale gelmektedir (Evrans, 2012). İnsanoğlunun, ekosisteme en az zararı vererek yaşamını devam ettirmesi, enerjinin yenilenebilir kaynaklardan sağlanması, daha az enerji tüketimi ile daha az karbon salınımına teşvik edilmesi, sürdürülebilirlik kavramının genel ilkelerini oluşturmaktadır (Dresner, 2008). Sürdürülebilir kalkınmanın başarılı olabilmesinde doğrudan veya dolaylı olarak inşaat sektörü oldukça büyük bir paya sahiptir. Bu payı azaltmak için etkin yöntemler ile inşaat uygulamaları sonucunda tekrardan kullanılabilme potansiyeli olan malzemeler belli süreçlerden geçirilerek yeniden kullanılabilirliği gibi, kullanıma uygun değilse geri dönüşüm yöntemleriyle başka ürünlerin üretiminde hammadde olarak da kullanılmaktadır (Şenel, 2010).

Amerika Çevre Koruma Ajansı (US Environmental Protection Agency) tarafından yapılan çalışmada, binaların onarım, bakım ve yıkımları sonucunda ortaya çıkan atıkların Amerika'da yıllık üretilen toplam atık miktarının %25-30'unu oluşturduğu tahmin edilmektedir (İpekçi vd., 2017). Almanya genelinde oluşan atıkların da büyük bir kısmını inşaat atıklarının oluşturduğu veya yapı malzemeleri üretimi için doğal kaynakların çıkarılması ve işlenmesinde ortaya çıkmakta olduğu

ifade edilmiştir (Karaçor vd., 2020). (Reichel vd., 2016) tarafından yayınlanan raporda, Avusturya'nın atık önleme programı, inşaat faaliyetlerindeki gelişmelerin atıkların değerlendirilmesinde kilit sektörlerden biri olarak nitelendirmiştir. Dünyanın geneline bakıldığında, oluşan atıkların oldukça büyük bir kısmının inşaat sektörü kaynaklı olduğu ve oluşan bu atıkların geri dönüşümü için de elverişli bir sektör olduğu söylenebilir. Bu sebeple sürdürülebilirlik için geri dönüşüm çalışmalarının bu sektörde yoğunlaşmasında ve fizibilite çalışmalarının da artırılmasında fayda vardır.

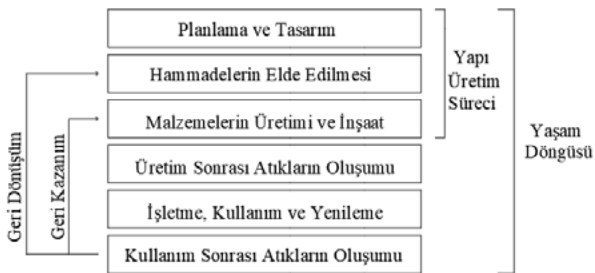
Sürdürülebilirlik, orman kaynaklarının yönetiminde çok eskiden beri kullanılan bir kavramdır. Kullanılan kaynakları kesintisiz bir şekilde niteliklerini yitirmeden yönetmek olarak değerlendirilen bu kavram sonrasında ormancılık sektöründen esinlenerek diğer sektörlerde de uyarlanmıştır. Ahşap, yapıların çok fazla ihtiyaç duyduğu ve hammadde kaynağı ormanlar olan organik bir yapı malzemesidir. Taşıyıcı sistemin tamamının beton veya çelik olduğu bir yapıda bile hiç ahşap malzemenin kullanılmaması (çatı, beton kalıbı, kaplama, merdiven, mobilya, kapı, pencere vb.) pek mümkün olmamaktadır (Uz, 2020). Ahşap yapıların üretimi sırasında oluşan atık malzeme hem çok azdır hem de farklı uygulamalarda kullanılabilir (Winandy, 1994). Ahşap, üretiminde düşük enerji tüketimi ile düşük hava ve su kirliliğine neden olan çevre dostu bir malzeme olmasının yanı sıra kullanım ömrü sonrasında da aynı özelliğini korumaya devam etmektedir (Kettunen, 2006). Kullanım ömrü sonunda, geri dönüşüme dahil edilmese bile, doğaya bertarafı çevreye zarar vermez veya biyoyakıt olarak da kullanılabilir. Ancak, ülkemizde yapılarda taşıyıcı

eleman olarak ahşap kullanımına pek rastlanmamaktadır. Bu çalışmada, sürdürülebilir yapıların yaşam döngülerinde ahşap malzemenin özellikleri ve ahşaptan elde edilen teknolojik ve ekolojik bir yapı malzemesi olan yapısal lamine ahşaptan bahsedilecektir. Aynı zamanda, ahşap ve lamine ahşap malzemelerin güçlendirilmesinde oldukça çok kullanılan FRP malzemeler sürdürülebilirlik kapsamında değerlendirilecektir.

## 2. SÜRDÜRELEBİLİR YAPILAR

Yapı üretim süreci, projenin ihtiyaçlarının belirlenmesi, karar aşaması ve tasarımından başlayıp, yapının kullanıma kadar devam eden uzunca bir dönemi kapsamaktadır. Yapı üretim sürecini içerisine alan, üretim sonrası kullanımı, kullanım ömrü sonrasında yıkımı ve oluşan atıkların bertaraf edilmesini kapsayan süreç, bir yapının yaşam döngüsünü ifade etmektedir (Ramesh vd., 2010). Kullanım ömrü ise bu çok disiplinli yapının yaşam döngüsü boyunca başarılı olabilmesi için doğru bir şekilde yönetilmiş olmasını gerektirir (Turin, 2003). Sürdürülebilir yapı kavramı, yapının yaşam döngüsü kapsamındaki tüm süreçlerde toplumsal, çevreci ve ekonomik hedeflere yönelik kararların alınmasını ihtiva etmektedir. Şekil 1'de genel hatlarıyla bir projenin yaşam döngüsü özetlenmiştir.

Şekil 1. Bir projenin yaşam döngüsü (Evrn, 2012)

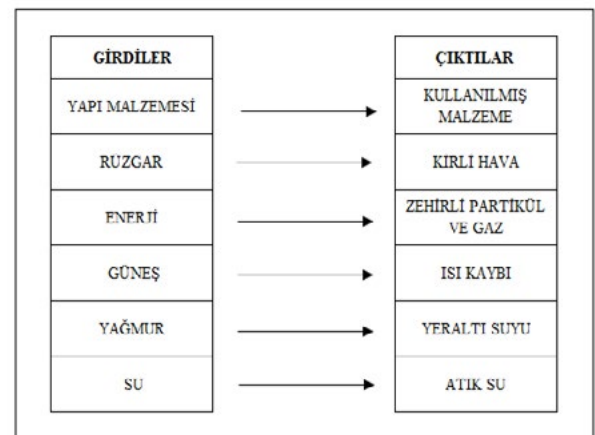


Yaşam döngüsü değerlendirmesi; bir malzeme, ürün veya projenin ortaya koyulması için gerekli ilk adımdan son adımına kadar geçen süreçte çevreye olan etkisinin incelenmesine yarayan bir yöntemdir. Bu yöntem, malzemelerin üretiminde çevresel zararların etkisini azaltarak en verimli geri dönüşüm yöntemlerini seçmeyi ve beraberinde ekonomik seçimler yapmayı sağlamaktadır. Her proje, mutlaka kendi özelinde belirlenen yaşam döngüsü evrelerinde değerlendirilmelidir. Böylece, yaşam döngüsünün bütünsel olarak kontrolü ve değerlendirilmesi daha kolay hale gelmektedir (Kim ve Rigdon, 1998).

Yapı üretim süreci dahilinde malzemelerin ve ekipmanların nakledilme esnasında çevreye bazı olumsuz etkileri olmaktadır. Bu çevresel etkilerin ölçüsü seçilen malzemelerin miktarı, nasıl ve ne kadar mesafeye taşındığı ile ilişkilidir. Sürdürülebilirlik kapsamında yapının gereksinimine göre minimum ulaşım maliyeti ile yerel ekonomileri destekleyici ve çevreye az zarar veren malzemelerin kullanımı en ideal yaklaşımdır. Minnesota Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi tarafından 2002 yılında hazırlanmış olan Minnesota Sürdürülebilir Tasarım Kılavuzu (Minnesota Sustainable Design Guide)'na göre sürdürülebilir yapıların üretim sürecinde kullanılacak yapı malzemelerin en azından %25'i, yaklaşık olarak 800 km yarıçap içerisinde üretilmiş yerel malzemelerden tercih edilmelidir (Kayıhan ve Tönük, 2011). Yerel malzemelerin tercih edilmesinin ekonomiye yansımaları sosyal ve fiziki çevre üzerinde de çeşitli kazanımlar sağlamaktadır.

İnşaat sektörü; toz, hava, su ve toksik madde kirliliği gibi birçok kirliliğe sebep olmaktadır. Şekil 2'de bir binanın yaşam döngüsü boyunca kullanılan kaynaklar ve bu kaynakların kullanımı sonucunda meydana gelen çıktılar verilmiştir (Sev, 2009). Bina sertifika sistemleri ile proje bazında bir binanın çevre üzerinde yarattığı etkiler ölçülebilir. Bu sistemler, doğal kaynakların korunmasında somut bir referans elde edilmesini sağlayan derecelendirme sistemleridir. Yapıların ekonomik ömrünü uzatma, atık yönetimi ve enerji verimliliği sağlanması konularında faydalı olması için oluşturulmuşlardır (Ebert vd., 2012).

Şekil 2. Bir yapının kaynak akışı (Sev, 2009)



İnşaat sektörü, yaklaşık olarak hammadde kaynaklarının %30'unu, enerji kaynaklarının %40'ını tüketmektedir. Ek olarak, CO<sub>2</sub> emisyonunun %35'inden sorumlu

olduğu düşünülürse, sürdürülebilir yapı yaklaşımı ve uygulamalarının önemi oldukça fazladır (Kaplan vd., 2020). Sürdürülebilir yapı kavramının uygulanması hususunda kentsel tasarımcılar, çevre ve inşaat mühendisleri, kentsel planlamacılar, mimarlar ve diğer mühendislerin yaptıkları değerlendirme çalışmaları ile kanun yapan kurumların çalışmalarına dahil olmaları gerekmektedir. Yapılan çevresel değerlendirmelerin etkili olabilmesi için proje bazında çalışmalar yapılması önemli bir husustur. Sürdürülebilirliğin çok disiplinli yapısının aynı bakış açısı ile bütünlüğü koruyarak proje bazında hayata geçirilmesi gereklidir. Ayrıca, bu uygulamaların yapılan tüm kavramsal çalışmaları ve yaşam döngüsünün tüm evrelerini kapsar şekilde yönetilmesi gerekir. Yapı üretim sürecinde organizasyon ve aktivitelerin yönetilmesi amacı ile kullanılan Çevre Yönetim Sistemleri ve bu ekolojik çalışmaların gerçeklik kazanarak değerlendirilmesi açısından bina sertifika sistemleri önem arz etmektedir (Yorgancıoğlu, 2004).

Dünyada sürdürülebilir bina sertifikalarına bakıldığında; İngiltere’de ve bazı Avrupa ülkelerinde BREEAM, Amerika’da LEED, Uluslararası alanda geçerli SBTool, Japonya’da CASBEE ve Avustralya’da Green Star kullanılmaktadır. Bina sertifika sistemleri ile değerlendirilen binaların çoğunda yoğun ahşap kullanımı görülmektedir (Evran, 2012). Amerika’da 2008 yılında inşaatı tamamlanmış, taşıyıcı sistemi betonarme olan, %87 ahşap, %23 yerel kaynaklara sahip malzemeler kullanılarak yapılmış LEED ile değerlendirilen ve birçok ödül alan Great River Energy binasında oldukça fazla ahşap malzeme kullanılmıştır (Utkutuğ, 2011). Japonya’da bulunan SHIMIZU şirketinde Küresel Çevreci Komite’nin altında bulunan alt komiteler, beton yerine tropik ahşap kompoze panellerin kullanılması gerekliliğine dikkat çekmişlerdir. Türkiye’nin enerji mimarlığı ilkelerine göre inşa edilmiş ilk binası 2008 yılında Diyarbakır Güneş Evi Eğitim ve Uygulama Parkı’dır. Bu binanın iskelet sistemi ahşaptan oluşturulmuştur ve diğer yapı elemanlarında da oldukça ahşap malzeme kullanılmıştır (Aykal vd., 2009).

### 3. SÜRDÜRÜLEBİLİR YAPI MALZEMELERİ

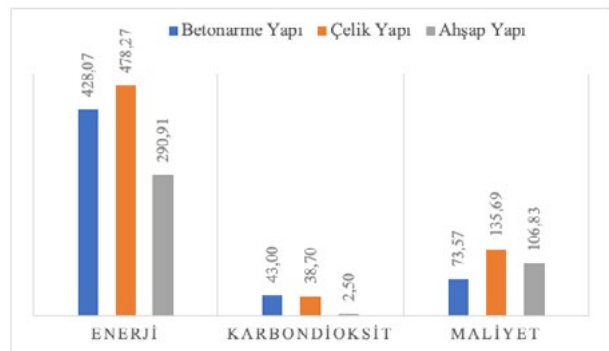
Yapılarda, özellikle yapının çoğunluğunu oluşturan iskelet sisteminde, en fazla kullanılan malzemeler beton ve çeliktir. Özellikle yapıların inşaatında beton; ahşap, çelik, plastik, alüminyum da dahil diğer inşaat malzemelerinden çok daha fazla tercih edilmektedir. Betonun hammaddesi olan ve bağlayıcılık sağlayan çimentonun üretimi, fosil yakıtlarından sonra sera gazlarına en çok katkı

sağlayan ikinci malzemedir. Beton üretimde çevreye salınan zehirli gazlar, üretildiği fabrikanın atıkları, hammaddeleri için yapılan madencilik faaliyetleri ve geri dönüşümünde yarattığı kirlilik ciddi boyuttadır. Geri dönüşüm süreçlerinde ortaya çıkan atıklar resmi olmayan koşullarda akarsu ve barajlara dökülmektedir. Bu atıkların uygun olmayan arazilere de resmi veya gayri resmi depolama alanlarına da istiflendiği görülmektedir. Bu durum, ekosistemin dengesinin giderek bozulmasına neden olmaktadır (Du Plessis vd., 2001).

Doğal yapı malzemeleri, sonradan üretilen malzemelere nazaran daha fazla işçilik gerektirse de çevreye daha fazla zarar veren ve daha az toksik bileşene ihtiyaç duyan üretim süreçlerine sahiptir. Daha düşük enerji içeren doğal yapı malzemeleri üretilen yapay malzemelere üretim esnasında bir şekilde eklendiğinde, malzemeler daha sürdürülebilir bir hale gelebilmektedir. Aynı zamanda bu yapı malzemelerinden, sadece ilk kullanımda değil, kabul edilebilir bir süre dahilinde iyi performans, kalite, estetik ve maliyet gibi istenilen işlevleri de yerine getirmesi beklenmektedir. (John vd., 2005).

Binaların yapımı için harcanan toplam enerji ölçüm kriterlerinde, kullanılacak yapı malzemelerinin üretimlerinde harcanan oluşum enerjisi önemli bir paya sahiptir. Yapı iskelet sistemlerinde kullanılan yapı malzemelerinden ahşap, özellikle ülkemizde çok fazla tercih edilmese de oluşum enerjisi beton ve çeliğe göre oldukça düşüktür (Duru ve Koç, 2018). Betonarme, çelik ve ahşap yapıların kıyaslamasının yapıldığı bir çalışmada elde edilen sonuçlar Grafik 1’de verilmiştir. Diğer birçok çalışmada da olduğu gibi ahşap malzemenin mükemmel sonuçlarına rağmen betonarme yapıların daha fazla tercih edildiği görülmektedir (Güner, 2019).

**Grafik 1. Betonarme, çelik ve ahşap yapıların enerji, CO<sub>2</sub> karşılaştırmaları (Güner, 2019)**



Sürdürülebilir yapı malzemeleri, yaşam döngüleri boyunca minimum seviyede enerji tüketen, hammaddelerinin elde edilme, işlenme, kullanım, bakım ve kullanım ömrü sonunda geri dönüşümü veya bertarafı sırasında çevreye en az şekilde zarar verme potansiyeli olan malzemelerdir. İdeal sürdürülebilir bir malzeme olan ve yapısal sistemlerin tüm performans gereksinimlerini karşılayabilecek çok az malzeme vardır. Kullanılacak malzemelerin seçimi yapılırken; ham maddesi, sahaya uzaklığı, üretim biçimi, zehirleyici madde içermemesi, üretilirken ve binada kullanılırken az enerji tüketmesine dikkat edilmelidir (Reddy, 2004). Çelik, betonarme ve ahşap malzemelerin yaşam döngülerinde enerji kullanımları kıyaslandığında, ahşap malzeme, diğerlerine göre daha az enerji harcamaktadır (Cole ve Kernan, 1996). (Kayılı ve Özmen, 2020) yaptıkları çalışmada, çelik malzemenin ahşap malzemeye göre daha fazla oluşum enerjisine ihtiyaç duyduğu ve dolayısıyla yüksek gömülü karbon değerlerine sahip olduğu sonucuna varmışlardır. Bunu destekler nitelikte literatürde birçok çalışma mevcuttur (Berge, 2009). (Gerilla vd., 2007), ahşap ve betonarme yapıların çevresel etkilerini ve yaşam döngüsü enerjilerini değerlendirmiş ve ahşap yapıların betonarme yapılara göre daha olumlu özellikleri olduğu sonucunu ortaya koymuşlardır. Betonarme ve ahşap binaların değerlendirildiği başka bir çalışmada (Hozatlı ve Günerhan, 2015), binanın yapımı, işletilmesi ve yıkılması süreçlerinin hepsinde, ahşap iskeletli binaların betonarme binalara göre daha az enerji harcadığı belirtilmiştir.

#### 4. AHŞAP VE LAMİNE AHŞAP MALZEME

Ahşap; doğal ve yenilebilir bir kaynaktan elde edilebilen, üretim sürecinde düşük karbon emisyonu olan ve az enerji gerektiren sürdürülebilir bir yapı malzemesidir. Sürdürülebilirliğinin devam ettirilebilmesi için, alternatif odun kaynaklarının kullanılması, kompozit ahşap üretiminde atıkların değerlendirilmesi, bilinçli ağaç kesimi ve doğru ağaçlandırma çalışmaları önemlidir (Binggeli, 2008). Eğer kaynaklar doğru bir şekilde yönetilirse, ahşap temini için dünyada sonsuz potansiyel vardır.

Diğer ülkelere nazaran bugün ülkemizde taşıyıcı olarak ahşabın kullanımı pek yaygın değildir. Yapılarda, ahşap malzemelerin kullanım çeşitliliğini arttırmak amacıyla istenilen büyüklük ve formlarda üretimini sağlamak için çeşitli yöntemlerle dayanımı yüksek kompozit ahşap malzemeler elde edilebilmektedir. Ahşap; mobilya, kiriş, kolon, sütun, duvar, çatı, kapı ve pencere gibi birçok alanda yapı malzemesi olarak çok önceden beri kullanılmaktadır

(Şenkal, 1996). Özellikle köprü yapımlarında kullanımı eskiden beri popülerdir. 1333 yılında İsviçre’de yapılmış bir ve özenli bir şekilde korunarak bu zamana kadar sağlam bir şekilde aktarılmış köprü örneklerden biri olan Chapel Köprüsü Şekil 3’de gösterilmiştir. Ülkemizde özellikle Karadeniz Bölgesi’nde eskiden yapılan yapılarda taşıyıcı eleman olarak da ahşap kullanımına rastlanmaktadır. Şekil 4’de örnek ahşap bir ev verilmiştir (Cağlayan, 2020). Her gün daha da gelişen teknoloji ile masif ahşap, yüksek dayanımlı bir mühendislik ürünü haline gelmiştir ve gittikçe popülerlik kazanmaktadır. Deprem riski olan Kanada’daki konutların ve eğitim binalarının %90’ı, Japonya’da %42’si ve ABD’nin ise konutların %92’si ahşap taşıyıcı elamanlara sahip yapılarıdır (Çalışkan vd., 2019). Ancak orman bakımından zengin ülkemizde ahşap yapılar yeni gelişen teknolojik ahşap kompozit malzemelere rağmen maalesef yeterli ilgiyi görmemektedir. 2010 yılında Türkiye’de ahşap evlerin toplam evlere oranı %0,05 gibi çok düşük bir orana sahiptir (Şişman, 2018).

#### Şekil 3. Chapel Köprüsü, İsviçre (Kaya, 2017)



Şekil 1.1: Chapel Köprüsü, Luzern/İsviçre, yapım;1333 (Url 1).

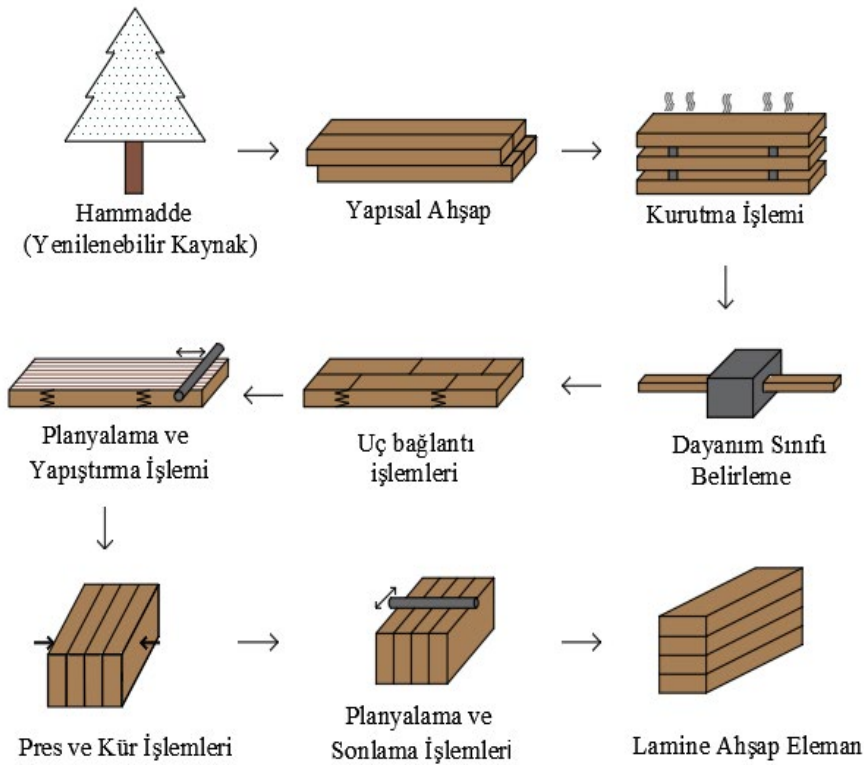
#### Şekil 4. Tarihi ahşap ev örneği (Url-1)



Ahşabın lifli, heterojen yapılı olması ve ağaçların doğal büyüme süreçlerindeki ortam koşulları hem morfolojik hem de mekanik özelliklerde değişkenliklere sebep olabilmektedir. Mikro ölçekte ahşap ortotropik malzeme davranışı gösterir. Mekanik özellikleri, lifin uzun doğrultusunda daha yüksek büyüklük derecelerine sahiptir. Malzeme davranışı lifin rotasını takip ettiğinden, en basit yükleme koşulları altında bile ahşap malzemede karmaşık gerilmeler gözlemlenir. Laminasyon işlemi ile doğal büyüme sürecinin olumsuz yönlerinin azaltılarak daha homojenize bir malzemenin elde edilmesi amaçlanmaktadır. Betonarme veya çelik ile üretimi uygun olmayan yapısal boyutlara sahip taşıyıcı elemanların ahşap malzemeden elde edilmesi laminasyon teknolojisi ile mümkün olmaktadır.

Laminasyon işlemi, aynı ya da farklı ağaçlardan elde edilmiş ahşapların iki veya daha fazla tabakanın yapıştırıcı ile birbirine yapıştırılması ile elde edilir. Şekil 6'da laminasyon işlem adımları sırasıyla verilmiştir. Bu işlem, kullanımı uygun olmayan zayıf (düşük kaliteli) ve geri dönüştürülmüş ahşapların kullanımına imkân vermektedir. Son yıllarda, üretim ve tasarımındaki teknolojik gelişmelerle yüksek ve çok katlı yapılarda taşıyıcı olarak yaygın kullanımına rastlanmaktadır (Çolak ve Değirmen-tepe, 2020). Laminasyon teknolojisiyle yapılmış ve dünyanın en uzun ahşap kulesi olan Şekil 7'de gösterilen The Mjos Tower'ın yüksekliği 85,4 metredir. Ayrıca bu kulenin yapımı tamamen geri dönüştürülebilir malzemeler kullanılarak inşa edilmiştir (Url-2).

Şekil 6. Laminasyon İşlemleri (Ansell, 2015)



**Şekil 7. Lamine ahşap taşıyıcı iskelete sahip Mjos Tower, Norveç**



Ahşap malzeme, iyi termal ve akustik performansları sayesinde çok sağlıklı çevre koşulları sunmaktadır. Ortamdaki zararlı maddeleri emerek oluşabilecek sera etkisini azaltır. Ahşabın ısı depolayıcı özellikte olması ve iyi yalıtım özelliği sayesinde ahşap yapıları ısıtmak için daha az enerji harcanmaktadır. Ahşap malzemeler sanılanın aksine yüksek yangın dayanımı göstermektedir. Statik dayanımını yüksek sıcaklıklarda bile uzun süre koruyabilmektedir (Henriques vd., 2017). Lamine katları arasında kullanılan tutkallar, yangın anında ahşabın mekanik özelliklerini etkilemesi açısından dikkat edilmesi gereken bir husustur. Yapılan çoğu çalışmada, lamine ahşap malzemenin masif ahşaba göre daha düşük yangın dayanımına sahip olduğu sonucuna varılmıştır (Özen ve Özçifçi, 2001). Ancak, yeni nesil yapıştırıcılardan yangın dayanımı oldukça yüksek yapıştırıcılar vardır. Ayrıca ahşabın yangına dayanımı dış yüzeyine kimyasallar sürülerek arttırılması da mümkündür.

Ahşap malzemenin korunması malzemenin performansı için oldukça önemlidir. Ahşap malzemenin hammaddesi olan ağaç formunda iken mantar, böcek, kurt, nem gibi zararlı dış etkenler tarafından çeşitli yöntemlerle korunmalıdır. Uygulama öncesinde gerekli önlemler alınmalı ve ahşap malzemenin bakımı periyodik olarak yapılmalıdır (Ali, 2011). Bu zararı ortadan kaldırmak için kurutma işlemi (ısıtma işlemi) önemlidir. Sadece kurutma işlemi yeterli değildir. Kurutma işleminin yanı sıra koruyucu boyalar, vernikler veya insan sağlığını

tehdit etmeyen bazı kimyasallar kullanılarak empenye işlemi yapılmalıdır. Ahşap malzemenin hammaddesi olan ağaçların büyüme süreçlerinde gübre ve bazı böcek ilaçlarının kullanılması ormanlarda su ve toprak kirliliğine sebep olmaktadır. Kompozit ahşap malzemelerin üretiminde kullanılan kimyasallar ve yüzey işlemi uygulamalarında açığa çıkan uçucu organik gazlardan dolayı çevreye ve insan sağlığına zararlı olduğu bazı durumlar vardır. Zararlı kimyasalların miktarını azaltmak için ısıtma işlemi görmüş ahşap kullanımı da bir çözümdür (Joseph ve Tretsiakova-McNally, 2010).

Ahşap yapılar, betonarme ve çelik yapılara göre daha hafiftir. Bu nedenle deprem sırasında yapıya daha az deprem yükü gelmektedir. Hafif bir malzeme olmasının yanı sıra yüksek mekanik özelliklere sahip bir malzemedir. Ahşap iskelet sistemlerinde elemanların birleşim yerleri deprem enerjisini dağıtmada etkili olabilmektedir (Demirkır vd., 2010). Ancak deprem sırasında yapının büyük zarar görmemesi için bağlantı noktalarının dikkatli ve bilinçli bir şekilde yapılması gerekmektedir (Bayülke, 2001). Ayrıca, ahşabın elastisite modülünün fazla olması, salınım yaparak depremden gelen enerjiyi sönmülmesini sağlar. Böylelikle taşıyıcı elemanlar daha az hasar almış olur. Ahşap yapılar malzemenin yapısından ötürü tek bir taraftan hasar alırlar. Bu durum deprem anında tüm taşıyıcı elemanların işlevini yitirmesini engellemiş olur. Deprem sonrasında incelenen ahşap yapılarıdaki hasarlar genellikle tek taraflı kırılma şeklinde gözlenmiştir. Bu sebeple, ahşap yapılarda hasarların müdahaleleri daha kolay ve hızlıca giderilebilmektedir (Cağlayan, 2020; Kretschmann, 2010). Şekil 8'de ahşap ve betonarme yapıların depremde aldığı hasar farklılığı görülmektedir.

**Şekil 8. Ahşap ve betonarme yapıların deprem sonrası durumları (Soldaki ahşap yapı, sağdaki betonarme yapı)**



**Şekil 8. Ahşap ve betonarme yapıların deprem sonrası durumları (Soldaki ahşap yapı, sağdaki betonarme yapı)**



Deprem veya diğer afetler sonrasında hızlı konut, köprü, okul, sağlık merkezi gibi yapı ihtiyaçlarının karşılanmasında lamine ahşap elamanların kullanımı iyi bir alternatiftir. Lamine ahşap malzemeden yapılan bu yapıların kullanımına devam edilebilir, çok az atık oluşumu ile sonrasında yıkılabilir veya başka yere montajı da gerçekleştirilebilmektedir. 1906 yılında San Francisco'da meydana gelen deprem ve sonrasında gelen yangının da etkisiyle şehirdeki evlerin çoğu ağır hasarlar almış ve yıkılmıştır. İlk müdahale olarak açık alanlara kurulan çadırlar sonrasında, ahşap kulübeler yapılmıştır. Sonrasında bu kulübelerde yaşayanlar geçici olarak kullandıkları evlerini buldukları yerden kaldırarak kendi yaşamak istedikleri çevreye taşımışlardır (Balçı Yaşar, 2021). 1999 Marmara Depremi sonrası, depremde yıkılan okulların yerine, geçici olarak taşınabilir lamine ahşaptan okullar kısa süre içerisinde yapılmıştır ve sürdürülebilirlik açısından bu yapılar oldukça uygun bir çözüm olmuşlardır (Bostancıoğlu ve Birer, 2004).

## 5. FRP MALZEMELER

Tarihi yapılara bakıldığında, oldukça fazla ahşap yapı elemanına rastlamaktayız. Bu yapılar, yıllar içerisinde deprem etkileri, farklı yüklem durumları veya zemin problemleri gibi birçok sebepten dolayı hasar almaktadır. Tarihi yapıların geleceğe güvenli bir şekilde ve dokusunu koruyarak aktarılması hem sürdürülebilirlik hem de kültürel miras için önemlidir. Son zamanlarda, onarım ve güçlendirme işlemlerinde geleneksel malzemelerin kullanımının yanı sıra teknolojik malzemelerin kullanımı tercih edilmektedir. Çünkü tarihi yapılara yapılacak müdahalelerde minimum etki ile maksimum verim alınması esastır (Degirmenci ve

Sarıbıyık, 2015). FRP malzemelerin korozyon riskinin az olması ve üstün mekanik özellikleri sayesinde, tarihi doku en az müdahaleyle ve geleceğe de en dayanıklı şekilde aktarılabilir (Bastianini vd., 2005). Ahşap tarihi yapılarda özellikle ahşap birleşim bölgelerindeki hasarların giderilmesinde FRP kullanımı iyi bir çözümdür. Bazı yapılarda da hasarlı kiriş elemanları çıkarılıp yerine FRP ile güçlendirilmiş ahşap veya lamine ahşap kirişler kullanılabilir (Alshegri ve Akgül, 2019).

FRP malzemeler, ayrı ayrı çalışan bileşenlerin özelliklerinden daha üstün özelliklere sahip iki veya daha fazla bileşenden oluşan çok fazlı sistemlerdir (Taranu vd., 2012). FRP malzemeler ilk üretildikleri zamanlar oldukça pahalıydı. Teknolojik gelişmeler sayesinde bu malzemelerin maliyeti azalmıştır ve dolayısıyla kullanımı da artmıştır (Jain ve Lee, 2012). Dayanım özelliği sağlayan çeşitli türde lifler (cam, bazalt, karbon, aramid vb.) ve bu lifleri bir arada tutan bir polimer matrisden (epoksi, polyeşter, vinileşter reçine vb.) oluşmaktadır. FRP malzemelerin geleneksel çelik ve alüminyum gibi malzemelere göre daha iyi mekanik ve durabilite özellikleri vardır. FRP malzemeler, mevcut yapıların rehabilitasyonu, yapıların ömrünü uzatmak için kullanılabilir veya yeni yapılara dahil edilebilir.

FRP malzemelerin üretiminde daha çok cam ve karbon lifler kullanılmaktadır. Karbon elyaf başta olmak üzere liflerin üretiminde çok fazla yenilenemeyen enerji gereklidir. Karbon liflerin mekanik özelliklerinin çok iyi olmasının yanı sıra üretiminin çevresel etkileri cam elyafların üretimine göre daha fazladır. Karbon liflerin üretimi için çok yüksek sıcaklıklarda çalışan genellikle fosil yakıt kullanılan fırınlar çalışmaktadır. Ancak, uygulamada daha çok cam elyaf kullanımı yerine daha düşük oranda karbon elyaf kullanımı ile malzemeden istenilen performans elde edilebilir. Bu sebeple liflerin üretim süreçlerindeki çevresel etkileri ve teknik özellikleri iyi bilmek lif çeşidinin seçiminde önemlidir (Anderson vd., 2004). Son zamanlarda doğal bir lif türü olan bazalt lifler ile ilgili yapılan çalışmaların sayısı artmakta ve inşaat sektöründe bazalt liflerinin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır (Çankal ve Öztürk, 2019). FRP malzemelerin üretiminde önemli bir bileşen olan matris bileşenlerinin (termoplastik reçineler) üretiminde de çevresel zararlar söz konusudur. Reçineler genel olarak yüksek miktarda toksik madde içerir ve insan sağlığı için de zararlıdır. Bazı dolgu maddelerinin kullanılması, gerekli reçine hacminin azalması nedeni ile FRP üretiminde çevresel



zararların azaltılmasını sağlamaktadır. Birçok araştırmacı reçinelerin geri dönüşümünü, sınırlı uygulamaları olan zorlu prosedürlere sahip olduğunu belirtmiştir (Dang vd., 2002). Ancak son yıllarda, teknolojik gelişmeler sayesinde, reçinelerin üretimi ve geri dönüşümü ile ilgili daha çeşitli ve verimli yaklaşımlar sunulmuştur (Chen vd., 2020; Wang vd., 2021; Zhang vd., 2018).

FRP malzemeleri sürdürülebilirlik kapsamında değerlendirmek gerekirse üretim süreçleri, hammadde, enerji ve su kullanımını gerektirdiğinden çevre üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yalnızca liflerin üretimi için bile gerekli olan enerjiyi ve polimerleri elde etmek için kullanılan birincil kaynakları dikkate alırsak sürdürülebilir bir inşaat gelişimi için FRP malzemelerin kullanımı çevreci bir yaklaşım olmadığı söylenebilir. Ancak FRP uygulamaları inşaatların kullanım ömrünü uzatır. Yeni bir yapının inşası büyük miktarlarda enerji ve önemli bir ilk yatırım gerektirir. Dolayısıyla eski bir yapıyı yıkıp yenisini inşa etmektense eski bir yapıyı güçlendirerek yeniden kullanmak daha sürdürülebilir olmaktadır. Eski bir yapının hizmet ömrünü uzatmak adına, inşaat sektörünün sürdürülebilir gelişiminde FRP malzemelerin kullanımı büyük bir avantajdır. FRP malzemeler icat edilmeden önce yerine kullanılan alüminyum ve çelik gibi metal malzemelerin üretiminde de oldukça enerji tüketimi gerçekleşmektedir. FRP malzemelerin düşük yoğunlukta olması, ağır ekipman ihtiyacını en aza indirir. Böylece üretim, taşıma ve uygulama sırasında yakıt tüketimi ve zararlı emisyonlar daha azdır. Tüm bu durumlar, bütün bir yapısal sistemle ilişkili genel yaşam döngüsü kapsamında ele alındığında, inşaat uygulamalarında FRP kompozitleri kullanarak sürdürülebilirlik birçok yönden desteklenebilir. (Maxineasa ve Taranu, 2013).

FRP malzemeler için bir dizi farklı geri dönüşüm teknolojisi geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Bu geri dönüşüm yöntemleri mekanik, kimyasal ve termal olarak kategorize edilir. Matris bileşeni olarak termoset reçinelerin kullanıldığı FRP malzemelerin geri dönüşümü zordur. Çünkü termoset reçinelere sertleştikten sonra tekrardan şekil verilemezler (Asmatulu vd., 2014). Termoset matrisli cam lifli polimer atıklarının kullanımının araştırıldığı bir çalışmada, mekanik yöntemle geri dönüştürülmüş atıklar kütlece belli oranlarda (%4, 8, 12 ve 16) orijinal liflere ikame şekilde kullanılmıştır. %4 geri dönüştürülmüş lif olan numune hariç diğer numunelerde kabul edilebilir mekanik dayanımlar sergilemiştir (Balıkoğlu vd., 2018). Başka bir çalışmada, kullanılan %5 oranında cam lifli

polimerin atığında elde edilen tozu kullanılarak elde edilen bitüm esaslı asfalt karışımında katkısız asfalta göre daha iyi sonuçlar gözlenmiştir. Böylelikle, lifli polimerler malzemenin atığı değerlendirilmiş, çevre kirliliği azaltılmış, ekonomik kazanç ve asfaltta mekanik açıdan olumlu sonuçlar elde edilmiştir (Özkara, 2009).

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Dünyada mevcut fosil enerji kaynaklarının gün geçtikçe daha fazla harcanması ve bu kaynakların tükenmesi, var olan çevresel sorunlar gibi etkenler ormanların ve ahşap malzemenin önemini arttırmaktadır. Sürdürülebilir yapıların ötesinde sürdürülebilir bir çevre için ahşap ve lamine ahşap malzemelerin kullanımı arttırılmalıdır. Amerika başta olmak üzere Kanada, Orta Avrupa'daki bazı ülkeler, Avustralya ve İskandinav ülkeleri gibi gelişmiş ülkelere bakıldığında gerek eski gerekse yeni yapılarda ahşap ve lamine ahşap malzemelerin kullanımına oldukça rastlanmaktadır. Türkiye'de yeni yüzyılın getirdiği teknolojik gelişmeler bir takım ekonomik sebeplerle göz ardı edilmektedir. Ayrıca, geleneksel ahşap yapılarıdaki durumlar değerlendirilerek, yangına ve depreme dayanıksızlığı gibi ahşap malzeme ile ilgili çeşitli önyargılar maalesef halen bulunmaktadır. Bu kapsamda, yapılması önerilen çalışmalar dikkat edilmesi gerekenler hususlarla birlikte özet şeklinde sunulmuştur.

- Her şeyden önce ahşap yapılar yaygınlaşmadan mevcut ormanlar daha bakımlı hale getirilerek mevcut ağaç potansiyeli arttırılıp daha bilinçli orman politikaları yürütülmeli ve düzenli bir ahşap yapı malzemesi üretim döngüsü sağlanması gerekmektedir.
- Üniversitelerin ilgili bölümlerinde ahşap yapıların tasarımı, ahşap ve ahşap türevi kompozit malzemeleri konu alan derslerin arttırılması gerekmektedir. Aynı zamanda bu konuda yapılacak özel sektörde, üniversitede veya ortak çalışmalar kapsamında gerçekleştirilecek her türlü araştırma ve geliştirme çalışmalarına destek verilmesi ayrıca önem arz etmektedir.
- İmar ve deprem yönetmeliklerinde, standartlar ve şartnamelerde ahşap yapılar ile ilgili kısıtlı bilgiler yer almaktadır. Bu yüzden Türkiye'de ahşap malzeme ve yapılar ile ilgili teknik personellerde mesleki yetersizlikler bulunmaktadır. Ahşap yapıların birleşim elemanlarının montajında insan kaynaklı gerçekleştirilecek hatalar olasıdır. Bu sebeple ahşap

yapıların yapımında kalifiyeli işçi, mühendis ve kontrol ekibi iyi eğitilmelidir.

- Ahşap malzemeler için kullanım yeri ve maruz kalacağı çevre şartları önemlidir. Buna uygun bir ağaç türünden seçilmesi ve uygun nem içeriğine göre kurutulması önemlidir.
- Günümüzde teknolojik gelişmelerle birlikte ahşap yapıların sorunlarına çözümler getirilmiş ve her türden ihtiyacı karşılayan ahşap konutların yapımı mümkündür. Bu konuda ahşap yapıların güvenilirliği ile ilgili ön yargıların yıkılıp tüm toplumun bilinçlendirilmesi oldukça önemlidir.
- Tarihi ahşap yapıların yıkılması yerine, çağdaş bir mimari anlayışıyla ve teknolojik perspektiflere uygun bir şekilde değerlendirme ve geliştirme çalışmaları yapılmalıdır. Bunun için FRP ile güçlendirmek yerine göre iyi bir çözümler sunabilmektedir.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, FRP malzemelerin yapısal fizibilitesi ile ilgili çok çalışma varken, yaşam döngüsü yaklaşımı perspektifinde bu malzemelerin geniş kapsamda ekonomik ve çevresel fizibilitesi üzerine çok az nicel araştırma yapıldığı düşünülmektedir. FRP malzemelerin sürdürülebilir bir çevrenin parçası olması için geleneksel malzemelere alternatif olarak kullanımında birtakım sahip olması gereken durumlar özetlenmiştir (Jain ve Lee, 2012).

- FRP bileşen malzemeleri için standardize edilmiş enerji tüketimi ve emisyon verilerinin geliştirilmesi ve kullanılabilirliği ile ilgili çalışmalar yapılmalıdır.
- FRP kullanılan yapısal elemanların kullanım ömrü tahmini için dayanıklılık verileri ve yöntemleri entegre edilmelidir.
- Atıkları en aza indirmek için kullanım ömrü sonunda geri dönüşümü için uygun stratejiler belirlenmelidir.
- Yapısal bileşenlerin ve sistemlerin yaşam döngüsü değerlendirmesi için resmileştirilmiş yöntem ve tekniklerin geliştirilmesi gereklidir.

## KAYNAKLAR / REFERENCES

- Ali, A. C. (2011). *Physical-mechanical properties and natural durability of lesser used wood species from Mozambique*. Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Alsheghri, A. ve Akgül, T. (2019). Ahşap yapıların birleşim bölgelerinde kullanılan metal levhalar yerine karbon elyaf levhaların kullanılmasının araştırılması. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 7(3), 406-413.

- Anderson, J., Jansz, A., Steele, K., Thistlethwaite, P., Bishop, G. ve Black, A. (2004). *Green guide to composites: An environmental profiling system for composite materials and products*. Watford: BRE Press.
- Ansell, M. P. (2015). *Wood composites (1st ed.)*. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Asmatulu, E., Twomey, J. ve Overcash, M. (2014). Recycling of fiber-reinforced composites and direct structural composite recycling concept. *Journal of Composite Materials*, 48.
- Aykal, F. D., Gümüş, B. ve Akça, Y. B. Ö. (2009). Sürdürülebilirlik kapsamında yenilenebilir ve etkin enerji kullanımının yapılarda uygulanması. *V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Diyarbakır, 78-83.
- Balcı Yaşar, S. (2021). Afet Sonrası Geçici Yerleşim Alanlarının Seri Üretim Kavramı İle Değerlendirilmesi.
- Balıkoğlu, F., Demircioğlu, T. K., Akın, A., Beyaz, S. ve Arslan, N. (2018). Termoset matrisli cam elyaf takviyeli polimer CTP atıkların mekanik geri dönüşüm ürünlerinin sıcak pres kalıplama bileşiminde (BMC) tekrar değerlendirilmesi. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8(1), 168-180.
- Bastianini, F., Corradi, M., Borri, A. ve di Tommaso, A. (2005). Retrofit and monitoring of an historical building using "Smart" CFRP with embedded fibre optic Brillouin sensors. *Construction and Building Materials*, 19(7), 525-535.
- Bayülke, N. (2001). Ahşap yapılar ve deprem, Türkiye Mühendislik Haberleri, Ankara: TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Sayı: 414 - 2001/4, 14-20.
- Berge, B. (2009). *The ecology of building materials (2nd ed.)*. Italy: Routledge.
- Binggeli, C. (2008). *Materials for interior environments*. Canada: John Wiley & Sons.
- Bostancıoğlu, E. ve Birer, E. (2004). Ekoloji ve ahşap-Türkiye'de ahşap malzemenin geleceği. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 9(2), 37-44.
- Calayan, E. S. (2020). *Ahşap yapılar ve Türkiye'de inşaat mühendislerinin/ağaç işleri endüstri mühendislerinin çok katlı ahşap yapılara yönelik görüşleri*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, İstanbul.
- Chen, X., Chen, S., Xu, Z., Zhang, J., Miao, M. ve Zhang, D. (2020). Degradable and recyclable bio-based thermoset epoxy resins. *Green Chemistry*, 22(13), 4187-4198.
- Cole, R. J. ve Kernan, P. C. (1996). Life-cycle energy use in office buildings. *Building and Environment*, 31(4), 307-317.
- Çalışkan, Ö., Meriç, E. ve Yüncüler, M. (2019). Ahşap ve ahşap yapıların dün, bugün ve yarın. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(1), 109-118.
- Çankal, D. ve Öztürk, A. U. (2019). *Durability properties of cement mortar cooperating with basalt fibers*. 7th International Symposium on Academic Studies in Science, Engineering and Architecture, 15-17 Kasım, Ankara.
- Çolak, M. ve Değirmenentepe, S. (2020). İç ve dış mekanlarda ahşap malzemelerin mobilya ve yapı malzemesi olarak kullanımı. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 9(Özel Sayı), 190-199.
- Dang, W., Kubouchi, M., Yamamoto, S., Sembokuya, H. ve Tsuda, K. (2002). An approach to chemical recycling of epoxy resin cured with amine using nitric acid. *Polymer*, 43(10), 2953-2958.
- Degirmenci, I. ve Sarıbüyük, M. (2015). Tarihi yapıların güçlendirilmesinde yenilikçi yaklaşımlar ve FRP malzemelerin kullanımı. *3rd International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, Valencia -Spain, 338-347.
- Demirkir, C., Çolakoğlu, G., Çolak, S. ve Aydın, İ. (2010). Ahşap iskeletli yapıların deprem performansı. *Paper presented at the III. Ulusal Karadeniz Ormanlık Kongresi*, 20-22 Mayıs 2010, 5, 1722-1731.

- Dresner, S. (2008). *The principles of sustainability*. Londra: Earthscan.
- Du Plessis, C., Laul, A., Shah, K., Hassan, A., Adebayo, A., Iruhah, D. ve Marulanda, L. (2001). Agenda 21 for sustainable construction in developing countries: first discussion document. *CIB and CSIR-Boutek*.
- Duru, M. ve Koç, İ. (2018). Yapı üretim faaliyetlerinde yapı malzemesi kaynaklı sorunların tespiti. 2. *Uluslararası Mimarlık ve Tasarım Kongresi*, 11-12 Ekim 2018, Çanakkale.
- Ebert, T., Eßig, N. ve Hauser, G. (2012). *Green building certification systems*. München: DETAIL.
- Evran, A. (2012). *Sürdürülebilir yapım ve eğitim binaları üzerine bir araştırma*. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- Gerilla, G., Teknomo, K. ve Hokao, K. (2007). An environmental assessment of wood and steel reinforced concrete housing construction. *Building and Environment*, 42(7), 2778-2784.
- Güner, M. E. (2019). *Yapım sistemlerinde taşıyıcı eleman olarak kullanılan çelik, betonarme ve ahşap malzemelerin sürdürülebilirlik açısından karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Henriques, A., Coelho, C., Ferra, J., Martins, J. M., Magalhaes, F. D., Molina, S., ... & Carvalho, L. (2017). *Wood composites: Materials, manufacturing and engineering* (Vol. 6). Walter de Gruyter GmbH & Co KG.
- Hozatlı, B. ve Günerhan, H. (2015). Muğla ili koşullarında betonarme ve ahşap iskeletli binalara ait yaşam döngüsü analizi. *Mühendis ve Makina*, 56(660), 52-60.
- İpekçi, C. A., Coşgun, N. ve Karadayı, T. T. (2017). İnşaat sektöründe geri kazanılmış malzeme kullanımının sürdürülebilirlik açısından önemi. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 10(2), 43-50.
- Jain, R. ve Lee, L. (2012). *Fiber reinforced polymer (FRP) composites for infrastructure applications: Focusing on innovation, technology implementation and sustainability*. Springer Science & Business Media.
- John, G., Clements-Croome, D. ve Jeronimidis, G. (2005). Sustainable building solutions: A review of lessons from the natural world. *Building and Environment*, 40(3), 319-328.
- Joseph, P. ve Tretsiakova-McNally, S. (2010). Sustainable non-metallic building materials. *Sustainability*, 2(2), 400-427.
- Kaplan, G., Çankal, D. ve Öztürk, A. U. (2020). Endüstriyel ve kentsel dönüşüm atıklarının döngüsel ekonomi açısından inşaat sektörüne faydaları, *Döngüsel Ekonomi-Makro ve Mikro İncelemeler* (ss. 528-529), İzmir: Nobel Yayıncılık.
- Karaçor, Z., Küçüksucu M. ve Konya S. (2020). Türkiye'de çevre ekonomisi, atık yönetimi ve döngüsel ekonominin analizi, *Döngüsel Ekonomi-Makro ve Mikro İncelemeler* (ss. 156-180), İzmir: Nobel Yayıncılık.
- Kaya, T. G. (2017). *Masif ve lamine ahşabın durabilitesi ve mekanik özelliklerine ortam şartlarının etkisi*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Kayhan, K. S. ve Tönük, S. (2011). Sürdürülebilirlik bilincinin inşa edileceği binalar olma yönü ile temel eğitim okulları. *Politeknik Dergisi*, 14(2), 163-171.
- Kaylı, M. T. ve Özmen, S. T. (2020). Hafif çelik ve ahşap duvar konstrüksiyonlarının gömülü karbon değerinin belirlenmesi. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 7(2), 603-618.
- Kettunen, P. O. (2006). *Wood: Structure and properties*, Uetikon-Zuerich: Trans Tech Publication.
- Kim, J. ve Rigdon, B. (1998). *Sustainable Architecture Module: Qualities, Use, and Examples of Sustainable Building Materials* (ss. 322-323), Ann Arbor: National Pollution Prevention Center for Higher Education.
- Kretschmann, D. (2010). Mechanical properties of wood. *Wood handbook: wood as an engineering material: chapter 5. Centennial ed. General technical report FPL; GTR-190*. Madison, WI: US Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 190, 5.1-5.46.
- Maxineasa, S.-G. ve Taranu, N. (2013). Traditional building materials and fibre reinforced polymer composites. A sustainability approach in construction sector. *Buletinul Institutului Politehnic din Iasi. Sectia Constructii, Arhitectura*, 59(2), 55.
- Özen, R. ve Özçifçi, A. (2001). Emprenyeli sarıçam (Pinus Sylvestris L.) odunundan üretilen lamine ağaç malzemelerin yanma özellikleri. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1), 131-138.
- Özkara, S. (2009). *Cam takviyeli polysterin asfalt içinde geri dönüşümü*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Ramesh, T., Prakash, R. ve Shukla, K. (2010). Life cycle energy analysis of buildings: An overview. *Energy and Buildings*, 42(10), 1592-1600.
- Reddy, B. V. (2004). Sustainable building technologies. *Current Science*, 87(7), 899-907.
- Reichel, A., De Schoenmakere, M., Gillabel, J., Martin, J. ve Hoogveen, Y. (2016). Circular economy in Europe: Developing the knowledge base. *European Environment Agency Report*, 2, 2016.
- Sev, A. (2009). *Sürdürülebilir mimarlık*, İstanbul: YEM Yayın.
- Şenel, A. (2010). *Sürdürülebilir bina yapım ilkelerinin ve yeni yaklaşımların incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Şenkal, F. (1996). *Konutlarda dünden bugüne ahşap kullanımı üzerine bir araştırma*. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne.
- Şişman, M. E. (2018). *Amerika Birleşik Devletleri'nde ahşap evin gelişimi ve prefabrik ahşap ev katalogları*. Yüksek Lisans Tezi, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, İstanbul.
- Taranu, N., Oprisan, G., Entuc, I., Budescu, M., Munteanu, V. ve Taranu, G. (2012). Composite and hybrid solutions for sustainable development in civil engineering. *Environmental Engineering and Management Journal*, 11, 783-793.
- Turin, D. (2003). Building as a process. *Building Research & Information*, 31(2), 180-187.
- Url-1. Retrieved from <http://safranrestorasyon.blogspot.com/2017/05/tarihi-ahsap-evler.html#.YGuqfrBxfIU>
- Url-2. Retrieved from <https://www.skyscrapercenter.com/building/mjostarnet/26866>
- Utkuğu, G. (2011). *Sürdürülebilir bir geleceğe doğru mimarlık ve yüksek performanslı yeşil bina örnekleri*. X.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 13-16 Nisan 2011, İzmir, 1517-1538.
- Uz, A. (2020). *Sürdürülebilir kalkınma ekseninde konut üretimi ve konut yapı malzemeleri*. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Wang, X.-L., An, W.-L., Tian, F., Yang, Y., Zhao, X., Xu, P.-P., ... Wang, Y.-Z. (2021). Recycling waste thermosetting unsaturated polyester resins into oligomers for preparing amphiphilic aerogels. *Waste Management*, 126, 89-96.
- Winandy, J. E. (1994). Wood properties. *Encyclopedia of Agricultural Science*, 4, 549-561.
- Yorgancıoğlu, P. (2004). *Sürdürülebilir yapım kavramının uygulamaya aktarılmasındaki araç, yöntem ve yaklaşımlara ilişkin bir değerlendirme*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Zhang, Y., Yuan, L., Liang, G. ve Gu, A. (2018). Developing reversible self-healing and malleable epoxy resins with high performance and fast recycling through building cross-linked network with new disulfide-containing hardener. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 57(37), 12397-12406.