

EDİTÖR

Doç. Dr. Alper POLAT

**İNŞAAT
MÜHENDİSLİĞİ**

Alanında Araştırmalar ve Değerlendirmeler

**ARALIK
2024**

İmtiyaz Sahibi / Yaşar Hız
Yayına Hazırlayan / Gece Kitaplığı
Birinci Basım / Aralık 2024 - Ankara
ISBN / 978-625-388-134-4

© copyright

2024, Bu kitabın tüm yayın hakları Gece Kitaplığı'na aittir.
Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir
yolla çoğaltılamaz.

Gece Kitaplığı

Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak
Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA
0312 384 80 40
www.gecekitapligi.com / gecekitapligi@gmail.com

Baskı & Cilt

Bizim Büro
Sertifika No: 42488

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ALANINDA ARAŞTIRMALAR VE
DEĞERLENDİRMELER**

EDİTÖR

Doç. Dr. Alper POLAT

gece
kitaplığı

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1

YAPILARDA SAYDAM BETON

Aylin AKYILDIZ 7

BÖLÜM 2

YEŞİL YAPILAR

Aylin AKYILDIZ 23

BÖLÜM 3

ÇAPRAZ LAMİNE AHŞAP ÇOK KATLI BİNALAR

Günnur YAVUZ, Burak ATİK 35

BÖLÜM 4

TAŞIYICI SİSTEMLERDE CAM LİF TAKVİYELİ POLİMER (CTP) PROFİLLERİN KULLANIMI - CTP YAYA KÖPRÜLERİ

Günnur YAVUZ, Abdulkadir KOÇAK 67

”

BÖLÜM 1

YAPILARDA SAYDAM BETON

Aylin AKYILDIZ¹

¹ Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, aakyildiz@nku.edu.tr ORCID: 0000-0003-2739-0689

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze insanlar, çeşitli medeniyetler kurmuşlar binlerce eser inşa etmişlerdir. Bu eserlerin bazıları günümüze kadar ulaşabilmiş ve bazıları da çeşitli sebeplerle yok olmuştur. Bu eserlerin tümüne baktığımızda insanlar ilk zamandan itibaren yapıların içerisinde gün ışığından faydalanmaya çalışmışlardır. Bunlara örnek olarak, erken Roma döneminde yapılarak altlarına pencere yerleştirilmiş çeşitli kubbeler, kemerler gösterilebilir.

Yapı endüstrisinde sürekli olarak yeni malzeme ve teknolojilerin arayışı, mimari tasarımı ve inşaat mühendisliğini geliştirmeye devam etmektedir. Bu arayışın bir sonucu olarak, geleneksel malzemelerin sınırlarını zorlayan ve yeni olanaklar sunan yenilikçi malzemeler ortaya çıkarmaktadır [1].

Son zamanlarda inşa edilen yapılarda gün ışığından daha fazla yararlanılmasını sağlamak ve estetiksel olarak daha iyi bir görünüm sağlaması amacıyla yenilikçi bir malzeme ortaya çıkmıştır. Optik fiberlerin düzgün bir şekilde elemanın ışık geçirme yönüne paralel olarak yerleştirilerek, ışığın bir yüzeyden diğer yüzeye optik fiberler aracılığıyla geçmesiyle ışığı geçiren bu malzemeye saydam beton (ışık geçiren beton) denilmiştir.

İlk olarak 1935 yılında Saint Gobain isimli cam üretici bir firmada çalışan Bernard Long tarafından dile getirilmiştir.

Saydam betonun ilk fikri, geleneksel betonun opak doğasını aşarak, ışığı geçirme yeteneğine sahip bir malzeme geliştirme amacından doğmuştur. Bu fikri geliştiren kişi Macaristanlı mühendis Áron Losonczi'dir [2, 3]. Áron Losonczi, 2001 yılında Budapeşte Teknik Üniversitesi'nde öğrenci iken saydam beton üzerine çalışmalarına başlamıştır. Hedefi, geleneksel betonun dayanıklılık özelliklerini korurken, aynı zamanda ışığı geçirme yeteneğine sahip bir malzeme üretmektir. Losonczi, ışık geçirgenliğini sağlamak için optik fiberleri kullanmaya karar verdi. Bu doğrultuda, betona optik fiberler ekleyerek, ışığın betonun içinden geçmesini sağladı. Optik fiberler, ışığı bir noktadan diğerine iletebilen ince cam veya plastik liflerdir. Bu fiberler, beton karışımına eklenerek ışığın betonun içinden geçmesini sağladı [4].

İlk prototipler, optik fiberlerin beton karışımına belirli bir düzenle yerleştirilmesiyle üretildi. Bu sayede, betonun ışığı iletme kapasitesi test

edildi ve olumlu sonuçlar alındı. 2003 yılında, Losonczi'nin ilk saydam beton prototipleri üretildi. Bu prototipler, hem teknik hem de estetik açıdan büyük bir başarı olarak değerlendirildi.

Işık geçirgenliğini sağlayan bu malzeme, mimarlık ve inşaat dünyasında büyük ilgi uyandırdı. 2004 yılında, Áron Losonczi geliştirdiği bu yeni malzemeyi "Litracon" adıyla tescil ettirdi. Litracon, "light-transmitting concrete" yani "ışık geçiren beton" ifadesinin kısaltmasıdır. Aynı yıl, bu yenilikçi malzeme, Almanya'da prestijli bir tasarım ödülü olan "Red Dot Design Award" ödülünü kazanarak uluslararası alanda tanınmaya başlamıştır [3].

Bu ödül, malzemenin yenilikçi doğasını ve estetik değerini uluslararası alanda tanıttı. 2005 yılında, Losonczi, saydam betonun ticari üretimini gerçekleştirmek amacıyla "Litracon Bt." şirketini kurdu. Bu şirket, saydam betonun üretimi ve pazarlanması için gerekli altyapıyı sağladı [5, 6].

Saydam betonun, geleneksel betonla karşılaştırıldığında ekstra özellikleri ve estetik açıdan yüksek potansiyeli vardır. Optik liflerin içinde kullanılmasıyla elde edilen bu malzeme, ışığı ileterek saydam görünüm üretmekte ve mimari yapıların tasarımına yeni bir boyut getirmektedir (Şekil 1). Bununla birlikte, dayanıklı ve sürdürülebilir bir yapı malzemesi olmasıyla da öne çıkmaktadır [7].

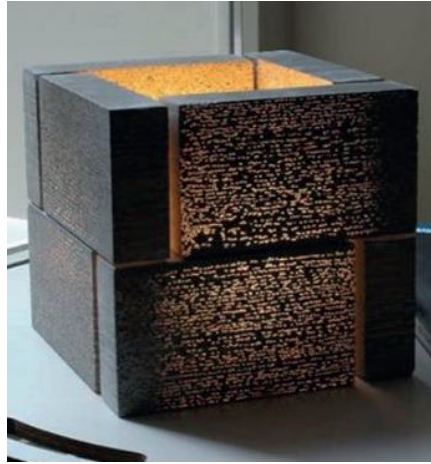


Şekil 1. Saydam beton [8].

Saydam beton, optik fiberler veya ışık iletim kabloları kullanılarak ışık geçirgenliği sağlanan bir beton türüdür. Geleneksel betonun sağlamlık ve dayanıklılık özelliklerini korurken, ışığı belirli bir oranda

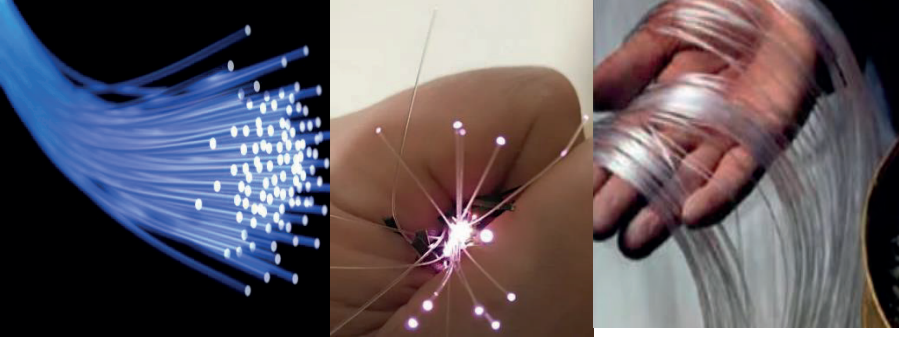
geçirebilme yeteneğine sahip olan bu malzeme, modern inşaat ve tasarım dünyasında büyük bir yenilik olarak kabul edilmektedir. Saydam beton, beton karışımına eklenen optik fiberlerin ışığı yüzeyden yüzeye ilemesiyle çalışır. Bu fiberler, betonun içinden geçen ışığın görsel olarak algılanmasını sağlar [9, 10].

Saydam betonların diğer yüzüne ışığı iletme performansını ölçümlemek amacıyla, kırılma indeksi, geçirgenlik oranı, yayılım gibi özelliklerini hesaplamak için ışığı ne kadar iletebildiğine göre teste tabi tutulur. Işık almayan ortamda gerçekleşen deneyde, betona sarı, kırmızı ve yeşil ışıklar yollanmış ve sonucunda diğer yüzeyde aynı renklerde yansıma görülmüştür. Kaynaktan gönderilen ışık, beton içindeki fiber dizilimini de gösterebilmektedir. Bu durum numunelerdeki optik fiberlerin kalıba aktarımı sonrası farklı desenler oluşturulabilir. [11, 12] (Şekil 2).



Şekil 2. Saydam beton. [13]

Saydam betonun ışık geçirme oranı, büyük ölçüde içerdiği optik fiberlerin yoğunluğuna ve düzenine bağlıdır. Genel olarak, optik fiberler betonun içine yerleştirildiğinde, betonun ışık geçirgenliği sağlanır. Bu oran, kullanılan optik fiberlerin miktarı ve kalitesiyle ilişkilidir (Şekil 3). Betonun içine daha fazla optik fiber yerleştirilmesi, ışık geçirme oranını artırır. Yoğun fiber kullanımı, daha fazla ışığın betonun bir yüzeyinden diğerine ulaşmasını sağlar. Daha az optik fiber kullanıldığında, ışık geçirme oranı düşer. Bu, daha sınırlı bir ışık geçirgenliği ile sonuçlanır [14].



Şekil 3. Optik fiberler [14]

Tipik olarak, saydam betonun ışık geçirme oranı %3 ile %5 arasında değişebilir. Ancak, bu oran optik fiberlerin yoğunluğuna ve düzenine bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Bazı özel uygulamalarda, optik fiberlerin yoğunluğu artırılarak bu oran %20'lere kadar çıkarılabilir. Bu tür uygulamalar, özellikle estetik amaçlı veya belirli aydınlatma gereksinimleri olan projelerde tercih edilir.

Saydam beton, geleneksel betonun dayanıklılık ve dayanım özelliklerini koruyarak, içine eklenen optik fiberler sayesinde ışık geçirgenliği sağlar. Bu özellik, malzemenin hem estetik hem de yapısal işlevselliğini artırır [9].

Saydam betonun dayanımı, bileşenlerinin özelliklerinden gelir.

1. Çimento: Çimentonun kimyasal bağlanma özellikleri, betona yüksek basınç dayanımı kazandırır.

2. Agregat: Kum ve çakıl gibi agregalar, betonun mekanik dayanımını artırır. Agregaların boyutları, betonun homojenliğini sağlamak için dikkatlice seçilmelidir.

3. Optik Fiberler: Işık geçirgenliği sağlamak için kullanılan ince cam veya plastik liflerdir. Optik fiberlerin çapı genellikle 2 mm'den küçüktür ve belirli aralıklarla betona yerleştirilir. Cam veya plastik optik fiberler, betonun yapısal bütünlüğünü korurken ışık geçirgenliği sağlar. Optik fiberler, mekanik yüklere maruz kaldıklarında bükülme ve kırılmaya karşı dirençli olup, betonun dayanımını olumsuz etkilemez.

2. YAPIM AŞAMALARI

Optik fiberlerin hazırlanmasında fiber seçimi olarak yüksek kaliteli optik fiberler kullanılmalıdır. Fiberlerin ışık iletim kapasitesi ve dayanıklılığı, betonun performansını doğrudan etkiler. Kullanılacak optik fiberlerin çapı ve uzunluğu, betonun kalınlığına ve istenen ışık geçirgenliğine göre seçilmelidir [15].

Optik fiberler, beton bloğunun boyutlarına uygun olarak kesilir. Liflerin yerleştirileceği kalıp hazırlıkları yapılır ve lifler belirli aralıklarla yerleştirilir. Bu işlem, ışığın düzgün bir şekilde iletilmesi için liflerin düzgün ve paralel yerleştirilmesini gerektirir [15]. Kesilen fiberlerin uçları, kirlenme veya hasar görmemesi için dikkatlice korunmalıdır.

Optik fiberlerin beton içerisinde homojen bir şekilde dağıtılabilmesi için bir dizilim şablonu hazırlanmalıdır. Bu şablon, fiberlerin belirli aralıklarla ve düzenli bir şekilde yerleştirilmesini sağlar. Dizilim şablonu, beton kalıbına sabitlenmeli ve fiberlerin yerinden kaymaması için güvence altına alınmalıdır [16]. Betonun şekillendirmek için çelik veya ahşap kalıplar kullanılır.

Kalıplar, betonu dökerken liflerin hareket etmesini önlemek için sağlam ve stabil olmalıdır. Beton dökümü sırasında kalıpların kolayca çıkarılabilmesi için kalıpların iç yüzeyleri kalıp yağı ile kaplanır. Optik fiberler, hazırlanan şablon doğrultusunda beton kalıbına yerleştirilir. Fiberlerin düzgün bir şekilde yerleştirilmesi, ışığın etkin bir şekilde iletilmesi için önemlidir. Fiberler, beton döküm sürecinde hareket etmemesi için sabitlenir. Bu, genellikle ince teller veya özel klipsler kullanılarak yapılır [16].

Saydam beton için kullanılacak beton karışımı, uygun agregalar ve bağlayıcılarla hazırlanır. Beton karışımının homojen olması ve fiberlere zarar vermemesi için dikkatli bir şekilde hazırlanmalıdır. Beton karışımı, dikkatlice kalıba dökülür ve fiberlerin etrafını tamamen kaplayacak şekilde yerleştirilir. Döküm sırasında fiberlerin yerinden oynamaması için özen gösterilmelidir. Betonun yerleşmesi ve hava kabarcıklarının çıkması için titreşim uygulanabilir. Ancak, bu işlem sırasında fiberlerin zarar görmemesi için dikkatli olunmalıdır.

Beton döküldükten sonra ilk sertleşme süreci başlar. Bu süreç genellikle 24-48 saat sürer. İlk sertleşmeden sonra kalıplar dikkatlice çıkarılır. Betonun nihai dayanımına ulaşması için kür işlemi uygulanır. Bu işlem, betonun nemli tutulması veya suya batırılması yoluyla yapılır ve genellikle 28 gün sürer. Saydam betonun kalite kontrol ve test süreçleri, malzemenin hem mekanik dayanımını hem de ışık geçirgenliğini doğrulamak için kritik öneme sahiptir. Bu süreçler, betonun inşaat ve mimari projelerde güvenle kullanılmasını sağlamak amacıyla titizlikle gerçekleştirilir. Beton yüzeyinin düzgünlüğünü, optik fiberlerin yüzeyde doğru şekilde konumlandığını ve herhangi bir çatlak, boşluk veya kusur olup olmadığını kontrol etmek önemlidir. Görsel inceleme, büyüteç veya mikroskop kullanılarak yüzey kusurları tespit edilir. Optik fiberlerin beton içinde homojen olarak dağıldığını ve istenilen aralıklarda yerleştirildiğini doğrulamak, kesit alma ve mikroskobik inceleme ile fiberlerin düzeni ve yoğunluğu kontrol edilir.

3. SAYDAM BETONUN TÜRKİYE'DEKİ VE DÜNYADAKİ UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Saydam beton malzemesi, modern yapıların hem işlevselliğini hem de görsel çekiciliğini artırmak için önemli bir seçenek olarak değerlendirilmektedir.

Saydam beton hem iç hem de dış duvarlara uygulanabilir. Güneş ışınları betona daha düşük bir açıyla çarptığında daha fazla ışık yoğunluğu oluşur. Bu nedenle saydam beton, gün boyunca normal bir beton blok gibi görünürken gün batımı sırasında parlak bir görünüm oluşturur. Taşıyıcı duvar, kaldırım taşı, bölme duvar, mobilya imalatı ve dekoratif armatür olarak kullanılmaktadır. Harika ışık yönlendirme özellikleri, geceleri otoyollarda, uçaklarda veya binalarda, insanları acil çıkışlara yönlendirmek için hız kesicileri aydınlatarak güvenliği artırmak veya hatta metro istasyonları gibi karanlık halka açık yerleri aydınlatmak için kullanılabilir. Aşağıdaki örnekler, saydam betonun çeşitli uygulama alanlarında nasıl kullanılabileceğini ve sunduğu avantajları göstermektedir.

Mimari Yapılar

Saydam beton, modern binaların dış cephelerinde kullanılarak estetik bir görünüm sağlar ve iç mekânlara doğal ışığın girişini kolaylaştırır. İç

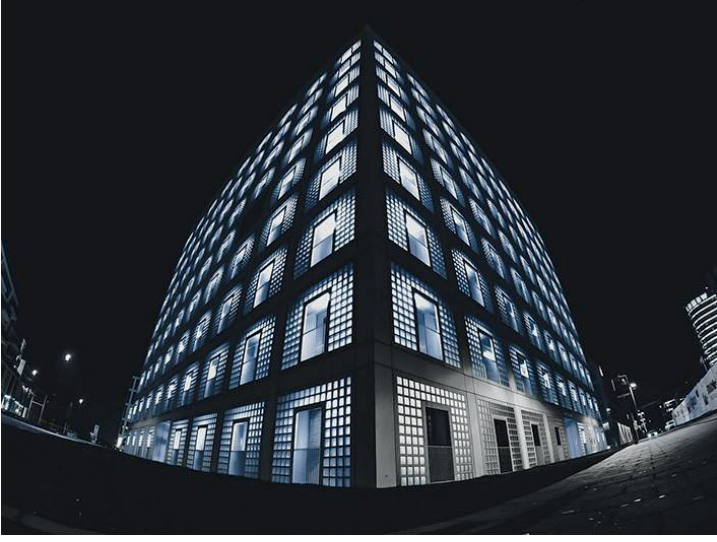
mekânlarda duvarlar, sütunlar veya bölmelerde saydam beton kullanımı, mekânların geniş ve aydınlık bir hissiyat kazanmasını sağlar.

Zaha Hadid tarafından tasarlanan Almanya Phaeno Bilim Merkezi, saydam betonun estetik ve fonksiyonel potansiyelini sergileyen önemli bir örnektir (Şekil 4). Doğal ışığın iç mekânlara mükemmel bir şekilde taşınması ve modern mimariyle bütünleşmesini sağlamıştır.



Şekil 4. Almanya Phaeno Bilim Merkezi [17]

Başka bir örnek ise, Yi Architects tarafından yapılan Almanya'daki Stuttgart Şehir Kütüphanesi'dir (Şekil 5). Yarı saydam bir çatı ile birleştirilen küp şekli, doğal ışığın alanı aydınlatmasını sağlayarak olağanüstü dinamik bir iç mekân yaratmaktadır.



Şekil 5. Stuttgart Şehir Kütüphanesi [18].

Gerçek anlamda şimdiye kadar şeffaf beton ile gerçekleştirilmiş ilk ve büyük bir uygulama İtalya Köşküdür (Şekil 6). Yapı 18 m. yüksekliğindedir ve yapının yaklaşık %40'ı şeffaf beton ile kaplanmıştır. Bu kaplama 100 x 50 x 5 cm kalınlığında 3774 blok ile sağlanmıştır. Bu bloklar 189 ton ağırlığında ve 1887 m² toplam yüzey alanına sahiptir.

Köşk cephesinin şeffaf betonla kaplı olmasından dolayı Köşk'ün %40'ı gün ışığının düzeylerindeki değişiklikler sonucu ortaya çıkan farklı renkte ışıklar ve gölgelerden oluşmaktadır. Karanlıkta ise iç ışıklardan dolayı yapı dışarıdan daha görünebilir hale gelmektedir. Pencere gibi kullanılan bu kaplama ile gün ışığı iç alana alınarak enerji tasarrufu sağlanması da hedeflenmiştir.



Şekil 6. İtalya Köşkü, Şangay [19]

Lucem GmbH Ürdün'ün başkenti Amman'da çok dikkat çekici bir projede yer almıştır. Yapım aşamasında olan bir banka binası, üreticiye göre dünyada benzersiz olan, yarı saydam betondan yapılmış bir merdiven boşluğu duvar paneli üretilmiştir (Şekil 7). Tasarım, doğanın merdiven boşluğundan ışık şeklinde akması fikrine dayanmaktadır. Yapı, ışık tasarımlarıyla, yarı saydam betonun kullanımıyla, dış duvarların sağlamlık ve saydamlık ile etkileyici bir örnek oluşturmaktadır.



Şekil 7. Lucem GmbH projesi, Amman [20]

Saydam betonun kullanımı henüz çok yaygın olmasa da bazı şaşırtıcı yapılarda, genellikle bir cephe malzemesi olarak uygulanması dikkat çekicidir. Örneğin “Avrupa Kapısı”, bu malzemenin yarattığı ışık iletme kalitesi nedeniyle Macaristan'daki en popüler yerlerden biridir (Şekil 8). Anıt, Macaristan'ın Avrupa Birliği'ne katılımını kutlamak için 2004 yılında inşa edilmiştir.



Şekil 8. Avrupa Kapısı [21].

APG Mimarlık ve Planlama Grubu'nun son projesi olan Abu Dabi'deki Al Aziz Camii'nin beton cephesi, Kuran'dan Tanrı'nın 99 ismini heceleyen Arap yazısının çıkıntılı öğelerine sahiptir (Şekil 9). Ancak geceleri, beton karanlıkta aydınlanırken 515 metrekairelik cepheye dönüşmektedir. Etki, Alman merkezli üretici LUCEM tarafından sağlanan yarı saydam beton panel sistemi sayesinde mümkün olmuştur.



Şekil 9. Abu Dabi'deki Al Aziz Camii'nin beton cephesi [22].

Saydam beton, günümüzde hem mimarlar hem de mühendisler tarafından çeşitli yaratıcı uygulamalar için tercih edilen bir malzeme olmuştur. Estetik ve işlevsel avantajlarıyla birlikte, yapıların modern gereksinimlerini karşılamak ve sürdürülebilirlik hedeflerini desteklemek için önemli bir rol oynar. Bu sebeplerle, saydam betonun kullanım alanları giderek genişlemekte ve inovatif yapı projelerinde merkezi bir konuma sahip olmaktadır.

Saydam beton, geleneksel betonun mekanik dayanımını korurken estetik ve fonksiyonel açıdan çeşitli avantajlar sunan bir yapı malzemesidir.

Saydam beton, doğal ışığı iç mekânlara taşıyarak daha aydınlık ve ferah ortamlar yaratır. Bu özelliği sayesinde mimari tasarımlarda estetik bir çekicilik sağlar ve modern binaların görünümünü güçlendirir.

Optik fiberler sayesinde kontrol edilebilen ışık geçirgenliği, iç mekanların aydınlatma düzenlemelerinde esneklik sağlar. Gündüz zamanlarında doğal ışığın etkili bir şekilde kullanılması, yapının enerji verimliliğini artırır ve aydınlatma maliyetlerini düşürür.

Saydam beton, özellikle iç mekanlarda gizlilik sağlarken dışarıdaki manzaraları da korur. Bu özellik, özellikle ofis binaları ve konutlarda mahremiyetin korunmasına yardımcı olurken, dışarıdaki güvenlik sorunlarına karşı koruma sağlar.

Betonun yoğun yapısı, ses yalıtım özellikleri sunar. Saydam beton, bu özellikleri korurken iç mekanlarda akustik performansı artırır ve gürültüyü azaltır.

Yüksek dayanımlı beton sınıfına dâhil olan saydam beton, çevresel koşullara karşı dayanıklılığıyla bilinir. Uzun vadeli kullanımda bile renk solması veya malzeme bozulması gibi sorunlarla karşılaşmaz, bu da bakım maliyetlerini minimize eder.

Optik fiberlerin eklenmesiyle üretilen saydam beton, çevresel açıdan sürdürülebilir bir malzeme olarak kabul edilir. Doğal ışığın kullanımıyla enerji tasarrufu sağladığı gibi, malzemenin uzun ömürlü olması da çevresel etkileri azaltır.

4. SONUÇ

Işığı geçiren beton 2000'lerde geliştirilmiş bir teknolojidir. Temelde optik özelliğe sahip olan cam elyafın beton içerisinde homojen dağılarak betona saydam özellik katmasına dayanır. Betonun ışığı geçirmesini sağlayan ana madde optik fiber liflerin kullanımındır. Liflerin diziliş yönü ışığın iletilmesi için çok önemlidir. Işığı geçiren betonun ışık geçirme özelliği, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı hakkında yapılan çalışmaları incelenmiş ortaya çıkan sonuca göre, beton içerisinde kullanılan optik fiber sayısının artmasının betonun dayanımını azalttığı görülmüştür. Bunun sebebi fiber oranının artmasına bağla olarak betonun kalıba zor yerleştirilmesi ve beton miktarının azalmasıdır. Betonun saydamlığını arttırabilmek için optik fiberlerin yerleştirme esnasında dik olarak yerleştirilmesi çok önemlidir. Ek olarak saydam beton harcında kaba daneli, agrega ve malzemelerden kaçınılmalıdır. Kıvamın akıcı olması ve en fazla 2mm ince agrega içermesi gerekmektedir.

Küçük çaplı daha çok fiber yerine, büyük çaplı daha az fiberle daha dolu bir hacim elde edilebilir. Işık geçiren beton sağladığı güzel ve estetik görünümle yavaş yavaş hayatımızda yerini almaktadır. Bunun yanı sıra gündüz içerisinde depoladığı enerjiyi karanlıkta dışarıya yayabilmekte,

bu da geceleri aydınlatma enerjisi ihtiyacını bir miktar düşürmektedir. Enerjinin çok değerli olduğu dünyamızda bu tarz yenilikçi malzemelerin yaygınlaşması ve kullanımı günden güne artmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1]. Birch, A. (2005, March 18). Material world. *Building Design*. erişim tarihi: 9 Aralık 2024. <https://www.bdonline.co.uk/material-world/3048414.article>
- [2]. Sibel Kurt Sönmez. erişim tarihi: 9 Aralık 2024 https://cimsa.com.tr/formulhane/beyaz_cimento/transparan-beton-nedir-nerelerde-kullanilir/
- [3]. <https://en.wikipedia.org/wiki/LiTraCon>
- [4]. Losonczy, Á. (2004). LiTraCon - Light Transmitting Concrete. <https://www.litracon.hu/en>
- [5]. Kellogg, C. (2004, April 15). Space-Age Concrete Blocks That Let You See the Light. *New York Times*.
- [6]. Zhou, Z, Ou, G, Hang, Y., Chen, G., Ou, J., Research and Development of Plastic Optical Fiber Based Smart Transparent Concrete, Smart Sensor Phenomena, Technology, Networks and Systems, 2009.
- [7]. Fuhr, P.L., Huston, D.R., Polymer optical fiber sensing of concrete structures, SPIE, 1997, 3180:112 -116.
- [8]. <https://www.slideshare.net/slideshow/light-transmitting-concrete/52095512>
- [9]. Bashbash B.F., Hajrus R.M., Wafi D.F., Alqedra M.A., Basics of Light Transmitting Concrete, Global Advanced Research Journal of Engineering, Technology and Innovation, 2013, 2(3), pp. 076-083.
- [10]. Bhushan M.N.V.P., Johnson D., Pasha A.B., Prasanthi K., Optical Fibres in the Modeling of Translucent Concrete Blocks, International Journal of Engineering Research and Applications, 3(3), 2013, pp. 13-17.
- [11]. Salih, S. A., Joni, H. H., & Mohamed, S. A. (2014). Effect of plastic optical fibers on properties of translucent concrete boards. Proceedings of the First International Conference on Engineering Sciences Applications, Kerbala, Iraq.
- [12]. Concrete Network, "Transparent Concrete: What It Is, How It Works, Applications," erişim tarihi: 9 Aralık 2024. Concrete Network
- [13]. <https://theconstructor.org/concrete/transparent-concrete-light-transmitting-concrete/9271/>

- [14]. Chandrasekaran Palanisamy, Nirmalkumar Krishnaswami, Sampath kumar Velusamy, Harsath Krishnamurthy, Harish kumaar, Velmurugan, Harish Udhayakumar (2022). Transparent concrete by using optical fibre, Materialstoday, 65(2), 1774-1778.
- [15]. Sinem EMANET, (2022). Işık Geçiren Betonun Optik Fiber Oranları ve Yerleşimlerine Göre Özelliklerini İncelemeye Yönelik Deneysel Bir Çalışma, İTÜ, Yüksek Lisans Tezi
- [16]. <https://cimsa.com.tr/formulhane/beyaz-cimento/transparan-beton-nedir-nerelerde-kullanilir/>
- [17]. <https://sworld.co.uk/2/656070/photoalbum/home.html>
- [18]. <https://www.ekoyapidergisi.org/alternatif-malzemeler-yari-saydam-beton-transparan-beton>
- [19]. <https://www.core77.com/posts/16562/transparent-concrete-and-cement-at-world-expo-16562>
- [20]. https://www.bftinternational.com/en/artikel/bft_Stairwell_of_selfsupporting_translucent_concrete_in_Jordan-2791406.html
- [21]. Georgia Alexandra COVALEOV (2019), Transparent Concrete. Revista Română de Inginerie Civilă, Vol 10
- [22]. <https://architizer.com/blog/practice/materials/light-transmitting-concrete-on-mosque/>

”

BÖLÜM 2

YEŞİL YAPILAR

Aylin AKYILDIZ¹

¹ Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, aakyildiz@nku.edu.tr ORCID: 0000-0003-2739-0689

1. GİRİŞ

Şehirler artık dünya nüfusunun yarısından fazlasını barındırmaktadır. Ekonomik faaliyetlerin de büyük bir kısmını şehirler oluşturmaktadır. Bu yüzden şehirler için sürdürülebilir uygulamalar ve planlamalar gerekmektedir. Şehirler küresel enerjinin yaklaşık olarak %67-%76'lık kısmını tüketir. Dolayısıyla şehirlerin çevre sorunları üzerindeki etkisi de çok fazladır [1].

İnşaat endüstrisi toplum üzerinde önemli çevresel, sosyal ve ekonomik etkilere sahiptir. İnşaat endüstrisinin temel çıktılarında biri olan binalar, yaşam döngüsü boyunca bu etkileri büyük ölçüde yansıtmaktadır.

Binalar ve inşaat faaliyetleri kentleşmede önemli bir rol oynamaktadır. İnşaat faaliyetlerinin olumlu etkileri şunlardır: insanların gereksinimlerini karşılayan binalar ve tesisler sağlamak, doğrudan veya dolaylı olarak (inşaat endüstrisiyle ilgili diğer endüstriler aracılığıyla) istihdam fırsatları sağlamak ve ulusal ekonomiyi katkıda bulunmaktır.

Yapılar çok miktarda doğal ve insan kaynağı tüketilmektedir. Binalar tamamlandıktan sonra çevre üzerindeki etkilerini sürdürmektedir. Dünya Sürdürülebilir Kalkınma İş Konseyi'ne göre, yapı bloğu toplam enerji tüketiminin %40'ını oluşturmaktadır [2]. Enerji tüketiminin yanı sıra binalar, küresel ısınmadan sorumlu olan Sera Gazı (GHG) emisyonu üretmektedir. Binaların ve inşaat faaliyetlerinin olumsuz etkileri de iyi bilinmelidir. Bunlara inşaat aşamasında gürültü, toz, trafik sıkışıklığı, su kirliliği ve atık bertarafı dâhildir.

Gelecekte daha fazla insanın şehirlerde yaşayacak olması, sürdürülebilir mimarlık ve inşaat kavramını günümüz dünyası için bir zorunluluk haline getirmiştir.

Dünyanın dört bir yanında giderek daha fazla talep gören ve sürdürülebilir düşünce anlayışıyla tasarlanan binalar, yeşil bina, çevre dostu bina, sağlıklı bina, ekolojik bina, yüksek performanslı bina ve çevreye duyarlı bina gibi birçok isimle anılmaktadır.

Yeşil, 1980'lerde popüler bir kelime haline gelmiştir. Çevresel sorunlara ilişkin toplumsal farkındalık artmaya ve yeşil politika kavramı özellikle Avrupa'da gelişmiş ülkelerde öne çıkmaya başladıkça, "yeşil" tüm çevresel sorunları kapsayan sembolik bir kelimeye dönüşmüştür [3].

Yeşil bina için pek çok tanım yapılmaktadır. Örneğin, Kibert yeşil binayı şöyle tanımlamıştır: "... ekolojik temelli ilkeler kullanılarak kaynak açısından verimli bir şekilde tasarlanmış ve inşa edilmiş sağlıklı tesisler". Yeşil binanın sürdürülebilir bina ve yüksek performanslı bina terimlerinin yerine kullanıldığına dikkat çekmek gerekir.

Robichaud ve Anantatmula, yeşil binaların dört temel direği olduğunu belirtmişlerdir:

çevre üzerindeki etkilerin en aza indirilmesi,
sakinlerinin sağlık koşullarının iyileştirilmesi,
geliştiricilere ve yerel topluluğa yatırım getirisi ve

planlama ve geliştirme sürecinde yaşam döngüsü dikkate alınmasıdır [4]. Bu tanımların ortak unsurları şunlardır: yaşam döngüsü perspektifi, çevresel sürdürülebilirlik, sağlık sorunları ve toplum üzerindeki etkileridir.

Türkiye'de Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği (ÇEDBİK), ekolojik sorunların arttığı günümüzde, bütüncül bir yaklaşım ve ekolojik duyarlılıkla inşa edilmiş bina ve yerleşimler aracılığıyla daha sağlıklı yaşam ortamlarına kavuşacağımız inancıyla hareket eden bir dernektir [5].

ÇEDBİK (Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği) bu yapıları şu şekilde tanımlıyor:

Arazi seçiminden başlayarak tüm yaşam döngüsü çerçevesinde ele alınan, bütüncül bir yaklaşım ve sosyal ve çevresel sorumluluk anlayışıyla tasarlanan, iklim verilerine ve yerel koşullara uygun, sadece ihtiyaç duyulan miktarda tüketen, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik, doğal malzemeler kullanan, ekosistemlere duyarlı yapılar [6, 7].

Yapılaşmanın artması ve kontrolsüz enerji ve kaynak tüketiminin çevreye ve insan sağlığına verdiği zararlar nedeniyle yapı tasarımlarında sürdürülebilir tasarım yaklaşımı ortaya çıkmıştır. Sürdürülebilir ve çevre dostu tasarım yaklaşımı, bir yapının çevre ve kullanıcılar üzerindeki etkilerini en aza indirmeyi ve bu sonucu uzun vadede korumayı

amaçlayan, yapının inşası, kullanımı ve bakımı faaliyetleriyle ilgili bir anlayıştır.

Küresel iklim değişikliği, su kaynaklarının tükenmesi, çevre ve hava kirliliği, doğal kaynakların hızla tükenmesi gibi faktörler yapı sektöründe çevre dostu ve sürdürülebilir yeşil binaların kullanılmasını kaçınılmaz hale getirmiştir.

Yeşil yapıların avantajlarına baktığımızda daha az su tüketir ve enerji verimliliğini artırır. Enerji verimlidirler, dolayısıyla daha az enerji kullanırlar. Daha az enerji kullanımı, daha küçük bir 'karbon ayak izine' dönüşür.

Doğal kaynakları korur, minimum atık üretir ve sakinleri için geleneksel bir binaya kıyasla daha sağlıklı bir ortam sağlar.

Yeşil binalar ayrıca yerinde enerji üretmek için iyi dengelenmiş su ve atık yönetimi ile alternatif enerji kaynaklarını entegre eder. Jeotermal, güneş veya rüzgar teknolojileri gibi doğal enerji biçimlerini kullanırlar.

Geri dönüşüm olanağı olan çevre dostu malzemelerin seçimi, binanın çevre dostu doğasını artıran bir diğer önemli faktördür. Geri dönüştürülmüş malzemeler, geri kazanılmış kereste ve bambu ahşap zeminler gibi kullanılabilir.

Daha iyi termal kalite, güzel görsel konfor ve mükemmel hava kalitesine sahip iç mekan çevre düzenlemesi korunur.

Yeşil bina ayrıca enerji talebini karşılamak için yenilenebilir enerji yardımıyla yerinde enerji üretimini de içerir. Örneğin, güneş termal düzenlemesi sıcak su üretmeye ve binalardaki elektrikli şofbenin yerini almaya yardımcı olabilir.

Yeşil binalar, inşaat sırasında minimum kirliliğe neden olur. İnşaat ve işletme sırasında hava ve gürültü kirliliğini önler ve çevredeki ortama minimum etki sunar.

Yeşil binaların tasarımı, sulama ihtiyacını azaltan peyzaj düzenlemesini de uygular.

3. YEŞİL YAPILARIN TÜRKİYE'DEKİ VE DÜNYADAKİ UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Yeşil mimarinin güzel bir örneği, ABD'nin Florida eyaletindeki Miami'deki "COR" binasıdır. Bina, güzel bir şekilde tasarlanmış ve çevre dostu karma kullanımlı bir yapıdır. Miami'deki Green Building, Chad Oppenheim mimarlık + tasarım, enerji danışmanı Buro Happold ve yapı mühendisi Ysreal Seinuk arasındaki bir iş birliği olan 40 milyon dolarlık, 25 katlı "COR" binası, yeşil teknolojiyi rüzgâr türbinleri, fotovoltaiik paneller, güneş enerjili sıcak su üretimi gibi yeşil teknolojileri birleştirmektedir. Binanın dış iskeleti, ısı yalıtımı için termal kütle, sakinler için gölge ve türbinleri destekleyen teraslar ve armatürler gibi mimari elemanlar sağlayan aşırı verimli bir yapıdır (Şekil 1).



Şekil 1. Miami'deki Cor Binası [8].

Binanın benzersiz bir görünüm sağlayan verimli bir şekilde tasarlanmış dış iskeleti sayesinde COR'u uzaktan fark etmek kolaydır.

Kabuk sadece göz alıcı olmaktan öte, binaya fayda kazandırır ve yalıtım, doğal gölge, teras muhafazası için termal kütle sağlamaktadır. Rüzgâr türbinleri de dış iskelete dâhil edilmiştir. Geri dönüştürülmüş cam karo zemin ve bambu kaplı koridorlara sahip 113 konforlu konut alanı bulunmaktadır. Aynı zamanda yapıda gri su sistemi yeşil çatısı ve düşük su peyzajı, yenilenebilir malzemelerle (örneğin, bambu döşeme) havuz alanı bulunmaktadır.

Oppenheim Architecture + Design'ın karma kullanımlı projesi Marina + Beach Towers, gökyüzünü ve suyu birleştiren, açık denize doğru eğimli formu tasarlanan çevreye ve manzaraya karşı zarif ve estetik görünümüne sahip bir yapıdır. Üniteler standart bir modüle dayanıyor ve kule içindeki yerleşimleri güzel manzaralar ve doğal ışık sağlarken aynı zamanda yoğun güneşten kritik koruma sağlamaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Marina + Beach Towers [9].

Yapının planlanmasında sürdürülebilirlik ön planda tutulmuştur. Enerji kullanımının en aza indirilmese ve su miktarı en üst seviyeye çekilmek istenmiştir. Katlarda bulunan yeşil alanlar sayesinde geri dönüşüm sistemi kullanılarak su kullanımı planlanmıştır.

Yapıda uygulanan rüzgâr ve güneş sistemleri sayesinde büyük ölçüde enerjisinden tasarruf sağlanmıştır. Binanın şekli ve özel formu sonucunda doğal serinlik sağlanarak klima kullanımı en aza indirilmiştir. Yapının dış kısmında kullanılan özel malzeme sayesinde, sıcak çöl havası iç mekânda hissedilmemektedir.

Binanın yemyeşil botanik alanın kulelerin arasında bulunması ve sandviç formunu alması önemli bir özelliğidir. Bu alan, deniz kenarında sıcaktan kaçmak isteyen kişiler için tasarlanmıştır.

İlginç tasarımlardan olan dünyanın ilk 360 Derece dönebilen sürdürülebilir oteli, İtalyan mimar David Fischer, tarafından bütün katların her biri sözlü bir komutla dönecek bir şekilde tasarlanmıştır.

David Fischer amacı, aynı oda içerisinde gün doğumu ve batımını izlenmesini sağlamaktır. Aynı zamanda bu sayede güneş enerjisinden maksimum yararlanılacaktı. Her iki katın arasına yerleştirilen bir rüzgar türbini ile (toplamda 79 adet) ve güneş panellerinden sağlanan enerji ile dönme eylemi 3 saat içinde gerçekleşebilmektedir. Neredeyse tamamı prefabrike olan yapı 2010 yılında tamamlandı.



Şekil 3. 360 Derece Döner Kule [10].

Yatay olarak konumlandırılmış tribünler karbon telden yapılmış özel bir teknoloji ile geliştirilmiştir ve herhangi bir ses çıkarmaması planlanmıştır. Betonarme merkezden bağımsız dönebilen, betonarme bir çekirdek etrafında çeşitli raylar kullanılarak, fabrikadan tamamen bitmiş şekilde üretilen katlar yerine yerleştirilmesi tasarlanmıştır.



Şekil 4. 360 Derece Döner Kule panelleri [11].

Türkiye'nin ilk yeşil gökdeleni İstanbul Sapphire, 64 katlı olup, 4 ayrı zone dan oluşmaktadır. 261 m yükseklik ile Türkiye'nin en yüksek binası unvanını almıştır .

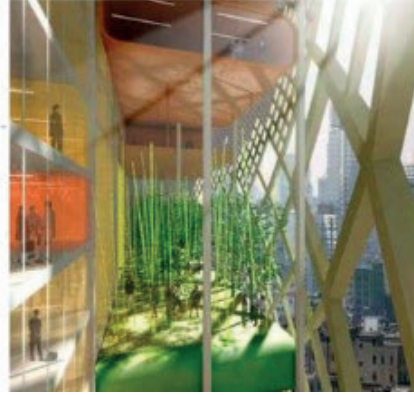
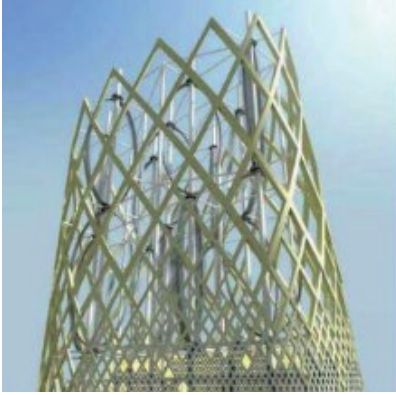
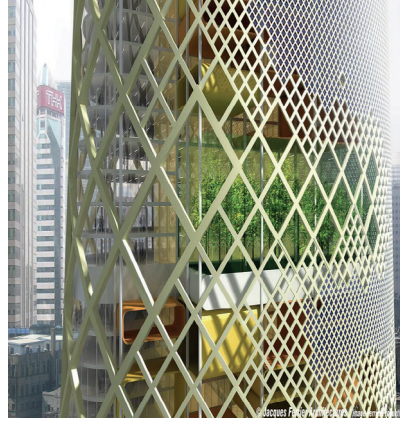


Şekil 5. İstanbul Sapphire [12].

Yapının birbirinden bağımsız iki kabuktan oluşman cephesi; iç mekanlar, dışta oluşturulan kabuk ile olumsuz hava koşullardan ve gürültüden korunmaktadır. Bu şeffaf kabuk aynı zamanda iç ve dış kabuk arasında tampon bölge böle görevi görmekte ve yapı fiziği alanında olumlu yönde etki sağlamaktadır. Doğal havalandırma sayesinde “nefes alan bina”, daha az enerji tüketmektedir.

Çevre dostu sistemlerin kullanılması ile her 3 katta iklimlendirme alanı olarak düzenlenen yeşil alanlar, yüksek kotta bulunan oturma alanları da doğal ve sıcak bir atmosfer sağlamaktadır. Camlarda mantalama sistemi ile enerjiden %25 tasarruf sağlanması amaçlanmıştır.

Jacques Ferrier tarafından 2006'da tasarlanan Hypergreen, dünyadaki mega şehirler için tasarlanmış olan çevre dostu bir kule tipidir. Hypergreen, yenilenebilir enerji kaynaklarını ve yüksek performanslı yapı malzemelerini kullanımı sayesinde tüm yaşam çevrimi boyunca çevre dostu bir yapı olarak kalmaktadır.



Şekil 5. Hypergreen Tower [13, 14].

Kulenin şekli, cepheleri ve parçaları, iklimsel konsepti dikkate almayan mevcut binaların aksine, binanın yönüne vurgu yapacak şekilde tasarlanıp oluşturulmuştur. yüksek performanslı betondan yapılan binanın dış 'ızgara derili' cephesi binaya doğal ışık girişini optimize ederek yatay stabiliteyi sağlar. Rüzgar kirişi fonksiyonlarından uzak olan iç yapıda bulunan desteksiz plakalar üst üste bindirilmiştir. Bunun sonucunda binanın iç mekanı tamamen esnek ve uyarlanabilir özelliكتedir.

4. SONUÇLAR

Yeşil binalara sürdürülebilir binalar veya enerji verimli binalar da denebilir. Yeşil binalar enerjiyi verimli kullanır, suyu ve diğer doğal kaynakları onlara zarar vermeden kullanır, güvenli, konforlu ve sağlıklı bir ortam sağlar.

Bu binalar enerji ve kaynak kullanımını açısından çevreye en az zararı vermeyi, kullanıcı sağlığını ve çalışan verimliliğini en üst düzeyde tutmayı hedefler. Günümüzde yeşil binalar, tüketim açısından daha değerli, çevre dostu, ekolojik, konforlu ve enerji verimli binalar olarak yapı sektörü içerisinde yepyeni bir sektör yaratmıştır. Yeşil bina inşaat sektörünün tamamı üzerinde çok önemli ve olumlu bir etkiye sahip olmasına rağmen, sorumluluk riski gibi konular çok dikkatli bir şekilde ele alınması gereken önemli sakıncalara neden olmaktadır.

Özellikle 21. yüzyılda, yapı sektörünün neden olduğu çevresel sorunlar, yeşil bina yapımının bir alternatif değil, bir zorunluluk olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, yapı sektörünün doğaya ve insanlığa verdiği zararı en aza indirmek için, yeşil binalara olan talebin küresel ölçekte artması gerekmektedir.

Enerji verimli binalar konusunda farkındalığı artırmak için eğitimin her kademesinde eğitim faaliyetleri teşvik edilmeli ve yeşil bina faaliyetleri gerekli uygulamalarla ülkeler tarafından desteklenmelidir.

Yeşil bina kapsamında tüm birimler (mimar, müteahhit, elektrik, makine ve inşaat mühendisleri) koordineli bir şekilde çalışmalı ve herkes için entegre bir tasarım sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1]. <https://www.semtrio.com/blog/surdurulebilir-sehirler-ve-topluluklar-gelecegin-yasam-alanlari>
- [2]. Pamuk R., Kuruoğlu M. (2016). İnşaat Sektöründe Sürdürülebilirlik ve Bina İnşaatlarında Evrensel Uygulama Örnekleri, Beykent Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi Sayı 9(1), 161 – 177
- [3]. Madge, P. (2009). Ekolojik tasarım: yeni bir eleştiri; Ruhnaz Üstüner, Mimarist, sayı 32, pp. 50-52.
- [4]. Lauren Bradley Robichaud, Vittal S. Anantatmula, (2010) Greening Project Management Practices for Sustainable Construction, Journal of Management in Engineering 27(1). DOI: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000030
- [5]. <https://www.cedbik.org/>
- [6]. <https://www.cedbik.org/yesilbina>
- [7]. Sur, H. (2012). Çevre dostu yeşil binalar, Yeşil Binalar Referans Rehberi.
- [8]. <https://oppenoffice.com/works/cor/>
- [9]. <https://www.archdaily.com/87669/marina-beach-towers-oppenheim-architecture-design>
- [10]. <https://www.yesilodak.com/arti-enerjili-gokdelen-360-derece-donerken-yenilenebilir-enerji-uretiyor>
- [11]. <https://www.sanalsantiye.com/360-derece-donen-gokdelen/>
- [12]. <https://sapphireskydeck.com/>
- [13]. https://www.lafarge.com.eg/en/5_3-Highlights
- [14]. <https://www.citedelarchitecture.fr/fr/oeuvre/tour-hypergreen-vue-verticale-de-la-tour-avec-jardin-dhiver>



BÖLÜM 3

ÇAPRAZ LAMİNE AHŞAP ÇOK KATLI BİNALAR¹

Günnur YAVUZ², Burak ATİK³

¹ Bu kitap bölümü Doç. Dr. Günnur YAVUZ danışmanlığında tamamlanmış olan Burak ATİK'in "Çok Katlı Binalarda Çapraz Lamine Ahşap Taşıyıcı Sistemlerin Kullanımının İncelenmesi" başlıklı Yüksek Lisans tezinin bir bölümü esas alınarak hazırlanmıştır.

² Doç.Dr., Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ORCID:0000-0002-8725-7129

³ İnşaat Yük. Müh., Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, ORCID: 0000-0002-4266-6340

1. GİRİŞ

Ahşap insanlığın varoluşundan beri doğallığı, dayanıklılığı, ulaşılabilirliği ve işlenebilirliği gibi birçok özelliğinden dolayı ev inşasında çokça tercih edilen bir yapı malzemesi olmuştur. Ayrıca, sağlıklı ve sürdürülebilir olması ham maddeye ulaşımın kolay olduğu yerlerde yaygın bir şekilde kullanılmasını sağlamıştır. Sürdürülebilirlik, küresel ısınma ve yenilenebilir enerji kaynaklarının gözönüne alınması ile birlikte yapılarda kullanılan malzemeler üzerinde yeniden düşünölmeye başlanılmıştır. Eski yapılarda %30-40 oranlarında organik malzeme kullanılırken günümüzde bu oran %0-10'lara kadar gerilemiştir. Dünya toplam enerjisinin %40'ını yapım endüstrisi kullanmaktadır. Küresel ısınmada etkili bileşen karbondioksittir. Ahşap malzemesi gelişiminden itibaren yapılarda kullanım süresi boyunca sürekli havadaki karbondioksiti emer ve atmosfere salınımını engeller (Bostancıoğlu ve Düzgün Birer, 2004).

Kütle ahşap ürünlerinin kullanılmasından meydana gelen çapraz lamine ahşap yapılar betonarme, çelik ve yığma sistemlere alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Çapraz lamine ahşap 1990'lı yılların başında İsviçre'de tanıtılmış ve Avrupa'da konut ve sosyal tesislerde popülerlik kazanmış bir malzemedir. 1990'ların ortalarında Avusturya'da, modern çapraz lamine ahşabın geliştirilmesi ile ilgili endüstriyel ve akademik alanda çalışmalara başlanmıştır. Durađan geçen birkaç yılın ardından Avrupa, Amerika ve Kanada'da yeşil bina yaklaşımlarının etkisiyle çapraz lamine ahşap teknolojisi yaygınlaşarak ahşap bina yönetmeliklerinin yeniden düzenlenmesine neden olmuştur. Günümüzde çapraz lamine ahşap çok katlı yapılarda da kullanılabilir (Gagnon ve ark., 2013).

Çapraz lamine ahşap elemanların yüksek dayanım, stabilite ve rijitlik gibi özellikleri ahşap taşıyıcı sistemlerin çok katlı yapılarda da kullanılabilmesine imkân tanımıştır. Çapraz lamine ahşap çok katlı yapıların, diğer yapı türlerine göre daha hafif olması, yapıya etkileyen deprem yüklerini azalmaktadır. Çapraz laminasyon, yapısal olarak ahşabın zayıf yönlerini ortadan kaldırmaktadır. Ahşap malzemesinin büyüme halkalarına paralel taşımada yüksek değerlere sahip olmasına karşın büyüme halkalarına dikey yüklerde zayıf değerler almaktadır. Çapraz lamine ahşap paneller, her iki yönde yeterli taşıma gücünün sağlanabilmesi için katmanların birbirlerine dikey yönde yerleştirilmesi ile oluşturulmaktadır. Çapraz lamine ahşaptaki çapraz laminasyon, sisteme donatı etkisi sağlayarak parçaların ayrılma direncini önemli oranda artırmaktadır. Bu sistem çift yönlü betonarme döşemeye benzer bir şekilde iki doğrultuda yük aktarımını sağlamaktadır. Taşıyıcı sistem elemanı olarak çapraz lamine ahşap kullanımı, ahşabın ortotropik yapısından kaynaklanan zayıf yönünü ortadan kaldırmaktadır. Üretilen elemanlar liflere paralel ve dik yönlerde aynı dayanımı sağlamaktadır.

Oluşturulan bu paneller sayesinde niteliği düşük ağaçlar da kullanılabilir (Atik, 2022).

2. ÇAPRAZ LAMİNE AHŞAP

Tomruktan biçildikten sonra kurutularak veya kurutulmadan kullanılan ahşap malzemeye “masif ahşap” denilmektedir. Bu malzeme kaplama veya doldurma olmayan som ve saf ağaçtan oluşmaktadır. Genel olarak kereste, yonga, lif, talaş gibi ahşap malzemenin yapıştırıcı gibi bağlayıcı maddeler ile farklı şekillerde fabrika ortamında bir araya gelmesiyle oluşan yeni malzeme “endüstriyel ahşap malzeme” olarak isimlendirilmektedir. Endüstriyel ahşap malzeme, masif ahşap malzemeden daha yüksek değerlerde mekanik ve teknolojik özelliklere sahiptir (Güzel ve Yesügey, 2015). Ayrıca, masif ahşap malzemenin sakıncalarını taşımayan üstün nitelikli bir malzemedir. Endüstriyel ahşap teknolojisi, dünyada azalmakta olan orman kaynaklarının daha akılcı bir şekilde kullanılmasını sağlayarak gerekli nitelikte ürünler elde edilmesini sağlamaktadır.

Ahşabın mekanik özellikleri liflerine paralel doğrultuda yüksek değerler alırken, liflere dik doğrultuda bu değerler yeterli seviyede değildir. Ahşabın ortotropik yapısından kaynaklanan bu zayıf yönü, çapraz lamine ahşap elemanlarının kullanılması ile ortadan kalkmaktadır. Endüstriyel ahşap malzemesi olan çapraz lamine ahşap paneller (Şekil 1) genellikle üç veya daha fazla tabakadan oluşan, masif ahşap elemanların lif yönleri birbirine dik olacak biçimde geniş yüzeylerinden ve bazı durumlarda dar yüzeylerinden tutkal ile en az 0.6 MPa basınçla yapıştırılmış, mukavemetli boyutsal kararlılığa sahip ve rijit elemanlardır (Güzel ve Yesügey, 2015).



Şekil 1. Çapraz lamine ahşap konsepti ve çapraz lamine ahşap paneli (Pei ve ark., 2013)

Çapraz lamine ahşap dünya inşaat sektörü için yeni bir yapı malzemesidir. Kütle ahşap ürünlerinin kullanılmasıyla oluşan bu yapılar betonarme, çelik ve yığma yapı sistemlerine alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Çapraz lamine ahşap genellikle Avrupa’da konut ve sosyal tesislerde popülerlik kazanmış yenilikçi bir üründür.

2.1. Çapraz Lamine Ahşabın Avantajları

Çapraz lamine ahşaptaki çapraz laminasyon, sisteme donatı etkisi sağlayarak çapraz lamine ahşap parçalarının ayrılma direncini önemli oranda arttırmaktadır. Bu sistem çift yönlü betonarme döşemeye benzer bir şekilde iki doğrultuda yük aktarımını sağlamaktadır (Şekil 2). Çapraz lamine ahşap sistemler çelik, betonarme ve ahşap çerçeve yapılar ile rahatlıkla bütünleşebilmektedir.

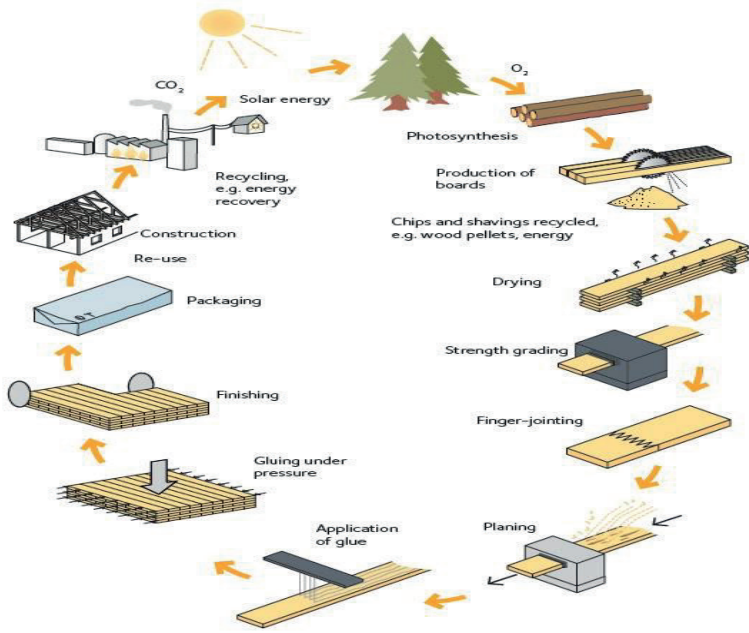


Şekil 2. İki yönlü yük aktaran çapraz lamine ahşap panel (Brenamann, 2016)

Çapraz lamine ahşap malzemesinden taşıyıcı veya taşıyıcı olmayan yapı elemanları üretilebilmektedir. Eğilme kapasitesinin yüksek olması nedeniyle yatay konumda döşeme olarak, kesme kapasitesinin çok yüksek olmasından dolayı dikey konumda perde duvar yapı elemanı olarak kullanılabilir. Duvar panelleri dinamik yüklere karşı oldukça dayanıklıdır. Hacimce betondan %75 daha hafiftir (Landreman, 2017). Panellerin tek parça olarak üretilebilmesi ve ahşap malzemenin doğal bir ısı ve ses yalıtım malzemesi olması çapraz lamine ahşabın önemli avantajlarıdır. Isıl verimlilik olarak betondan 15 kat çelikten ise 400 kat daha verimlidir (Waugh, 2018). Döşeme ve panellerin sürekliliği parmak eklemelerle sağlanır. Üretim şekli itibarıyla ince katmanlardan oluşması hatalı kısımların tespiti ve düzeltilmesi için büyük kolaylık sağlamaktadır. Bu sayede yapısal kusurlar en düşük seviyededir.

2.2. Çapraz Lamine Ahşabın Üretim Aşamaları

Başarılı bir çapraz lamine ahşap panel üretiminin parametreleri, kereste kalitesindeki tutarlılık ve yapıştırıcı bağının kalitesini etkileyen parametrelerin kontrolü olmaktadır. Montaj işlemi kullanılan donanımlara ve yapıştırıcı kalitesine bağlı olarak 15 ile 60 dakika arasında sürebilmektedir. Çapraz lamine ahşap için uygun özellikte keresteler seçilip dayanıklılığı kontrol edildikten sonra kerestelerden elde edilebilecek verimli boylar ve genişliklerine göre gruplandırılmaktadırlar. Yüzeylerin pürüzsüzlüğünü sağlamak için planyalama işlemi uygulanmaktadır. Panelleri oluşturmak için boylar eşit uzunlukta kesilmektedir. Yatay konumda oluşturulan ilk katmanın ardından ikinci katman için yüzeylere yapıştırıcı sürülmekte ve dikey olarak ikinci katman sıkıştırılarak birleştirme işlemi uygulanmaktadır. Panellere proje ölçülerine uygun şekilde kapı ve pencere boşlukları açılabilir. Şekil 3'te çapraz lamine ahşap üretim aşamaları görülmektedir.



Şekil 3. Çapraz lamine ahşap üretim aşaması ve karbon döngüsü (Gustafsson, 2019)

2.2.1. Kereste Kurutma

Tipik keresteler kullanılacak bölgeye bağlı olarak %12±%2 nem içeriğinde fırınlanmış olmalıdır (ANSI/APA PRG-320, 2018). Uygun nem içeriği boyutsal değişiklikleri ve yüzey çatlamalarını önlemektedir. Kerestelerin kurutulması için Şekil 4.a'daki gibi bir tesis kurulması gerekmektedir.

2.2.2. Parmak Eklemlili Birleşimler

İstenilen uzunlukları ve gerekli kaliteyi sağlamak için birleşimler birbirlerine geçebilecek şekilde parmak eklemlerden yapılmaktadır. Bu sayede kısa parçalardan daha kaliteli uzun parçalar meydana getirilerek kenetlenme sağlanmaktadır (Şekil 4.b).

2.2.3. Panel Üretimi

Panel ölçüleri üretici firmalar tarafından farklılık göstermektedir. Tipik genişlikler 0.6, 1.2 ve 2.95 metre (en çok 4 m'ye kadar) uzunluğu ise parmak eklemlili birleşimlerle beraber 24 metreye kadar ulaşabilmektedir (Cresspel ve Gagnon, 2010). Kalınlıkları ise tasarım yapılan sisteme göre değişmekte olup ANSI/APA PRG-320'de 508 mm değeri için sınırlandırılmıştır. Bu değer çapraz lamine ahşabın üretim ve nakliye sırasında alınabilecek üst limit olarak belirlenmiştir. Duvar olarak kullanılan panellerin dış katmanları dayanımın en yüksek düzeye çıkması

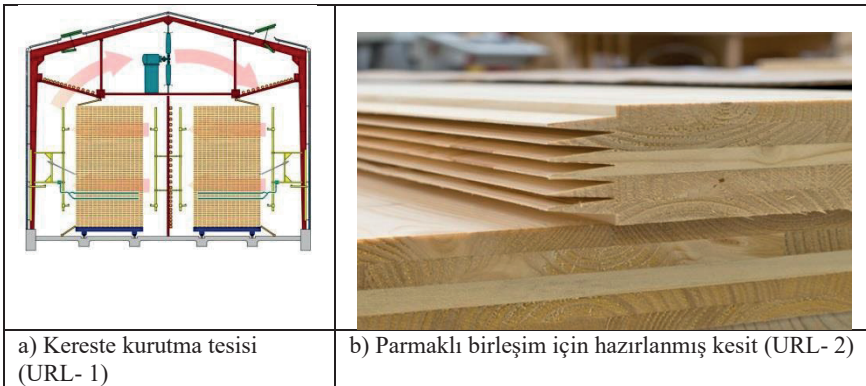
için büyüme halkalarının yönleri dikey olacak şekilde yüklere paralel olarak yapılmaktadır. Panellerin bir araya getirilmesi ile nihai genişlik elde edilmektedir. Yapıştırmanın yanı sıra tabakaları bağlamak için çiviler veya tahta dübeller kullanılabilir (Şekil 4.c).

2.2.4. Yapıştırma

Tutkal çapraz lamine ahşap için ikinci önemli malzemedir. Genellikle formaldehit ve solvent içermeyen poliüretan (PUR) yapıştırıcılar kullanılmaktadır (Şekil 4.d). Ayrıca yüz ve kenar kısımların yapıştırılmasında, fenol resorsinol formaldehit (PRF) ve emülsiyon polimer izosiyonat (EPI) içerikli yapıştırıcılar uygulanmaktadır (Gagnon ve Pirvu, 2011).

2.2.5. Sıkıştırma İşlemi

Sıkıştırma işlemi sırasında basıncın doğru ve homojen bir şekilde uygulanması gerekmektedir. Çapraz lamine ahşap üretimi için iki ana tip pres kullanılmaktadır. Bunlar "vakumlu pres" ve "hidrolik pres"lerdir. Presler, kullanılan panelin kalınlığına ve yapıştırıcıya bağlı olarak değişmektedir. Presler aracılığıyla dikey ve yanal basınç uygulanmaktadır (Şekil 4.e). Bir vakumlu pres teorik olarak 0.1 MPa maksimum sıkıştırma basıncı oluşturmaktadır. Rijit bir hidrolik pres bir vakum presine göre çok daha yüksek dikey ve yanal sıkıştırma için basınç üretebilmektedir. Masif parçalar arasındaki potansiyel boşlukları en aza indirmek amacıyla 0.55 MPa değerine kadar düşey presleme ile kenetleme basınç uygulanması tavsiye edilmektedir (Gustafsson, 2019). Montaj hızı, yapıştırıcının üreticisi tarafından önerilen donma süresinden daha kısa olmalıdır. Presleme sırasında ortam sıcaklığının 15 °C'den yüksek olması gerekmektedir (Lenon, 2015).



| | |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |
| <p>c) Panel üretim aşamaları (Stora Enso, 2015)</p> | <p>d) Katmanlar arası yapıştırıcı uygulaması (URL- 3)</p> |
|  |  |
| <p>e) Pres makinesi ile katmanların sıkıştırılması (URL- 4)</p> | <p>f) Birleştirilmiş panel yüzeylerinin makine aracılığıyla planyalanması ve zımparalanması (URL- 5)</p> |
|  |  |
| <p>g) Panellere CNC yönlendirici ile boşlukların açılması (URL- 6)</p> | <p>h) Delaminasyon testine tabi tutulmuş numuneler (Aicher ve Reinhardt, 2007)</p> |

Şekil 4. Çapraz lamine ahşabın üretim aşamaları

2.2.6. Planyalama ve Zımpara İşlemi

Yapıştırma ve sıkıştırma sonucu birleştirilen panellerin yüzeyel pürüzsüzlüğünü sağlamak için planyalama ve zımpara işlemleri yapılmaktadır (Şekil 4.f).

2.2.7. CNC Yönlendirici

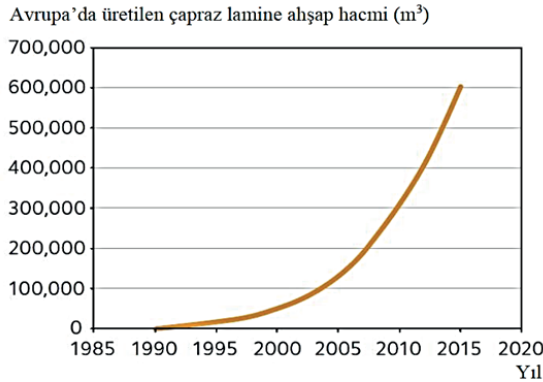
Panellere yüksek hassasiyet sağlayan CNC cihazlar ile pencere, kapı, bağlantı ve kanal boşlukları milimetrik olarak açılmaktadır. Şekil 4.g'de herhangi bir konfigürasyonda çalışan CNC makine gösterilmektedir.

2.2.8. Kalite Kontrol

Ürün standartlarında öngörülen gereksinimlere uygunluk fabrika ortamında kontrol edilmelidir. Ürünü temsil eden numuneler üzerinde yapılan kalite güvence testlerinin sonuçları beklenerek üretim yapılmalıdır. Numuneye eğilme dayanımı, kesme dayanımı ve delaminasyon testleri yapılmaktadır. Delaminasyon testi için numune suya doygun hale getirilmektedir. Daha sonra yapıştırıcı bağlarının ahşap büzülmesine ve şişme gerilmelerine karşı koyma kabiliyetini değerlendirmek için kurutulmaktadır. Şekil 4.h’de delaminasyon testi yapılmış numuneler görülmektedir (Aicher ve Reinhardt, 2007).

2.2.9. Marangozluk Tamamlama İşleri

Çapraz lamine ahşabın fabrika üretimindeki son aşamasıdır. Bu aşamada, ortaya çıkan çok katmanlı panellerin cilalaması yapılarak montaja hazır hale getirilmektedir. Çapraz lamine ahşabın estetik özellikleri tamamlanmaktadır. Fabrikaların üretim hacim değerleri yılda 4,000 m³ ile 71,000 m³ arasında değişmektedir. Her firmanın bulunduğu bölgede kullanılan ürün standardını baz aldığı kendi ürün standartları bulunmaktadır. Şekil 5’te Avrupa ülkelerinde çapraz lamine ahşap üretim hacminin yıllara göre dağılımı görülmektedir.



Şekil 5. Avrupa’da çapraz lamine ahşabın yıllara göre üretim hacmi (Gustafsson, 2019)

2.3. Çapraz Lamine Ahşabın Özellikleri

2.3.1. Çapraz Lamine Ahşabın Çevresel Performansı

Çapraz lamine ahşap malzemesi çevresel performans yönünden eşdeğer beton ve çelik yapılardan daha iyi özelliklere sahiptir. Kullanılan ahşaptan dolayı yenilenebilir, geri dönüştürülebilir ve geri kazanılabilir. Üretim süreçleri ve uygulaması esnasında minimum atıkla uygulaması gerçekleştirilmektedir. Taşıyıcı sistem elemanı olarak kullanıldığında yüksek derecede karbon depolamasıyla ve sürekli bir

döngü içerisinde, doğal bir malzeme olması çapraz lamine ahşabı çevre dostu kılar.

2.3.2. Çapraz Lamine Ahşabın Yangın Dayanımı

Çapraz lamine ahşap malzemesinin yangın dayanımının çelik ve betondan daha fazla olduğu deneylerle belirlenmiştir. Ahşap elemanların yangın esnasında yavaş yavaş kömürleşmesinden dolayı çapraz lamine ahşap panelleri yangına maruz kaldıklarında uzun süre yapısal kapasiteyi korumaktadırlar.

Duvar, döşeme ve çatı elemanı olarak kullanılan panellerin tabaka sayısını artırmak, tabaka kalınlığını artırmak veya yüzeylerini alçıyla kaplamak yangına karşı dirençlerini arttırmaktadır. Bununla ilgili Amerikan Ahşap Konseyi tarafından yapılan ASTM E119 Yangın Dayanıklılık Deneyi'nde 5 katmanlı 7 inç (178 mm) kalınlığında çapraz lamine ahşap panel kullanılmıştır. Çapraz lamine ahşap panelin hesaplamalara göre yangına karşı 2 saat dayanması öngörülürken 3 saat 6 dakika dayanım sağlamıştır (Dagenais ve ark., 2013).

2.3.3. Çapraz Lamine Ahşap Hakkında Mevcut Yönetmelikler

Amerika ve Kanada'da yürürlükte ANSI/APA PRG-320 ürün standardı çapraz lamine ahşap malzemesinin mekanik özellikleri ve ürün performansı için kullanılmaktadır. Bu standartta panel ölçüleri, toleransları, bileşen gereksinimleri, yapı performansı gereksinimleri ve kaliteleri yer almaktadır. Yapı tasarımında ise Amerika ve Kanada'da NDS (National Design Specification) ve IBC (International Building Code) standartları kullanılmaktadır. NDS'de tasarım için gerekli hesaplamalar, sınırlamalar, birleşim malzemesi hesapları yer almaktadır. IBC'de ise tasarım için bazı sınırlamalar verilmiştir.

3. ÇAPRAZ LAMİNE AHŞAP YAPILARA ÖRNEKLER

3.1. Murray Grove Binası

Murray Grove Binası inşa edildiği dönemde ahşap taşıyıcı sistemler kullanılarak yapılan dünyanın en yüksek binası olmuştur (Şekil 6). Bina, Londra'nın Hackney Semti'nde bulunan dokuz katlı bir konut binasıdır. Günümüzde en yüksek ahşap konut yapılarından biridir. Önceden üretilmiş çapraz lamine ahşap panellerden inşa edilmiş ilk yüksek katlı yapıdır. Sadece taşıyıcı duvarlar ve zemin döşemeleri değil merdivenler ve merkezi çekirdek perdeleri tamamen çapraz lamine ahşap panellerden oluşmaktadır. Çapraz destek bağlantısı kullanmadan ahşap çerçevesi yapı inşa etmek çok zordur. Malzemenin entegre çapraz laminasyonu sayesinde, yükler çapraz destek olmadan alt katlarda büyük daireler ve üst katta küçük daireler teşkil edilerek oluşturulmuştur. Toplam 2,352 m² kat alanına sahiptir. Binada 901 m³ ahşap panel kullanılmıştır. Çapraz lamine ahşap ürünü kullanarak tutulan 505 ton karbon, elektrik santrali

yerine çatısına yerleştirilen rüzgâr türbininin 210 yıl çalışmasıyla edilen tasarrufla eşdeğerdir. Tüm yapı çerçevesi 27 gün içerisinde dört kişi tarafından taşınabilir bir vinç ve elektrikli tornavida ile tamamlanmıştır. Bu örnek proje İngiltere’de çapraz lamine ahşabın tanıtımını sağlamış, uluslararası olarak ta yüksek katlı yapılarda çapraz lamine ahşap kullanımına öncülük etmiştir (Crespell ve Gagnon, 2010).



Şekil 6. Murray Grove binası (Vaugh, 2018)

3.2. Limnologen Konutları

Limnologen Konutları, İsveç’in ahşaptan imal edilmiş en büyük konut yerleşimi olma özelliğini taşımaktadır (Şekil 7). Mimari bir proje yarışmasında birinci olan Mimar Ola Malm’ın tasarımıdır. 8 katlı ve 4 bloktan oluşan bu konut yerleşiminin yapımı 2009 yılında tamamlanmıştır. İçerisinde 134 konutu barındıran bu yapıların toplam zemin alanı 10,700 m²’dir. Yapı için 4,800 m³ çapraz lamine ahşap kullanılmıştır. Yapıların zemin katı betonarme, üst katları ise çapraz lamine ahşap panellerden oluşmaktadır. Dairelerin içerisinde bulunan bölme duvarlar için geleneksel ahşap çerçeve sistemi kullanılmıştır. Binanın bütün yükleri dış duvarlar tarafından taşınmaktadır (Crespell ve Gagnon, 2010).



Şekil 7. Limnologen Konutları (Gassparri ve ark., 2015)

3.3. Open Academy Binası

Open Academy binası hibrit bir sistem olup ağırlıklı olarak yük taşıyan çapraz lamine ahşap panellerden inşa edilmiştir (Şekil 8). Döşeme ve yük taşıyıcı duvarlar çapraz lamine ahşap malzemeden tasarlanırken, geniş açıklıklı döşemelerde destek için yer yer çelik ve glulam kirişler kullanılmıştır. Taşıyıcı duvarlar estetik görünüm sağlaması açısından oval olarak imal edilmiştir. Kalınlığı 230 mm'den oluşan çapraz lamine ahşap paneller ile 7.62 metre açıklık geçilmektedir. Glulam kirişler üst kattaki yüklerin çapraz lamine ahşap duvarlara aktarılmasını sağlamaktadır. Yapının çatısı 12 adet eğimli glulam kemer üzerine oturmuş çapraz lamine ahşap malzemeden oluşmaktadır. Ahşap çerçevenin tamamının yapımı 16 hafta sürmüştür. 9,500 m² toplam kat alanından oluşmaktadır. Bünyesinde bulunan 3,500 m³ ahşap ile içerisine 2,335 ton karbon depolamaktadır (Waugh, 2018).



Şekil 8. Open Academy binası (URL- 7 ve URL-8)

3.4. Holz8 Binası

Holz 8 binası, mimar Schankula tarafından sıfır enerji harcayan bir kasaba oluşturmak düşüncesinden yola çıkarak tasarlanmıştır (Şekil 9). 2011 yılında Almanya'nın Bad Aibling şehrinde inşa edilmiştir. Bina 8 kattan ve 25 m yükseklikten oluşmaktadır. Her katında 2 daire bulunan bu binanın zemin ve 1. katı ofislerden meydana gelmektedir. Duvar, döşeme ve çatı bileşenleri prefabrik olarak getirilmiştir. Yüksek derecede

prefabrikasyon ile panellerin montajı 16 günde tamamlanmıştır. Ahşap taşıyıcı sistemde 570 m³ ladin ağacı kullanılmıştır. Her iki günde bir kat tamamlanmış ve yapımında 6 işçi çalışmıştır. Yapının merdiven çekirdeği yerinde dökme betonarmedir. Panellerin birbirine ve yapının betonarme bölümlerine bağlantıları çelik köşebent elemanlar ile sağlanmıştır. Dış duvarlar taşıyıcılık görevini üstlenip iç mekândaki duvarlar kullanıcının istekleri ve gereksinimleri doğrultusunda taşıyıcı olmayan bölme duvarlardan oluşmaktadır. Döşeme ve duvar panellerine uygulanan yalıtım çözümleri ve alçı panel kaplamalarla binanın yangın dayanım süresi 60 dakika olarak belirlenmiştir (Güzel ve Yesügey, 2015).



Şekil 9. Holz 8 binası (URL-9)

3.5. Bridport Konutu

Londra'nın Hackney Semt'i'nde inşa edilen Bridport konutu 2011 yılında tamamlanmıştır (Şekil 10). Bir bölümü 5, bir bölümü 8 kattan meydana gelen bu bina 25.6 m yüksekliğinde iki erişim çekirdeğinden oluşmaktadır. Bunlar binanın 5 ve 8 katlı bölümlerinde olup asansör boşluğu ve merdiven bulunmaktadır. İlk zemin katı çapraz lamine ahşaptan oluşan çok katlı yapı özelliği taşımaktadır. Toplam zemin alanı 4,154 m² olan bu yapının 1,576 m³ ahşap hacmiyle iskeleti 12 haftada tamamlanmıştır. Yapılacak bina alanı Victorian kanalizasyonu üzerinde bulunduğu için yeni binanın kanalizasyon üzerinde kalan bölümünde ağırlık sınırlanması getirilmesi gerekmiştir. Yıkılacak mevcut bina 21 daireden oluşup bu bina ağırlığının %10 daha fazla ağırlığında yeni bir bina yapılmasına izin verilmiştir. Yeni yapılacak binada, dairelerin sayısının mevcut binadakinin iki katı olması için daha hafif bir taşıyıcı sistem yapılması gerekmiştir. Bu problem çapraz lamine ahşap ile aşularak binanın Victorian kanalizasyonu üzerinde bulunan bölümü 5 katlı diğer bölümü ise 8 katlı tasarlanmıştır. Taşıyıcı sisteminde diğer çapraz lamine ahşap yapı örneklerinden farklı olarak dış duvarlar tüm yükseklik boyunca süreklilik sağlamaktadır. Döşeme panelleri katların taşıyıcı duvarlarının arasına tam geçmeyip 18 mm içlerine girerek dış taşıyıcı

duvarların sürekliliği bozulmamış olup döşeme ve duvar panelleri köşebentlerle monte edilmiştir. Bu yöntemle, çok katlı yapılarda duvar panellerinin döşeme panelleri üzerine oturtulduğu çözümlerle karşılaştırıldığında ahşap yapının toplamda büzülme değeri % 40 oranında azaltılmıştır (Zumbrunnen, 2013).



Şekil 10. Bridport konutu (URL- 10)

3.6. Forte Living Konutu

Forte Living konutu, 2012 yılında Avustralya'nın Melbourne kenti şehir merkezinde 10 katlı ve 32.17 m yüksekliğinde inşa edilmiştir (Şekil 11). Forte Living konutu dünyanın en yüksek ahşap binası ünvanını taşımaktadır. Tamamının yapılması 38 hafta sürmüş, çapraz lamine ahşap montajının 16 hafta süren inşaat süreci sonunda yapı 11 milyon ABD dolarına mal olmuştur. Her katında 3 daire toplamda 23 daire bulunan Forte Living binasının toplam zemin alanı 2,890 m²'dir. Zemin katı betonarmeden üst katları ise çapraz lamine ahşap taşıyıcı duvar ve döşemelerinden oluşmaktadır. Yapıda kullanılan duvar panellerinin kalınlığı 128 mm ve 158 mm döşeme panellerinin kalınlığı ise 146 mm'dir. Forte Living'in imalatçıları aynı tasarımla 25-30 katlı bir yapının yapılmasının mümkün olduğunu belirtmektedirler (Lend Lease, 2013).



Şekil 11. Forte Living konutu (Patterson, 2014)

3.7. Cennidi Cambiamento Konutları

2013 yılında İtalya Milano’da inşası tamamlanan Via Cenni projesi çapraz lamine ahşap kullanılarak ilk defa deprem bölgesinde inşa edilen yapı olma özelliği taşımaktadır (Şekil 12). Bu yapı çapraz lamine ahşabın İtalya inşaat sektöründe yer almasını sağlamıştır. Yalnızca bodrum katları betonarmeden oluşan her biri 9 katlı 4 blok ve 27 metre yükseklikten meydana gelmektedir. Bloklar birbirlerine ikişer katlı yapılar ile bağlanmaktadır. Bünyesinde 124 daire barındıran proje 17,000 m² alana oturup, 6,100 m³ çapraz lamine ahşap panelin kullanılmasıyla oluşturulmuştur (Bernasconi, A., 2018). Via Cenni projesinde çapraz lamine ahşap kullanımının amacı tasarımcıları tarafından deprem güvenliğini sağlamak, hızlı inşaat süreci, sürdürülebilirlik ve iyi yalıtım olarak gösterilmiştir (Abbado ve ark., 2015).



Şekil 12. Cennidi Cambiamento konutları (URL- 11)

3.8. Brock Commons Tallwood Binası

Bristish Columbia Üniversitesi kampüsünde bulunan 18 katlı ve 53 metre yüksekliğindeki UBC Brock Commons binası dünyanın en yüksek hibrit ahşap esaslı yapısıdır (Şekil 13). 2016 yılında tamamlanan bu yapı iki beton çekirdekten meydana gelmektedir. İki beton çekirdeğin inşası

14 hafta sürmüş olup, masif ahşap üst yapı ise 10 haftada tamamlanmıştır. Tasarımda çapraz lamine ahşap, zemin elemanları için kullanılmıştır. Kolonlar glulam malzemeden oluşmaktadır. Çapraz lamine ahşap paneller 5 katmandan oluşup 169 mm kalınlığındadır. Çapraz lamine ahşap malzeme kullanılarak kirişe olan ihtiyaç ortadan kaldırılmıştır. Yönetmelikte istenilen yangın dayanım süresine ulaşmak için glulam kolonlar alçıpanla kaplanmış, akustik koruma için de çapraz lamine ahşap zemin döşeme üstleri beton ile kaplanmıştır (Ostry, 2017).



Şekil 13. Brock Commons Tallwood binası (URL- 12)

4. ÇAPRAZ LAMİNE AHŞAP ELEMANLARIN YAPISAL TASARIMI

4.1. Çapraz Lamine Ahşap Elemanların Tasarım Değerleri için Düzeltme Katsayıları

Çapraz lamine ahşap elemanlarda diğer ahşap ürünlerde olduğu gibi özel koşullarda güvenliği sağlamak için çeşitli katsayılar kullanılmaktadır (Ross ve ark., 2013). Farklı tasarım değerlerinde kullanılan bu katsayılar NDS (2018) Tablo 5.3.1’de verilmektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Çapraz lamine ahşap için düzeltme katsayılarının uygulanabilirliği (NDS, 2018)

| | GKT (ASD)* | GKT (ASD) ve YDKT (LRFD)* | | | | | YDKT (LRFD)* | | |
|--------------------------------------------|------------|---------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------|
| | | Yükleme Süresi Katsayısı | Islaklık Hizmet Katsayısı | Sıcaklık Katsayısı | Kiriş Stabilite Katsayısı | Kolon Stabilite Katsayısı | Oturma Yüzeyi Katsayısı | Format Dönüşüm Katsayısı | Dayanım Katsayısı |
| | | | | | | | K_F | Φ | |
| $F_b(S_{eff})'_x = F_b(S_{eff})_x$ | C_D | C_M | C_t | C_L | - | - | 2.54 | 0.85 | λ |
| $F_t(A_{paratel})'_x = F_t(A_{paratel})_x$ | C_D | C_M | C_t | - | - | - | 2.70 | 0.80 | λ |
| $F_v(t_v)'_x = F_v(t_v)_x$ | C_D | C_M | C_t | - | - | - | 2.88 | 0.75 | λ |
| $F_s(Ib/Q)_{eff}'_x = F_s(Ib/Q)_{eff}_x$ | C_D | C_M | C_t | - | C_p | - | 2.40 | 0.90 | λ |
| $F_{c\perp}(A)'_x = F_{c\perp}(A)_x$ | | C_M | C_t | - | - | C_b | 1.67 | 0.90 | λ |
| $(EI)'_{app}_x = (EI)_{app}_x$ | - | C_M | C_t | - | - | - | - | - | - |
| $(EI)'_{app-min}_x = (EI)_{app-min}_x$ | - | C_M | C_t | - | - | - | 1.76 | 0.85 | - |

*YDKT: yük ve dayanım katsayıları ile tasarım, GKT: güvenlik katsayıları ile tasarım

4.1.1. Yüklem Süresi Katsayısı

Yüklem süresi katsayısı sadece güvenlik katsayılarıyla tasarım yöntemi (GKT/ASD) ile tasarımda geçerli olmaktadır. Bu katsayı ile ahşabın kısa süreli yüklemelerde daha yüksek dayanım değerleri vermesi sağlanmaktadır.

4.1.2. Islaklık Hizmet Katsayısı

Islak ve kuru koşullara maruz kalan ahşap bir eleman, sürekli kuru ortamda bulunan ahşap elemandan daha önce bozularak dayanımını yitirmektedir. Islaklık hizmet katsayısı ahşabın dayanım özelliklerini, uygun kuru şartların bulunmadığı durumlarda gerekli katsayılarla çarparak dayanım için gerekli şartları sağlamaktadır. Kuru hizmet koşulları, yapısal yapıştırılmış lamine ahşap için çoğu kapalı yapıda olduğu gibi hizmet koşullarında "%16'dan az nem içeriği" olarak

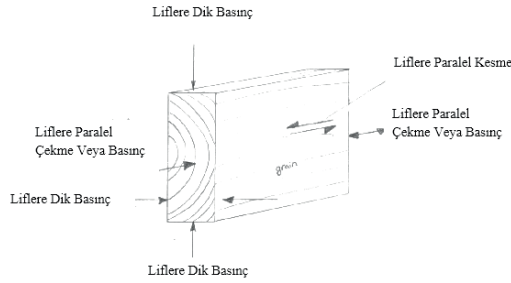
tanımlanmaktadır. PRG-320 (2018)'e göre üretim sırasında laminasyonların nem içeriğinin %15'ten fazla olmaması gerekmektedir. Panellerin çoğu kuru hizmet koşullarında kullanılmak üzere üretilmektedir.

4.1.3. Sıcaklık Katsayısı

Çapraz lamine ahşap malzemede kullanılan yapıştırıcı ve ahşap malzemeden dolayı sıcaklık 150 °F (66 °C) üzerine çıktığında malzeme dayanım özelliklerini yitirmektedir. Sıcaklık katsayısı 150 °F (66 °C) üzerine sıklıkla çıkan ve bu olayın sürekli tekrarlandığı ortamlarda uygulanmış çapraz lamine ahşap malzemeler için dikkate alınmaktadır.

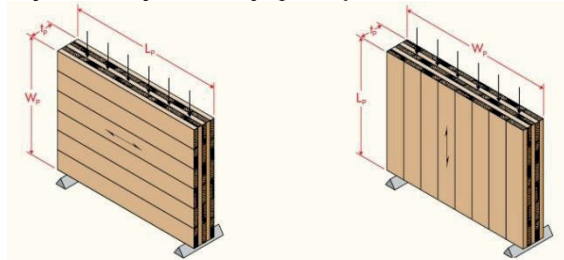
4.1.4. Çapraz Lamine Ahşap Panellerde Yükleme

Masif kereste ürünlerde malzemenin yönüne göre dayanım özellikleri farklılık göstermektedir. Yükler ağaçlarda bulunan büyüme halkalarına paralel yüklendiğinde malzemenin taşıma gücü yüksek değerler almaktadır. Bu halkalara dik yükler uygulandığında ise taşıma gücü ihmal edilebilecek kadar azalmaktadır. Şekil 14'te çapraz lamine ahşap panellerde gerilme yönleri görülmektedir.

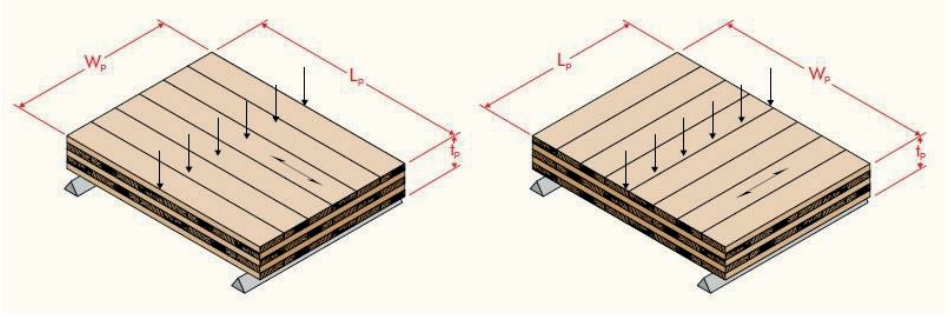


Şekil 14. Çapraz lamine ahşap panellerde gerilme yönleri (Nolan, 2010)

Çapraz laminasyon bu zayıflığı gidererek malzemenin her iki yönünde yükleme yapıldığında yüksek dayanım değerleri almasını sağlamaktadır. Şekil 15 ve Şekil 16'da PRG-320 (2018)'de 5 katmanlı duvar ve döşeme paneline farklı yönlerde yükleme yapılmıştır.

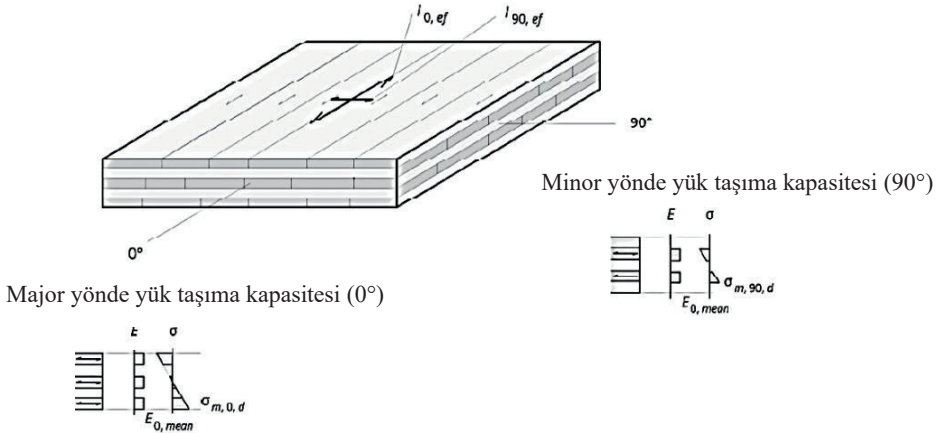


Şekil 15. Basit mesnetli düşey yerleştirilmiş panele major ve minor eksenlerinden yükleme (ANSI/APA PRG-320, 2018)

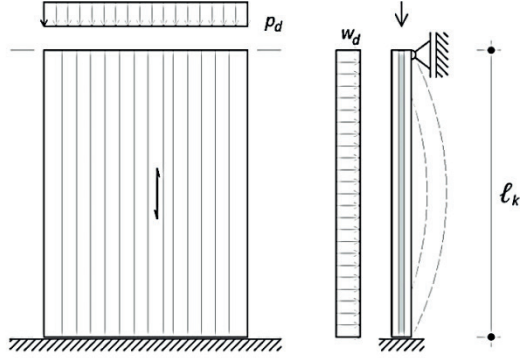


Şekil 16. Yatay konumlandırılmış panele major ve minor eksenlerinden yükleme (ANSI/APA PRG-320, 2018)

Şekil 15 ve Şekil 16’da gösterilen 5 katmanlı panellerin 1., 3. ve 5. katmanları aynı yönde bulunup 2. ve 4. katmanları diğer üç katmana dik olarak çalışmaktadır. Yükleme durumunda eğilmeye çalışan kuvvetli eksene major eksen, ayrılmaya çalışan eksene de minor eksen adı verilmektedir. Tasarım, Şekil 15 ve Şekil 16’da olduğu gibi major ekseninde çalışan katman sayısı daha fazla olacak biçimde yapılmaktadır. Major ekseninde bulunan katmanların dayanım değerleri daha yüksek olurken minor ekseninde ise bu değer çok daha az olup çoğu zaman yapılan hesaplara dâhil edilmemektedir (Şekil 17).



Şekil 17. Major ve minor yönde yük taşıma kapasitesine sahip çapraz lamine ahşap döşeme elemanı (Wallner-Novak ve ark, 2014)



Şekil 18. Basınç durumunda major eksende çalışan duvar detayı (Wallner-Novak ve ark, 2014)

Tabanından çapraz lamine ahşap döşemeye sabitlenmiş Şekil 18’de verilen duvar elemanı üzerine gelen yüklerden ve yanal etkiden dolayı üniform yüklere maruz kalmaktadır. Birbirlerine dikey olarak yerleştirilen çapraz lamine ahşap laminasyonlar tek sayılı katmanlarda oluşmaktadır (3, 5, 7 gibi). Duvar tasarımında Şekil 18’de gösterildiği gibi yüke paralel yerleştirme yapılmalıdır. Yüke paralel katmanların sayısı fazla tutulup düşey yükte major eksen, yanal etkiler içinde minor eksen oluşturulmaktadır.

İki yönlü çalışan bir çapraz lamine ahşap elemanda farklı yönlerde katmanların major ve minor eksenleri değişmektedir. Bu yönler için hesapta kullanılan dayanım değerleri çapraz lamine ahşap üreticileri tarafından sağlanmaktadır. Amerika ve Kanada için bu değerler PRG-320 (2018)’de verilmiştir (Tablo 2). Bu tabloda E1, E2, E3, V1, V2, V3 çapraz lamine ahşap malzeme sınıflarını göstermektedir.

Çapraz lamine ahşap malzeme sınıfları (E1, E2, E3, V1, V2, V3) kullanılan ağacın cinsine ve üretim şekline göre belirlenmektedir. Tablo 2’deki, F_b : malzemenin eğilme dayanımı, E : malzemenin elastisite modülü, F_t : çekme gerilmesi dayanımı, F_c : basınç gerilmesi dayanımı, F_v :kesme gerilmesi dayanımı, F_s :katmanların ayrılma dayanımıdır.

Tablo 2. Laminasyonlar için GKT (ASD) yöntemi referans dizayn değerleri
(ANSI/APA PRG-320, 2018)

| CLT Cinsi | Major Dayanım Yönünde Kullanılan Laminasyonlar | | | | | | Minor Dayanım Yönünde Kullanılan Laminasyonlar | | | | | |
|--------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | F _b (psi) | E ^d (10 ⁶ psi) | F _t (psi) | F _c (psi) | F _v (psi) | F _s (psi) | F _b (psi) | E ^d (10 ⁶ psi) | F _t (psi) | F _c (psi) | F _v (psi) | F _s (psi) |
| E1 | 1950 | 1.7 | 1375 | 1800 | 135 | 45 | 500 | 1.2 | 250 | 650 | 135 | 45 |
| E2 | 1650 | 1.5 | 1020 | 1700 | 180 | 60 | 525 | 1.4 | 325 | 775 | 180 | 60 |
| E3 | 1200 | 1.2 | 600 | 1400 | 110 | 35 | 350 | 0.9 | 150 | 475 | 110 | 35 |
| E4 | 1950 | 1.7 | 1375 | 1800 | 175 | 55 | 450 | 1.3 | 250 | 725 | 175 | 55 |
| V1 | 900 | 1.6 | 575 | 1350 | 180 | 60 | 525 | 1.4 | 325 | 775 | 180 | 60 |
| V2 | 875 | 1.4 | 450 | 1150 | 135 | 45 | 500 | 1.2 | 250 | 650 | 135 | 45 |
| V3 | 750 | 1.4 | 450 | 1250 | 175 | 55 | 450 | 1.3 | 250 | 725 | 175 | 55 |

4.2. Döşeme Boyutlandırması

Çapraz lamine ahşap elemanlarda döşeme boyutlandırması aşamasında eğilme dayanımı, sehim hesabı ve titreşim kontrolü yapılmaktadır.

4.2.1. Eğilme Etkisinde Döşemenin Boyutlandırması

Döşeme hesabında, sisteme gelen toplam düşey yük belirlenerek döşeme birim genişlikte basit mesnetli kiriş şeklinde dikkate alınmaktadır. Öncelikle toplam yük W_{Toplam} belirlenmektedir.

$$W_{Toplam} = W_{zati} + W_{hareketli} \quad (1)$$

Zemine gelen toplam yük belirlendikten sonra taban panelindeki yükleme sonucu oluşan maksimum moment Denklem 2 ile bulunmaktadır.

$$M_{max} = \frac{W_{Toplam} * L^2}{8} \quad (2)$$

Burada maksimum moment M_{max} , lb. ft/ft birimlerinden oluşmakta, W_{Toplam} ise toplam gelen yük olup 1ft birim genişliğe düşen yük olarak ifade edilmektedir. 1 ft birim genişliğe düşen yüke şerit yük adı verilmektedir. L ise eğilme etkisinde hesaplanan döşemenin uzunluğudur. Çapraz lamine ahşap panellerin eğilme dayanımlarını belirlemek için NDS (2018) Bölüm 10 ve Çapraz Lamine Ahşap Kılavuzu: Bölüm 3 (Gagnon ve Pirvu, 2011) kullanılmaktadır. Malzemenin eğilme dayanımı ise Denklem 3 ile hesaplanmaktadır.

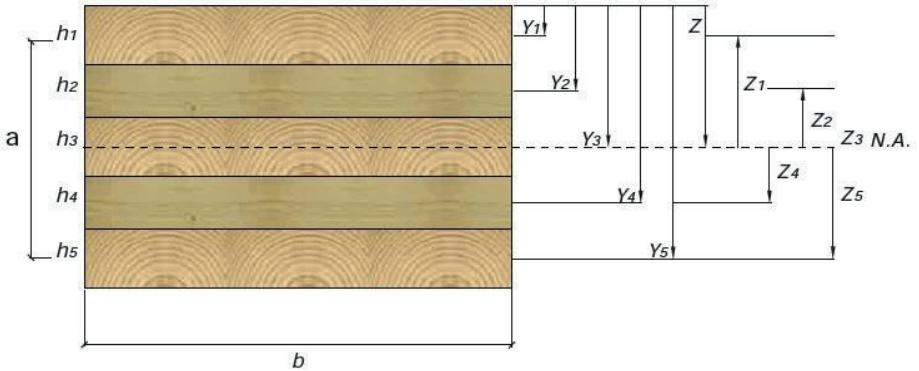
$$M_b = 0.85 * F_b * S_{eff} \quad (3)$$

Burada, M_b : herhangi bir etkiye maruz kalmamış malzemenin eğilme momenti dayanımıdır. F_b : üretici tarafından sağlanan PRG-320'de verilen

malzemenin gerilme dayanımı, S_{eff} malzemenin efektif kesit modülüdür. 0.85 değeri ise PRG-320’de verilen eğilme momenti dayanımı bulurken kullanılacak güvenlik katsayısıdır. S_{eff} , efektif eğilme rijitliğinin (EI_{eff}), elastisite modülü E ve toplam panel kalınlığının yarısının ($h/2$) çarpımına bölünerek Denklem 4 ile hesaplanmaktadır.

$$S_{eff} = \frac{EI_{eff}}{E * \frac{h}{2}} \quad (4)$$

Efektif eğilme rijitliği EI_{eff} hesaplanırken, i tabakasının elastisite modülü E_i , 1 ft genişlikte hesap yapıldığı için $b_i = 12 \text{ in. (1 ft)}$ olarak alınacaktır. i tabakasının kalınlığı h_i olup, A_i : i tabakasının kesit alanı, z değeri ise çapraz lamine ahşap panelinin merkezinden i tabakasının merkezine olan mesafedir. Eğilme yönünün minor eksen olduğu 2. ve 4. katmanlar zayıf dayanım gösterecekleri için o katmanların elastisite modülü E_i , PRG-320 (2018)’e göre 30’a bölünmektedir. Şekil 19’da efektif eğilme rijitliğini bulmak için gerekli değerler görülmektedir. Efektif eğilme rijitliği denklem 19 ile hesaplanmaktadır.



Şekil 19. Efektif eğilme rijitliğini bulmak için gereken değerler- 5 katmanlı panel

$$EI_{eff} = \sum_{i=1}^n E_i * b_i * \frac{h_i^3}{12} + \sum_{i=1}^n E_i * A_i * z_i^2 \quad (5)$$

Çapraz lamine ahşap malzeme bulunduğu ortama ve koşullara göre gerekli katsayılarla çarpılarak izin verilebilir tasarım momenti dayanımı M'_b Denklem 6 ile belirlenmektedir.

$$M'_b = F_b * S_{eff} * C_D * C_M * C_t * C_L \quad (6)$$

İzin verilebilir tasarım momenti M'_b , sisteme gelen yüklerin oluşturduğu M_{max} momentiyle kıyaslanarak seçilen kesitin etkiyen yükleri karşılaması beklenmektedir.

$$M_{max} \leq M'_b \quad (7)$$

4.2.2. Şehim Hesabı

Çapraz lamine ahşap panellerin tek parça üretilmesi ve sürekliliği sağlamadaki parmak eklemler geniş açıklıkların geçilmesini sağlamaktadır. Betonarme döşemelerde olduğu gibi çapraz lamine ahşap döşemelerde de açıklık ortasında düşey deplasman-şehim hesabı yapılmaktadır. Şehim döşemeler için kritik bir durum teşkil ettiğinden çapraz lamine ahşap döşemelerin boyutlandırılmasında dikkate alınması gereken bir sınır durumdur. Şehimi azaltmak için tabakaların kalınlığı veya katman sayılarında artış yapılabilmektedir.

Şehim hesabını yapabilmek için öncelikle efektif kayma rijitliği GA_{eff} değerinin bulunması gerekmektedir. Efektif kayma rijitliği GA_{eff} , Çapraz Lamine Ahşap Kılavuzu'nda Kesme Analojisi Yöntemi kullanılarak bulunmaktadır (Denklem 8). G_i katmanların kayma rijitlik modülü major eksen için $G_0 = E_{major}/16$ olarak, minor eksen için ise $G_{90} = E_{minor}/160$ olarak verilmektedir (Ross ve ark., 2013). Burada a değeri Denklem 9 ile hesaplanmaktadır. Şekil 20'de 5 katmanlı bir panelde a değeri görülmektedir.

$$GA_{eff} = \frac{\alpha^2}{\left[\left(\frac{h_1}{2 \cdot G_1 \cdot b} \right) + \left(\sum_{i=2}^{n-1} \frac{h_i}{G_i \cdot b_i} \right) + \left(\frac{h_n}{2 \cdot G_n \cdot b} \right) \right]} \quad (8)$$

$$a = h_{toplam} - \frac{h_1}{2} - \frac{h_n}{2} \quad (9)$$



Şekil 20. 5 katmanlı panelde a değeri

Teorik hesaplaması gösterilmiş olan efektif eğilme rijitliği: EI_{eff} ve efektif kayma rijitliği: GA_{eff} Tablo 3'te hazır olarak verilmektedir.

Tablo 3. Laminasyonlar için GKT (ASD) yöntemi referans dizayn değerleri (ANSI/APA PRG-320, 2018)

| CL T Tipi | Katman Sayısı | Katma n Kalınlığı | Major Dayanım Yönü | | | | Minor Dayanım Yönü | | | |
|-----------------|------------------|-------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------|
| | | | $F_b S_{eff,0}$ (lb.f/ft) | $E I_{eff,0}$ ($\times 10^6$) (lb.in ² /ft) | $GA_{eff,0}$ (lb/ft) | $V_{s,0}$ (lb/ft) | $F_b S_{eff,90}$ (lb.f/ft) | $E I_{eff,90}$ ($\times 10^6$) (lb.in ² /ft) | $GA_{eff,90}$ ($\times 10^6$) (lb/ft) | $V_{s,90}$ (lb/ft) |
| E1 | 3 | 1 3/8 | 4,525 | 115 | 0.46 | 1,430 | 160 | 3.1 | 0.61 | 495 |
| | 5 | 1 3/8 | 10,400 | 440 | 0.92 | 1,970 | 1,370 | 81 | 1.2 | 1,430 |
| | 7 | 1 3/8 | 18,375 | 1,089 | 1.4 | 2,490 | 3,125 | 309 | 1.8 | 1,960 |
| E2 | 3 | 1 3/8 | 3,825 | 102 | 0.53 | 1,910 | 165 | 3.6 | 0.56 | 660 |
| | 5 | 1 3/8 | 8,825 | 389 | 1.1 | 2,625 | 1,430 | 95 | 1.1 | 1,910 |
| | 7 | 1 3/8 | 15,600 | 963 | 1.6 | 3,325 | 3,275 | 360 | 1.7 | 2,625 |
| E3 | 3 | 1 3/8 | 2,800 | 81 | 0.35 | 1,110 | 110 | 2.3 | 0.44 | 385 |
| | 5 | 1 3/8 | 6,400 | 311 | 0.69 | 1,530 | 955 | 61 | 0.87 | 1,110 |
| | 7 | 1 3/8 | 11,325 | 769 | 1.0 | 1,940 | 2,180 | 232 | 1.3 | 1,520 |
| E4 | 3 | 1 3/8 | 4,525 | 115 | 0.50 | 1,750 | 140 | 3.4 | 0.62 | 605 |
| | 5 | 1 3/8 | 10,400 | 440 | 1.0 | 2,410 | 1,230 | 88 | 1.2 | 1,750 |
| | 7 | 1 3/8 | 18,400 | 1,089 | 1.5 | 3,050 | 2,800 | 335 | 1.9 | 2,400 |
| V1 | 3 | 1 3/8 | 2,090 | 108 | 0.53 | 1,910 | 165 | 3.6 | 0.59 | 660 |
| | 5 | 1 3/8 | 4,800 | 415 | 1.1 | 2,625 | 1,430 | 95 | 1.2 | 1,910 |
| | 7 | 1 3/8 | 8,500 | 1,027 | 1.6 | 3,325 | 3,275 | 360 | 1.8 | 2,625 |
| V2 | 3 | 1 3/8 | 2,030 | 95 | 0.46 | 1,430 | 160 | 3.1 | 0.52 | 495 |
| | 5 | 1 3/8 | 4,675 | 363 | 0.91 | 1,970 | 1,370 | 81 | 1.0 | 1,430 |
| | 7 | 1 3/8 | 8,275 | 898 | 1.4 | 2,490 | 3,125 | 309 | 1.6 | 1,960 |
| V3 | 3 | 1 3/8 | 1,740 | 95 | 0.49 | 1,750 | 140 | 3.4 | 0.52 | 605 |
| | 5 | 1 3/8 | 4,000 | 363 | 0.98 | 2,420 | 1,230 | 88 | 1.0 | 1,750 |
| | 7 | 1 3/8 | 7,100 | 899 | 1.5 | 3,050 | 2,800 | 335 | 1.6 | 2,400 |

Sehim hesabında gerekli güvenliği sağlamak için efektif eğilme rijitliğinde azaltma yapılması gerekmektedir. Bu azaltma ile efektif eğilme rijitliği, "belirgin eğilme rijitliğine" dönüştürülmektedir. Bunun için Denklem 10 kullanılmaktadır. Denklemde verilen K_s kayma deformasyon katsayısı olup Tablo 4'ten elde edilmektedir. Genellikle üniform yükleme ve sabit uç için 11.5 olarak alınmaktadır. L ise döşemenin uzunluğudur.

$$EI_{app} = \frac{EI_{eff}}{1 + \frac{K_s EI_{eff}}{GA_{eff} L^2}} \quad (10)$$

Tablo 4. Kesme deformasyon düzeltme katsayıları, K_s (NDS, 2018)

| Yükleme | Bir Ucu Mesnetlenmesi | K_s |
|-----------------------------|-----------------------|-------|
| Üniform Yayılı Yük | Sabit Mesnet | 11.5 |
| | Ankastre Mesnet | 57.6 |
| Açıklık Ortasında Tekil Yük | Sabit Mesnet | 14.4 |
| | Ankastre Mesnet | 57.6 |
| 1/4 Noktalardaki Tekil Yük | Sabit Mesnet | 10.5 |
| Sabit Moment | Sabit Mesnet | 0 |
| Üniform Yayılı Yük | Konsol | 4.8 |
| Serbest Uçta Tekil Yük | Konsol | 3.6 |
| Kolon Burkulması | Sabit Mesnet | 11.8 |
| | Ankastre Mesnet | 47.4 |

Belirgin eğilme rijitliği (Denklem 10) sehim denkleminde yerine koyularak döşemenin yaptığı sehim bulunmaktadır (Denklem 11). Burada W , duvara gelen üniform yayılı yükü ifade etmektedir. Sehim denkleminde $W/12$ şeklinde yazılarak inç biriminde kullanılabilir. L ise inç biriminden sehimin oluşacağı döşemenin uzunluğudur.

$$\Delta_{max} = \frac{5}{384} \frac{W * L^4}{EI_{app}} \quad (11)$$

Tablo 5. Döşeme sehim sınırları (IBC, 2018)

| YAPI ELEMANI | L veya L_r | S veya W^f | $D+L^{d,g}$ |
|-------------------|--------------|--------------|-------------|
| Döşeme Elemanları | $l/360$ | - | $l/240$ |

Çatı ve hareketli yüklemeler sonucu oluşan sehim Δ_{st} , Tablo 5'teki döşeme elemanları için uygulanan sehim sınır şartları dikkate alınarak sınırlandırılmaktadır (Denklem 12).

$$\frac{5}{384} \frac{W_{Live} * L^4}{EI_{app}} \leq \frac{L}{360} \quad (12)$$

Uzun süreli yüklemelerdeki sehim hesabı ise NDS ve IBC yönetmeliklerinin ikisi kullanılarak yapılmaktadır. Uzun süreli yükleme sonucu döşemede oluşan sünme ve hareketli anlık yüklemenin oluşturduğu toplam sehim, sünme değerinin NDS (2018) Bölüm 3.5.2'de çapraz lamine ahşap için verilen $K_{cr}=2.0$ değeriyle çarpılıp (Denklem 13), Tablo 5'te bulunan sınır şartı ile karşılaştırılmaktadır (Denklem 14).

$$\Delta_{Toplam} = K_{cr} * \Delta_{LT} + \Delta_{st} \quad (13)$$

$$2 * \frac{5}{384} \frac{W_{Dead} * L^4}{EI_{app}} + \frac{5}{384} \frac{W_{Live} * L^4}{EI_{app}} \leq \frac{L}{240} \quad (14)$$

4.2.3. Titreşim İçin Döşemelerin Boyutlandırması

Titreşim için tasarım, Çapraz Lamine Ahşap Kılavuzu 7. Bölüm'e (Gagnon ve Pirvu, 2011) göre yapılmaktadır. Maksimum açıklık l_{max} şu şekilde verilmektedir (Denklem 15).

$$l_{max} = \frac{1}{12.05} \frac{(EI_{app})^{0.293}}{(\rho * A)^{0.122}} \quad (15)$$

EI_{app} açıklık yönünde belirgin eğilme rijitliği, ρ ise çapraz lamine ahşap malzemesinin yoğunluğu olup 1.0625 katsayısı ile çarpılmaktadır. A, 1 ft birim genişliğindeki bir çapraz lamine ahşap bölümünün kesit alanıdır.

4.3. Taşıyıcı Duvar Boyutlandırması

Tasarımı yapılan taşıyıcı duvarın boyutu basınç ve eğilme dayanımları hesaplanarak belirlenmektedir.

4.3.1. Efektif Duvar Basınç Kapasitesi

Efektif duvar basınç kapasitesi bulunurken öncelikle basıncın büyüme halkalarına paralel olduğu laminasyonların alanları bulunmaktadır (Denklem 16). Hesaplar 1 ft birim genişlik için yapılmaktadır. Burada s, paralel laminasyon sayısı, n ise bir katmanın kalınlığı olmaktadır.

$$A_{paralel} = s * n * 1 \quad (16)$$

Efektif duvar basınç kapasitesi ise çapraz lamine ahşap malzemesinin basınç gerilmesi dayanımı $F_{c,0}$ ve paralel laminasyonların alanları $A_{paralel}$ çarpılarak bulunmaktadır (Denklem 17).

$$P_c = F_{c,0} * A_{paralel} \quad (17)$$

4.3.2. Belirgin Eğilme Rijitliği

Belirgin taşıyıcı duvar kapasitesi bulunurken belirgin eğilme rijitliği için NDS Denklem 10.4.1 kullanılmaktadır (Denklem 18). Denklemde verilen K_s : kayma deformasyon katsayısı Tablo 4'ten elde edilmektedir. Kolon burkulması ve sabit mesnetlenme durumu için 11.8 olarak alınmaktadır.

$$EI_{app} = \frac{EI_{eff}}{1 + \frac{K_s EI_{eff}}{GA_{eff} L^2}} \quad (18)$$

Burada EI_{eff} çapraz lamine ahşap malzemesinin eğilme rijitliği, GA_{eff} çapraz lamine ahşap malzemesinin kayma rijitliği olup L ise taşıyıcı duvarın yüksekliğidir.

4.3.3. Minimum Eğilme Rijitliği

Denklem 18 ile bulunan belirgin eğilme rijitliğinin duvarın burkulma tasarımında kullanabilmesi için ortalama EI_{app} 'in minimum değeri Çapraz Lamine Ahşap Kılavuzu'nda (Gagnon ve Pirvu, 2011) verilen katsayıyla çarpılarak kullanılmaktadır (Denklem 19).

$$EI_{app-min} = 0,5184 * EI_{app} \quad (19)$$

4.3.4. Burkulma Kapasitesi

Kolon stabilite katsayısı, bir kolonun burkulmaya olan eğilimini göstermektedir. Çapraz lamine ahşap eleman, bir plakadan oluştuğu için burkulma sadece düzlem dışı yönde kontrol edilmektedir. NDS Denklem 3.7-1'den kolon stabilite faktörü C_p bulunmaktadır (Denklem 20). Bu denklemdeki P_{CE} değeri, Euler kritik burkulma gerilmesi denklemi kullanılarak belirlenmektedir (Denklem 21).

$$C_p = \frac{1 + \frac{P_{CE}}{P_c^*}}{2c} - \sqrt{\left[\frac{1 + \frac{P_{CE}}{P_c^*}}{2c} \right]^2 - \frac{P_{CE}}{c}} \quad (20)$$

$$P_{CE} = \frac{\pi^2 * EI'_{app-min}}{L^2} \quad (21)$$

P_c^* ise referans basınç tasarım değeri olup efektif taşıyıcı duvar basınç kapasitesinin C_p hariç bütün düzeltme katsayıları ile çarpılmasıyla bulunmaktadır (Denklem 22).

$$P_c^* = P_c * C_D * C_M * C_t \quad (22)$$

Denklem 23'teki c değeri ise NDS (2018) 3.7.1'de çapraz lamine ahşap yapılar için 0.9 olarak verilmiştir. Denklemi basitleştirmek için P_{CE}/P_c^* yerine α_c yazılarak kolon stabilite katsayısı Denklem 23'teki şekle getirilmektedir.

$$C_p = \frac{1 + \alpha_c}{2c} - \sqrt{\left[\frac{1 + \alpha_c}{2c} \right]^2 - \frac{\alpha_c}{c}} \quad (23)$$

4.3.5. Düzeltilmiş Basınç Kapasitesi

Düzeltilmiş basınç kapasitesi P'_c Denklem 24'ten bulunmaktadır. Bu değer seçilen çapraz lamine ahşap kesitinin boyutuna ve koşullara göre hesaplanmış genel basınç dayanım kapasitesidir. P'_c değeri, taşıyıcı duvara uygulanan toplam yükü karşılaştırılarak duvarın uygulanan yükleri taşınması istenmektedir (Denklem 25).

$$P'_c = P_c * C_p \quad (24)$$

$$P'_c \geq P_{Load} \quad (25)$$

4.3.6. Düzeltilmiş Eğilme Kapasitesi

Duvar yüzeyine etki eden yanal rüzgâr yükünden dolayı sistemde moment oluşmaktadır (Denklem 26).

$$M = \frac{W_{wind} * L^2}{8} \quad (26)$$

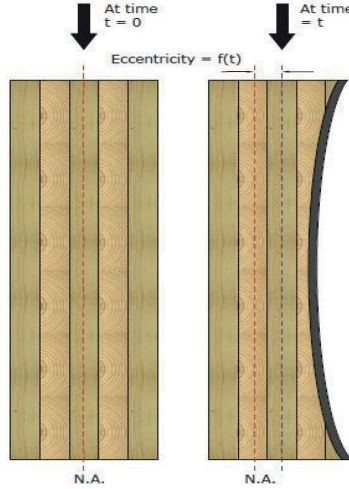
Çapraz lamine ahşap malzemesinin seçilen kesite göre PRG-320'den alınan eğilme kapasitesi $F_b S_{eff,0}$, gerekli düzeltme katsayılarıyla çarpılarak, düzeltilmiş eğilme kapasitesi Denklem 27 ile elde edilmektedir.

$$F'_b S_{eff,0} = F_b S_{eff,0} * C_D * C_M * C_t * C_L \quad (27)$$

4.3.7. Bileşik Etkiler Altında Kapasite

Yüklenmiş taşıyıcı duvar üzerinde moment oluşturacak yükler varsa NDS Denklem 15.4-3'ün Çapraz Lamine Ahşap Kılavuzu Bölüm 3'te (Gagnon ve Pirvu, 2011) çapraz lamine ahşap için gerilme girdilerinin değiştirilmesiyle Denklem 28 elde edilmektedir.

$$\frac{P_{Load}}{P'_c} + \frac{M_{max}}{F_b S'_{eff} \left(1 - \frac{P_{Load}}{P_{cE}}\right)} < 1 \quad (28)$$



Şekil 21. Basınca maruz duvar elemanı ve yangın sonrası kömürleşerek kesiti azalan duvar elemanı (Gagnon ve Pirvu, 2011)

Eğer yangın durumunda kesit ölçülerinde kayıp oluşup ağırlık merkezinin yeri değişiyorsa yük eksantirik olarak etki etmekte ve bu eksantirisite sistemde moment oluşturmaktadır (Şekil 21). Burada $\Delta P = P_{Load} * e$ olup kapasite Denklem 29 ile hesaplanmaktadır.

$$\frac{P_{Load}}{P'_C} + \frac{\Delta P \left(1 + 0.234 \frac{P_{Load}}{P_{CE}}\right)}{F_b S'_{eff} \left(1 - \frac{P_{Load}}{P_{CE}}\right)} < 1 \quad (29)$$

4.4. Yangına Göre Tasarımı

Çapraz lamine ahşap yapıların Amerika, Kanada ve Avrupa'da farklı ülkeler için yapıların kullanım amacına bağlı olarak belirli yangın sürelerine dayanımına göre tasarımı istenmektedir. Yangın esnasında çapraz lamine ahşap panel kömürleşmeye başlamaktadır. Kömürleşen derinlik belirlenerek bu miktar PRG-320'den seçilen çapraz lamine ahşap panelin kalınlığından düşülerek yangın kontrolü yapılmaktadır (Şekil 22). Kömürleşme derinliği a_{char} , NDS Denklem 16.2-3 ile belirlenmektedir (Denklem 30).

$$a_{char} = n_{lam} * h_{lam} + \beta_n \left(t - (n_{lam} * t_{gi}) \right)^{0.813} \quad (30)$$

Burada h_{lam} bir katmanın kalınlığı olup β_n nominal kömürleşme oranı yapılan deneyler sonucu çapraz lamine ahşap için 1 saatte 1.5 in. olarak belirlenmiştir. t : yangına maruz kalma süresi ve t_{gi} yangının bir katmanın yapıştırıcı kısmına ulaşma süresi olmaktadır (Denklem 31).

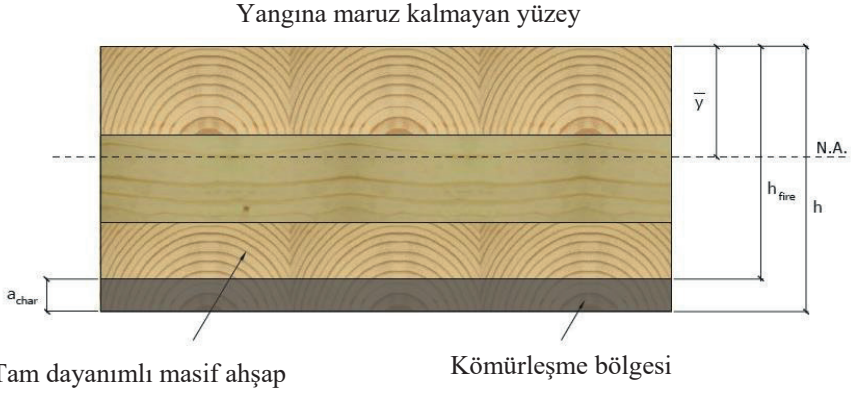
$$t_{gi} = \left(\frac{h_{lam}}{\beta_n} \right)^{1.23} \quad (31)$$

Kömürleşmiş katman sayısı n_{lam} ise en düşük tam sayıya yuvarlanmaktadır (Denklem 32).

$$n_{lam} = \frac{t}{t_{gi}} \quad (32)$$

Yapısal hesaplarda güvenliği arttırmak, riski azaltmak için kömürleşme derinliği a_{char} , NDS 16.2-4'te verilen denklemle artırılarak efektif kömürleşme derinliği a_{eff} bulunmaktadır. Bu işlem yangından etkilenmeyen kömürleşmenin olmadığı kesiti azaltarak hesaplarda daha güvenli tarafta kalmayı sağlamaktadır. Şekil 22'de yangın etkisine maruz kalmış çapraz lamine ahşap panelin kesiti görülmektedir. Yangın dayanımında azalan kesit efektif kömürleşme derinliği a_{eff} 'in çıkarılmasıyla elde edilecektir. Efektif kömürleşme derinliği a_{eff} Denklem 33 ile hesaplanmaktadır.

$$a_{eff} = 1.2 * a_{char} \quad (33)$$



Şekil 22. Yangın etkisine maruz kalmış çapraz lamine ahşap panel (Dagenais ve ark., 2013)

Ayrıca hesap kolaylığı için eşit kalınlıklarda katmanlardan oluşan 1.5 in/saat. nominal kömürleşme oranına sahip çapraz lamine ahşap panellerin efektif kömürleşme derinliği a_{eff} , hazır olarak NDS (2018) Tablo 16.2.1B’de katman kalınlıklarına ve istenilen yangın dayanım süresine göre seçilerek belirlenmektedir (Tablo 6).

Tablo 6. Etkili kömürleşme derinlikleri ($\beta_n=1.5$ in./saat.’li çapraz lamine ahşap için (NDS, 2018)

| Gerekli Yangın Dayanımı | Etkif Kömürleşme Derinliği, a_{eff} (in.) | | | | | | | | |
|-------------------------|---------------------------------------------|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-----|
| | Katman Kalınlığı, h_{lam} (in.) | | | | | | | | |
| | 5/8 | 3/4 | 7/8 | 1 | 1-1/4 | 1-3/8 | 1-1/2 | 1-3/4 | 2 |
| 1-Saat | 2.2 | 2.2 | 2.1 | 2.0 | 2.0 | 1.9 | 1.8 | 1.8 | 1.8 |
| 1.5-Saat | 3.4 | 3.2 | 3.1 | 3.0 | 2.9 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.6 |
| 2-Saat | 4.4 | 4.3 | 4.1 | 4.0 | 3.9 | 3.8 | 3.6 | 3.6 | 3.6 |

Efektif kömürleşme derinliği a_{eff} , bulunan döşeme yada taşıyıcı duvar elemanının yeni kalınlığı belirlenerek gerekli dayanım kontrolleri bu kalınlığa göre yapılmaktadır.

GKT (ASD) yöntemi kullanılarak yapılan tasarımda yangın durumu için dayanım değerlerinin çarpılması gereken katsayılar Tablo 7’de verilmektedir.

Tablo 7. Yangın tasarımı için düzeltme katsayıları (NDS, 2018)

| | GKT (ASD) | | | |
|------------------------------------|----------------------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | Gerilme Tasarımında Kullanılan Katsayı | Boyut Katsayısı | Kiriş Stabilitite Katsayısı | Kolon Stabilitite Katsayısı |
| Eğilme Dayanımı F_b x | 2.85 | C_F | C_L | - |
| Kiriş Burkulma Dayanımı F_{bE} x | 2.03 | - | - | - |
| Çekme Dayanımı F_t x | 2.85 | C_F | - | - |
| Basınç Dayanımı F_c x | 2.58 | C_F | - | C_P |
| Kolon Burkulma Dayanımı F_{cE} x | 2.03 | - | - | - |

5. SONUÇLAR

Çapraz lamine ahşap yapı elemanları yüksek dayanım, stabilite ve rijitliği ile çok katlı yapılarda ahşap taşıyıcı sistemlerin kullanılmasına imkân tanımıştır. Çapraz laminasyon, yapısal olarak ahşabın zayıf yönlerini ortadan kaldırmaktadır. Çapraz lamine ahşaptan üretilen taşıyıcı sistemler ağırlığına oranla yüksek taşıma gücü ve deprem bölgelerine inşa edilebilmesi sayesinde çelik ve betonarme sistemlere alternatif olmuştur. Malzemeye ulaşımın kolay olduğu yerlerde çelik ve betonarme sistemlerden daha ekonomik çözümler sunabilmektedir. Malzemenin konforu çelik ve betonarme sistemlere göre daha yüksektir. Çapraz lamine ahşap malzeme hakkında araştırmaların devam etmesi yönetmeliklerinin güncellenmesi, her yıl dünya çapında çapraz lamine ahşap malzeme kullanılarak yapılan yapıların önceki yıllara göre artması, daha yüksek katlı projelerin yapılmasının istenmesi, daha çevreci çözümlere odaklanılması bu yapısal malzemenin popülerliğini arttırmaya devam edecektir. Çapraz lamine ahşap üretimi amacıyla yapılacak ağaç yetiştiriciliği ve üretim fabrikalarının kurulması ile gelecekte bu malzemenin daha yaygın kullanılabileceği düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Abbado, S., Prodi, F., Zucconi, M., (2015). Social housing via Cenni, Mies van der Roha award 2015 [online], Milan, <https://miesarch.com/work/1632> [Ziyaret Tarihi: 30.09.2024]
- Aicher, S., Reinhardt, H.W. (2007). Delaminierungseigenschaften und Scherfestigkeiten von verklebten rotkernigen Buchenholzlamellen. Holz Roh Werkst 65, pp. 125–136.
- ANSI/APA PRG320-2018, (2018). Standard for performance-rated cross-laminated timber, American National Standards Institute/APA-The Engineered Wood Association, Tacoma.
- Atik, B. (2022). Çok katlı binalarda çapraz lamine ahşap taşıyıcı sistemlerin kullanımının incelenmesi, Yüksek Lisans tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Bernasconi, A., (2018). Via Cenni-Milano-4 torri di 9 piani in XLAM, Ciclo di seminari tecnici - edifici multipiano- Lo stato dell'arte della costruzione in legno e il suo utilizzo in area urbana, Milano.
- Bostancıoğlu, E., Birer, E. D. (2004). Ekoloji ve ahşap–Türkiye’de ahşap malzemenin geleceği. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 9(2), s. 37-44.
- Brenemann, S., (2016), Cross- laminated timber structural floor and roof design, Structure Magazine, 14.
- Crespell, P., Gagnon, S., (2010). Cross laminated timber: a primer, special publication 52, FPInnovations, Canada.
- Dagenais, C., White, R. H., Sumathipala, K., (2013). CLT Handbook: Cross-laminated timber, chapter 8: Fire performance of cross-laminated timber assemblies, edited by Karacabeyli, E., Douglas, B., Pointe-Claire, QC, Special Publication, SP 529-E.
- Gagnon, S., Bilek, E. M. T., Podesto, L., Crespell, P., (2013). CLT Handbook: Cross-laminated timber chapter 1: Introduction to cross-laminated timber, edited by Karacabeyli, E., Douglas, B., Pointe-Claire, QC, Special Publication, SP 529- E 1-26.
- Gagnon, S., Pirvu, C., (2011). CLT Handbook: Cross-laminated timber, Canadian ed. Special Publication, SP-528E, FPInnovations, Ouebec, Canada.
- Gassparri, E., Lucchini, A., Mantegazza, G., Mazzucchelli, E. S., (2015). Construction management for tall CLT buildings: From partial to total prefabrication of façade elements, Wood Material Science and Engineering, 10(3), pp. 256-275.
- Gustafsson, A., (2019). The CLT Handbook-CLT structures-facts and planning, Stockholm, Sweden.
- Güzel N., Yesügey S.C., (2015). Çapraz lamine ahşap (CLT) malzeme ile çok katlı ahşap yapılar, Mimarlık Dergisi, Ankara, Sayı 382.
- IBC, (2018). International building code, International Code Council, USA.
- Landreman A., (2017). Introducing cross laminated timber, The Wood Products Council, Wisconsin, United States.
- Lend Lease, (2013). Forte by Lend Lease [online], Melbourne, <https://www.architectureanddesign.com.au/projects/multi-residential/forte-by-lend-lease> [Ziyaret Tarihi: 20.05.2019]

- Lenon, C. (2015). Design and behavior of a mid-rise cross-laminated timber building. Msc thesis, Colorado School of Mines, Civil and Environmental Engineering, Golden, Colorado.
- NDS (2018). National design specification for wood construction ANSI, American Wood Council, Leesburg, VA, USA.
- Nolan, G., (2010). Opportunities and constraints for timber in non-residential construction in Australia, 11th World Conference on Timber Engineering 2010 (WCTE 2010), Trentino, Italy.
- Ostry A., (2017). Brock commons Tallwood house [online], Vancouver, <https://www.naturallywood.com/project/brock-commons-tallwood-house/>[Ziyaret Tarihi: 01.10.2024]
- Patterson, D., (2014). Completed 10-storey apartment in Australia: Forte from an owner/developer perspective, Wood Works or the Softwood Lumber Board, Washington, DC.
- Pei, S., Lindt J.W., Popovski, M., (2013). Approximate R-factor for cross-laminated timber walls in multistory buildings, Journal of Architectural Engineering, 19(4), pp. 245-255.
- Ross, L. A., Gagnon, S., Keith, E., (2013). CLT Handbook: Cross-laminated timber chapter 3: Structural design of cross-laminated timber elements, edited by Karacabeyli, E., Douglas, B., Pointe-Claire, QC, Special Publication, SP 529-E .
- Stora Enso, (2015). Wood products building solutions, Helsinki-Finland.
 URL- 1, <http://www.wellons.com/sypkilns.html> [Ziyaret Tarihi: 05.02.2019]
 URL- 2, <https://www.novatop.nl/producten/agrop-swp-meervoudig-gelaagde-panelen/> [Ziyaret Tarihi: 08.02.2019]
 URL- 3, <https://www.americanhardwood.org/th/news-feed/cross-laminated-collaboration> [Ziyaret Tarihi: 01.10.2024]
 URL- 4, <https://m.usnr.com/en/content/drjohnson> [Ziyaret Tarihi: 03.01.2019]
 URL- 5, <https://www.ledinek.com/clt-production-line-latvia> [Ziyaret Tarihi: 17.01.2019]
 URL- 6, <http://www.cncmotion.com/gallery.htm> [Ziyaret Tarihi: 25.12.2018]
 URL- 7, <https://www.lowtechmagazine.be/2013/06/hoeveel-co2-kunnen-we-opslaan-in-hout.html> [Ziyaret Tarihi: 01.10.2024]
 URL- 8, <https://www.bbc.com/news/uk-england-norfolk-57499047> [Ziyaret Tarihi: 01.10.2024]
 URL- 9, <https://www.byak.de/planen-und-bauen/projekt/holz-8-acht-stoekiges-holzhaus-bad-aibling-1.html> [Ziyaret Tarihi: 01.10.2024]
 URL- 10, <http://www.eurban.co.uk/project/bridport-house/> [Ziyaret Tarihi: 13.04.2019]
 URL- 11, <http://www.rossiprodi.it/?project=social-housing-via-cenni-2> [Ziyaret Tarihi: 15.05.2019]
 URL- 12, <https://www.naturallywood.com/resources/introduction-brock-commons-ubc-tall-wood-building> [Ziyaret Tarihi: 18.04.2019]
- Wallner-Novak, M., Koppelhuber, J., Pock, K., (2014). Cross-laminated timber structural design, basic design and engineering principles according to Eurocode, proHolz Austria.
- Waugh Thistleton Architects, (2018). 100 Projects UK CLT, Canada.
- Zumbrunnen, P., (2013). Multi-story residential CLT-buildings – the UK’s experience and future potential, 3. Internationales Forum, -Holzbau.

”

BÖLÜM 4

TAŞIYICI SİSTEMLERDE CAM LİF TAKVİYELİ POLİMER (CTP) PROFİLLERİN KULLANIMI - CTP YAYA KÖPRÜLERİ

Günnur YAVUZ¹, Abdulkadir KOÇAK²

¹ Doç.Dr., Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ORCID:0000-0002-8725-7129

² İnşaat Müh., Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, ORCID: 0000-0002-7773-6134

1. GİRİŞ

İnşaat endüstrisinin en önemli problemlerinden biri olan korozyon, ekonomik açıdan çok büyük zararlara neden olmaktadır. Özellikle çelik yapılarda karşılaşılan korozyon, yapı ve malzemelerde meydana getirdiği kesit kaybının yanında, ülkelere çok ciddi bir maliyet oluşturabilmektedir. Korozyon, dış çevre koşullarına maruz olan köprü ayakları, köprü tabliyeleri, liman yapıları, otopark gibi yapılarda kaçınılmaz olaylardandır (Yavuz, 2011).

Lif takviyeli polimer malzemeden üretilmiş profil, levha, donatı vb. diğer elemanların, korozyon dayanımının yüksek olmasından dolayı, geleneksel taşıyıcı sistem elemanlarının yerine veya hibrit olarak kullanılabilirliği ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. Ayrıca, lif takviyeli polimer kompozitlerin yüksek dayanımı, hafifliği ve iletken olmayan yapısından dolayı, endüstri alanındaki araştırmacıların da dikkatini çekmiştir. Günümüzde, inşaat endüstrisine sunulmuş, farklı hammadde ve imalat yöntemlerindeki çeşitliliğin bir sonucu olarak, geniş alanda mekanik özelliklere ve geometrilere sahip lif takviyeli polimer kompozitleri bulunmaktadır. Bununla birlikte, günümüzde lif takviyeli polimerden imal edilecek yapılar ile ilgili araştırmalar devam etmektedir.

Lif takviyeli polimerlerin dünyada betonarme yapılarda hibrit donatı olarak ve köprülerde profil şeklinde kullanılması özellikle korozyona karşı dayanıklılığı nedeniyle son yıllarda hızlı bir biçimde artış göstermiştir.

1950'li yıllardan günümüze yaygın olarak kullanılan kompozit malzemeler, çoğunlukla organik reçine olan bir matristen ve bu matrise gömülü elyaf (lif) güçlendirme ögesinden oluşmaktadır. Kompozit malzemelerde genellikle cam lifi, karbon lifi ve aramid lifleri (kevlar vb.) yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca seramik elyafı, polietilen, silis ve bor elyafı da yaygın olmamakla birlikte kullanılmaktadır. Polimer kompozitlerin, taşıyıcı sistemlerde kullanımı nispeten sınırlı sayıdadır.

2. LİF TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİT MALZEMELERİN KULLANIMI

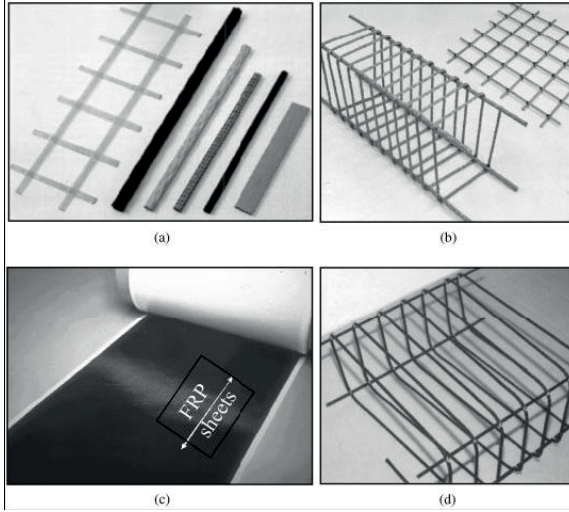
İnşaat endüstrisinin en önemli problemlerinden olan korozyon, ekonomik açıdan çok büyük zararlara neden olabilmektedir. Bu nedenle, korozyona dayanıklı yeni malzeme arayışının sonucu olarak lif takviyeli polimer kompozit malzemelerle ilgili çalışmalar yoğunlaşmıştır. Lif takviyeli polimer kompozitlerinin inşaat uygulamalarında kullanımı ile aşağıdaki avantajlar sağlanabilmektedir.

- Eritici tuzlar ve diğer korozyon oluşturan bileşenlerine karşı direnç sağlandığı için bakım maliyeti azaltılabilir.
- Yapılar, hasar öncesi yük taşıma gücüne veya mevcut durumundan daha fazla yük taşıma kapasitesine daha hafif bir malzeme kullanılarak ulaştırılabilir.
- Hazır imalat olduğu için (özellikle profil elemanlarda), alan uygulamalarında inşaat süresi azalmaktadır.
- Mühendislik uygulamasından önceki sistemlerin güvenilirliğini artırır.
- Dayanıklılığın artırılması ve yorgunluk karakteristiklerinin iyileşmesi sayesinde yapının hizmet ömrü artmaktadır.

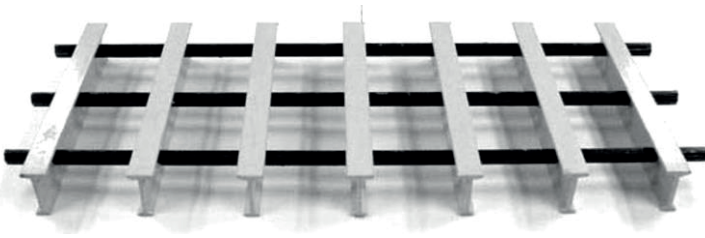
Günümüzde, taşıyıcı sistem elemanı olarak kullanılması veya mevcut yapıların onarımı ve güçlendirilmesi amacı ile kullanılabilen birçok lif takviyeli polimer ürünü bulunmaktadır. Bu ürünler, dünyada geniş bir kullanım alanına sahiptir. Lif takviyeli polimer kompozit ürün örnekleri şunlardır:

- Kirişlerin, kolonların, döşemelerin ve duvarların; onarım, güçlendirme ve sismik iyileştirmesi için kullanılan lif takviyeli polimer kompozit sistemleri;
- Betonarme donatısı olarak kullanılan; lif takviyeli polimer donatı çubukları, hasır donatılar ve öngerilme tendonları;
- Köprü tabliyesi panelleri ve yaya köprü sistemleri (hasır donatı ve profil şeklinde);
- Yeni yapısal şekiller;
- Deniz liman bölgesi yapıları için temel kazığı ürünleri ve sistemleri;
- Beton asfalt yollarda uzun süreli kalıcı kullanım için lif takviyeli polimer ankraj çubukları;
- Beton sandviç duvar yapımı için kullanılan lif takviyeli polimer çubuk bağlayıcıları ve lif takviyeli polimer ızgara (hasır) kesme bağlayıcıları.

Lif takviyeli polimer kompozit ürünleri ve mühendislik sistemleri genellikle, geleneksel inşa malzemelerine göre uzun dönemler boyunca daha ileri performans elde edilmesini hedeflemektedir. Şekil 1 ve Şekil 2'de inşaat sektöründe taşıyıcı sistem elemanlarında kullanılan lif takviyeli polimer ürünleri görülmektedir.



Şekil 1. Betonarme yapılarda kullanılan lif takviyeli polimer ürünleri (Rizkalla vd., 2003).



Şekil 2. Uygulamada kullanılan lif takviyeli polimer donatı tipleri (Jacobson, 2004)

Lif takviyeli polimer kompozitleri ile ilgili 1980’li yılların başlarında, birkaç pultrüzyon şirketi bu malzemenin potansiyelinin farkına varmış ve lif takviyeli polimer donatı çubuklarını üretmiştir. Beton içinde bu donatının kullanımı ile ilgili ilk araştırmaların 1950’li yıllarda başlamasına karşılık, ticari uygulamaları ancak 1970’li yıllarda olmuştur. 1980’li yılların başlarında lif takviyeli polimer donatı çubuklarının üretimine başlanmıştır. 1986 yılında, cam lif takviyeli polimer (CTP) kablolarla öngerilme uygulanmış ilk karayolu köprüsü Almanya’da inşa edilmiştir. Daha sonraki zamanlarda, Avrupa’da, özellikle de Kuzey Amerika ve Japonya’da bu tip köprülerin inşasına devam edilmiştir. 1990’lı yıllarda ise, Kuzey Amerika’daki eski betonarme köprülerde korozyondan dolayı oluşan hasarlarla ilgili büyük bir kaygı ortaya çıkmıştır (Boyle ve Karbhari, 1994). Bu durum karşısında, lif takviyeli polimer malzemelerinin imalatının değerlendirilmesi ve araştırma-

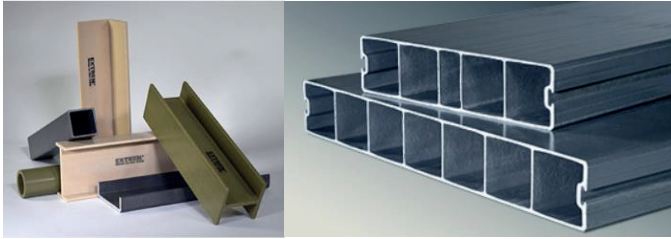
geliştirme çalışmaları için önemli ölçüde araştırmalar yapılmaya başlamıştır.

Kompozit malzemelerde kullanılan başlıca lif türleri, cam, karbon, aramid, bazalt, organik, boron ve sürekli silikon carbide lifleridir. Lifler kompozit malzemenin mekanik özelliklerini belirleyen ve yük taşıma mekanizmasını sağlayan bileşenlerdir (Turhan, 2007). Cam, karbon ve aramid lifler, lif takviyeli polimer kompozitlerde kullanılan en önemli elyaf türleridir. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanları ise ekonomik olması nedeniyle cam lifler, yüksek dayanımı nedeniyle de karbon liflerdir.

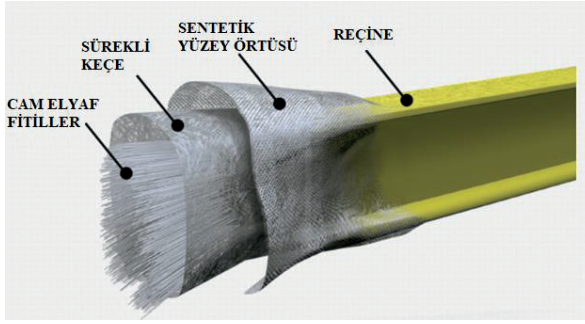
3. CAM LİF TAKVİYELİ POLİMERLER

Uygulamada en yaygın kullanılan Cam Lif Takviyeli Polimerler (CTP) genellikle "fiberglass" olarak adlandırılmaktadır. Fiberglass, gömülü cam elyaflarla güçlendirilmiş polimer reçine matrisinden oluşan bir kompozittir. Bir fiberglass parçanın dayanımını esasen kompozit içindeki cam elyafların tipi, yönü, miktarı ve yeri belirlemektedir (Callister, 1990).

Cam lif takviyeli polimer (CTP) malzemenin üstün mekanik dayanımı, hafif olması, korozyona karşı dayanıklılığı, düşük yoğunluğu ve dayanım/yoğunluk oranının yüksekliği, düşük ısı iletkenliği, uzun yıllar bakım ve boya yapılmasına ihtiyaç göstermemesinin yanında CTP profillerin üretiminin düşük iş gücü ile yapılabilmesi, kolay kesilebilir ve işlenebilir olması gibi özellikleri nedeniyle bu tip profillerin inşaat sektöründe birincil (taşıyıcı) eleman olarak kullanılması ile ilgili başlangıçta küçük yapılarda sonrasında daha kapsamlı yapılarda çalışmalar yapılmıştır (Sarıbiyık, 2007). Şekil 3'te uygulamada kullanılan CTP profil tiplerine ait örnekler, Şekil 4'te bir lif takviyeli polimer profilin bileşenleri görülmektedir.



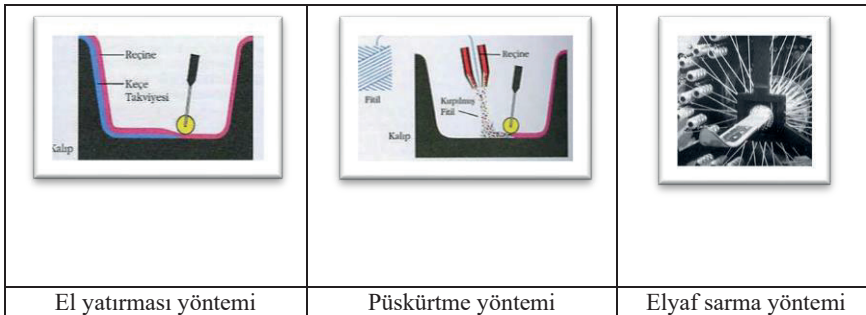
Şekil 3. Pultrüzyon metodu ile üretilmiş CTP profil örnekleri (URL-1)



Şekil 4. Profil detayı (URL-1)

3.1. İmalat Prosesi

Cam lif (elyaf) ilk kez Fenikeliler ve Mısırlılar tarafından kullanılmıştır. İlk uygulamalarda lifler, cam çubukların ısıtılıp, yumuşatılarak akıtılması yöntemiyle imal edilmiş ve çanak, çömlek, amfora gibi ürünlerin güçlendirilmesi için kullanılmıştır. Günümüzdeki devamlı cam elyafı ise 1930'lu yılların sonlarına doğru geliştirilmiştir (URL-2). Cam lifi ile taşıyıcı matris reçinenin birleştirilmesi işlemi, 'el yatırması' gibi basit kalıplama tekniklerinden en karmaşık 'makineleşmiş kalıplama teknikleri'ne kadar değişik metotlar kullanılarak yapılabilmektedir. Burada temel prensip; cam elyaf ile reçinenin uygun olarak kaynaştırılmasıdır. CTP üretim yöntemleri; el yatırması yöntemi, püskürtme yöntemi, reçine transfer kalıplama yöntemi, hazır kalıplama yöntemi, ıslak sistem pres kalıplama yöntemi, vakum bonding yöntemi, otoklav yöntemi, preslenebilir takviyeli termoplastik yöntem, elyaf sarma yöntemi, pultrüzyon (profil çekme) yöntemi olarak sayılabilir. Reçineler, kimyasal bir reaksiyon ile polimerize edilerek, sert, çözülmeyen, ergimeyen bir madde halini almaktadır. Şekil 5'te bu yöntemlerden bazıları gösterilmiştir (Yıldırım, 2011).

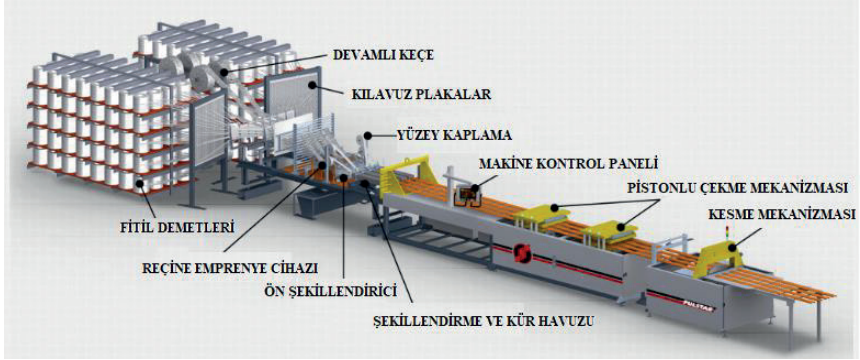


Şekil 5. Cam lifi ile taşıyıcı matris reçinenin birleştirilmesi işleminde kullanılan bazı yöntemler

(Yıldırım, 2011)

3.1.1. Pultruzyon (Profil Çekme) Metodu

Kompozit imalat metodları ile değişik elyaf cinsleri kullanılarak uçak aksamaları, otomobil parçaları ve inşaat sektöründe kullanılabilen yardımcı veya dekoratif amaçlı ürünler imal edilebilmektedir. Ancak bu metodlarla üretilen elemanlar, çekme, basınç veya kesme kuvvetlerine karşı yeterli dayanımı gösteremediklerinden dolayı inşaat sektöründe taşıyıcı eleman olarak kullanılamamaktadır. Dolayısıyla kompozit elemanların taşıyıcı olarak kullanılabilmesi amacıyla “Pultruzyon” yöntemi geliştirilmiştir (Mallick, 1997). Cam elyaf takviye malzemesinin kullanım alanına yönelik bir reçine ile kaynaştırılarak sıcak bir kalıptan çekilmesi ile meydana gelen üretim teknolojisine pultruzyon denilmektedir (Şekil 6 ve Şekil 7). Şekil 8’de cam takviyeli polimer malzemeden imal edilmiş bir H profili, profilin kesit boyutları ve kompozit malzemenin katmanları görülmektedir.



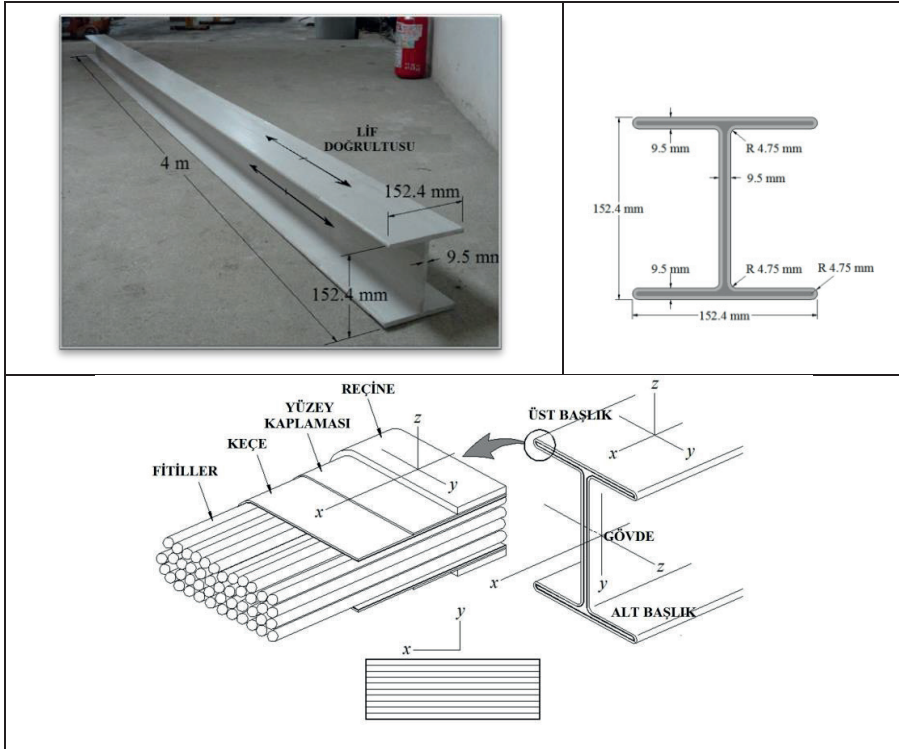
Şekil 6. İmalat prosesi konfigürasyonu (URL-1)



Şekil 7. Pultruzyon makinesi (URL-3)

1940’ların sonlarında başlayan pultruzyon prosesi ilk olarak rijit çubuk ve lamaların, boru, kanal, kiriş gibi endüstriyel profillerin üretiminde kullanılmıştır. 1950’li yıllardan itibaren lifler ile donatılmış

sentetik reçineler endüstriyel olarak kullanılmaya başlanmıştır (Bechtold vd. 2002). Bu yöntemde, cam lif takviye elemanı olarak sürekli fitil (WR3) dokunmuş fitil, keçe veya bunların kombinasyonlarından biri veya birkaçı kullanılarak, öncelikle sıcak termoset reçine banyosuna girmekte, reçine banyosundan çıkan lif demetlerine sentetik yüzey kaplaması uygulanmakta, daha sonra bir dizi şekillendirme kılavuzundan geçirilerek istenilen kesitler elde edilmektedir. Isıtılmış çelik kalıp içinden geçirilerek, istenilen kesitte sertleşmesi sağlanmaktadır (URL-2).



Şekil 8. CTP malzemeden imal edilmiş H profili, kesit boyutları ve CTP kompozit katmanları
(Landesmann vd., 2015)

Şekillendirme kılavuzları, reçinenin fiberglas malzemeye en yüksek seviyede penetrasyonunu sağlamak için kullanılmaktadır. Kürden çıkan imalat kesme aparatları vasıtasıyla projeye uygun uzunluklarda kesilmektedir. Pultrüzyon yönteminin avantajları şunlardır (Sarıbiyık, 2008):

-Diğer metodlarla kıyaslandığında daha seri bir imalat gerçekleşmektedir.

-İstenilen kesitteki elemanlar kolaylıkla üretilebilir.

-İstenilen mekanik özellikleri sağlayan CTP imalatı yapılabilir.

-Hacimsel olarak, yapı çeliğiyle kıyaslandığında; polimer imalatı için daha az enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu metotta, ekipman yatırım masrafları diğer yüksek hacimde üretim yapılan metotlara kıyasla düşüktür.

-Düşük işçilik gerektirmektedir.

-Pultruzyon yönteminde yönlendirilmiş elyaf kullanılmaktadır. Elyafın büyük bir bölümü en büyük çekme dayanımı elde edilecek şekilde boyuna doğrultuda yerleştirilirken bir bölümü de istenilen mekanik özellikleri sağlayacak biçimde farklı yönde düzenlenebilmektedir.

Pultruzyon yönteminin dezavantajları ise şunlardır (Sarıbyık, 2008):

-İmalat esnasında elyafların büyük bir kısmı çekme dayanımını sağlayacak yönde yerleştirildiği için, genellikle çapraz yöndeki dayanımı gerçek çekme dayanımından %75-90 arasında düşüktür.

-Lamine kompozitlerin özellikleri her zaman ideal özellikte olmamakta ve katmanlar arasında kesme dayanımı düşük olmaktadır.

-Kompozitler gevrek malzeme olduklarından kolay hasar görebilmektedir.

-Standartlaşan bir kalitesi bulunmamaktadır.

3.2. Cam Lif Takviyeli Polimerlerin Özellikleri

Cam lif takviyeli polimerler, bir polimer reçinesinin içine gömülmüş yüksek mukavemetli liflerden oluşan kompozit elemanlardır (ACI 440, 1996). Bu elemanlarda, korozyona dayanıklılığın yanında, göçme yüküne ulaşıncaya kadar doğrusal bir gerilme deformasyon eğrisi gözlenmekte, ayrıca büyük rijitlik ve mukavemet kapasitesine sahip olduğu görülmektedir. Asıl yük taşıyan elemanlar CTP kompozitlerinin içinde bulunan liflerdir. Reçineler ise, lifli yapıyı düzgün bir şekilde bir arada tutarak yüklerin daha sağlıklı biçimde dağıtımını sağlamaktadır. En yaygın polimerik reçine tipleri; polyester, fenolik, vinilester ve epoksidir. Tablo 1'de termoset matrislerin mekanik ve fiziksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. *Tipik matrislerin mekanik ve fiziksel özellikleri (Kachlakev vd., 2000)*

| | Matris tipi | | | |
|--------------------------------|-------------|-----------|------------|-------------|
| | Polyester | Fenolik | Vinilester | Epoksi |
| Yoğunluk (gr/cm ³) | 1.20 | 1.20 | 1.15 | 1.10 – 1.40 |
| Çekme Dayanımı (MPa) | 50 – 60 | 40 – 50 | 70 – 80 | 50 – 90 |
| Elastisite modülü (GPa) | 3.0 | 3.0 | 3.5 | 3.0 |
| Kırılma uzaması (%) | 2.0 – 3.0 | 1.0 – 2.0 | 4.0 – 6.0 | 2.0 – 8.0 |

(Kachlakev, 1998)

CTP kompozit elemanlar, çelik elemanlarla kıyaslandığında çekme dayanımı ve yorulma bakımından önemli mekanik ve fiziksel özellikler taşımaktadırlar. Yapı çeliğinin taşınması ve montajı esnasında ağırlığı, şantiye koşulları gözönüne alındığında yüksek korozyon oluşma riski gibi sorunları ortadan kaldıran CTP, düşük ağırlık, korozyona dayanıklılık, yüksek rijitlik ve mekanik dayanım, uzun mesafelerde şekil alabilme yeteneği gibi etkili özelliklerinin kombinasyonunda olanaklar sağlamaktadır (Triantafillou, 1998). CTP levhaların veya dokumaların özellikle betonarme kirişlerde ve köprü kolonlarında güçlendirme elemanı olarak kullanımı giderek artmaktadır (Saadatmanesh ve Malek, 1998). Tablo 2’de cam takviyeli polimerin, çelik ve alüminyum ile malzeme özellikleri açısından karşılaştırması görülmektedir.

Tablo 2. *CTP profillerin diğer malzemeler ile karşılaştırılması (URL-4)*

| Özellik | CTP Profiller | Çelik | Alüminyum | Ahşap |
|------------------------------------------------|---------------|--------|-----------|--------|
| Korozyon Dayanımı | Yüksek | Düşük | Orta | Düşük |
| Dayanım | Yüksek | Yüksek | Yüksek | Düşük |
| Ağırlık | Düşük | Yüksek | Düşük | Orta |
| Elektiriksel İletkenlik | Çok Düşük | Yüksek | Yüksek | Düşük |
| Isı İletkenliği | Çok Düşük | Yüksek | Yüksek | Düşük |
| Elektromanyetik ve radyo frekansı geçirgenliği | Kolay | Kolay | Orta | Kolay |
| İmalat | Düşük | Orta | Orta | Yüksek |
| Yaşam döngüsü maliyeti | Düşük | Yüksek | Yüksek | Düşük |










CTP kompozitler; mekanik dayanımı yüksek cam elyafı ile agresif çevre koşullarına karşı durabilitesi yüksek, esnek fakat mekanik dayanımı yeterli olmayan plastik reçinenin (polyesterin gibi) biraraya getirilmesi ile oluşturulan üstün özellikleri bulunan kompozit malzemeleridir. CTP kompozit malzemenin kalitesi, cam lif ile reçine arasındaki bağın kuvveti ile orantılıdır. Fiziksel özellikleri, takviye (güçlendirme) elemanı olan cam lifin; CTP içindeki miktarına, dağılımına ve yönüne bağlıdır. Tablo




3'te termoset ve termoplastik malzemelerin avantaj ve dezavantajları (Sönmez, 2009, Ğuma, 2019), Tablo 4'te CTP malzemelerin avantajları görölmektedir.

Tablo 3. Termoset ve termoplastik matris malzemelerin avantaj ve dezavantajları (Akovalı, 2001)

| | Özellik | Termoset Matris | Termoplastik Matris |
|----------|--------------------------|--------------------|------------------------|
| Matris | Formülasyon | Karışık | Daha Basit |
| | Eriyik Akışkanlığı | Düşük | Daha Yüksek |
| | Maliyet | Orta | Yüksek |
| Prepreg | Raf Ömrü | Oldukça Düşük | Yüksek |
| Kompozit | Proses Çevrimi | Oldukça Uzun | Oldukça Kısa |
| | Ürün Boyutlatı | Çok Büyük Olabilir | Küçük-Orta |
| | Çözücülere Karşı Dayanım | İyi | Zayıf-İyi |
| | Hasar Toleransı | Mükemmel | İyi |
| | Üretim Kolaylığı | Emek Yoğun | Daha Az Emek Yoğunluğu |

Tablo 4. CTP malzemenin avantajları (URL -5)

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | DÜŞÜK MALİYET: Fiberglas malzemenin korozyon direncinden dolayı, rutin boyama ve onarım ihtiyacı yok denecek kadar azdır. Bunun sonucunda, yaşam döngüsü maliyetleri genel olarak geleneksel malzemelerden daha azdır. |
|  | YÜKSEK ÇEKME DAYANIMI: Çekme mukavemeti, yapısal çeliğin yaklaşık iki katıdır. |
|  | KOROZYON OLUŞMAMASI: Korozyona karşı mükemmel bir dayanıma sahiptir. |
|  | YÜKSEK KİMYASAL DİRENÇ: Atık su, alkali ve asit gibi kimyasal olaylara karşı dayanımı yüksektir. |
|  | ELEKTRİKSEL OLARAK İLETKEN OLMAYAN: Elektromanyetik olarak nötr olduğu için iletkenliği çok düşük seviyededir. |
|  | MANYETİK OLMAMASI: Pusula kalibrasyon alanları, radyo dalgaları, mikrodalgalar ve diğer elektromanyetik frekanslara veya MRI tarayıcıları gibi hassas manyetik cihazlara manyetik olarak etki etmez. |
|  | HAFİF: Yapı çeliğine kıyasla yaklaşık % 75-80, alüminyuma kıyasla % 30 daha az ağırlığa sahiptir. |
|  | DÜŞÜK ARAÇ/GEREÇ MALİYETİ: Yapı çeliğine kıyasla, daha az ekipman, işçi ve kurulum zamanı gerektirir. Ayrıca, fiberglas standart marangozluk aletleriyle (karbür veya elmas bıçaklar kullanılarak) istenilen boyutlarda kolaylıkla kesilip, montajı sağlanır. |
|  | DÜŞÜK ISI İLETKENLİĞİ: Isıl iletkenliği düşüktür, termal durumlarda yüksek yalıtım sağlar. |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | BOYUTSAL STABİLİTE: Isıl genleşme katsayısı betona yakındır. Termal olaylarda; betonla uyumu, çeliğe ve alüminyuma göre daha iyi sonuç vermektedir. |
|  | SON DERECE DAYANIKLI: Yüksek pH içeren korozitif ortamlara 100 yıldan fazla dayanmaktadır. |
|  | DÜŞÜK ÇEVRESEL ETKİ: Çevre dostu bir malzemedir. |

CTP kompozit malzemeler sahip oldukları avantajlara karşılık önem alınmadığı takdirde bazı durumlarda dezavantajlı olabilmektedir. Gevrek bir malzeme olduğu için, kopmadan önce akma olayı meydana gelmemektedir. Ayrıca liflerin yükleme doğrultusu ve işareti ile değişen düşük enine dayanım ve takviye lifinin tipine göre değişen düşük elastisite modülü söz konusudur. Tablo 5'te en yaygın kullanılan lif tiplerinin mekanik özellikleri görülmektedir.

Tablo 5. En yaygın kullanılan lif tiplerinin özellikleri (Kachlakev vd., 2000)

| | Lif tipleri | | | |
|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | E-Cam | S-cam | Kevlar 49 | Karbon (HS) |
| Yoğunluk (g/cm ³) | 2.54 | 2.49 | 1.45 | 1.80 |
| Çekme dayanımı (GPa) | 1.72 - 3.45 | 2.53 - 4.48 | 2.27 - 3.80 | 2.80 - 5.10 |
| Elastisite modülü (GPa) | 72.5 | 87 | 117 | 227 |
| Kırılma uzaması (%) | 2.5 | 2.9 | 1.8 | 1.1 |

(Kachlakev, 1998)

4. CAM LİF TAKVİYELİ POLİMER YAYA KÖPRÜ UYGULAMALARI

Dünyada CTP profillerinden yapılmış olan köprüler genellikle yaya köprüsü yada bisiklet köprüsü olarak kullanılmaktadır. CTP kompozit malzemelerden imal edilmiş köprülerden örnekler bu bölümde sunulmuştur (Koçak, 2021).

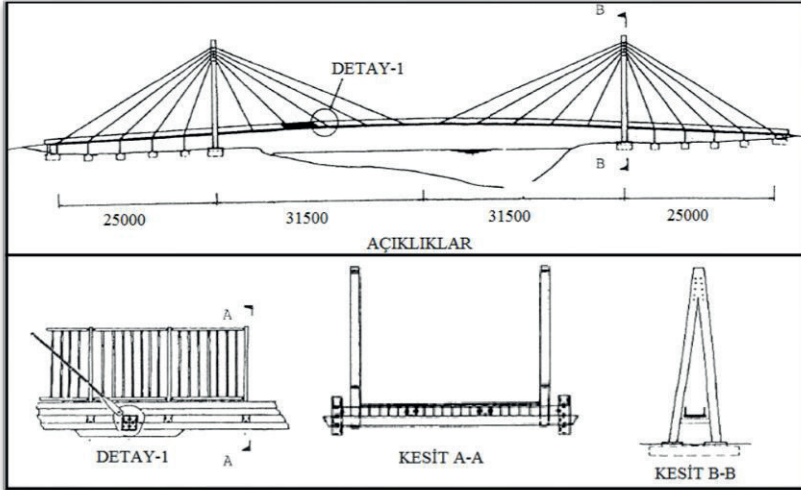
4.1. Aberfeldy Yaya Köprüsü – İngiltere

1991 yılında yapımına başlanan Tay Nehri üzerindeki Aberfeldy Yaya Köprüsü (Şekil 9), tamamen kompozit malzemelerden yapılmış dünyanın ilk köprüsüdür. Köprü kullanımın 17. yılında yapılan incelemelerde; ana taşıyıcı sisteminin halen ilk günkü durumunu koruduğu gözlenmiş olup, parapetlerinde yer yer yıpranmalar olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 9. Aberfeldy Yaya Köprüsü – İngiltere (URL-6)

Köprünün kuleleri 17.24 metre yükseklikte olup, iki kule arası açıklığı 63 metredir. Toplam uzunluğu 113 metre olan köprünün genişliği ise 2.12 metredir. Toplam 14.5 ton ağırlığa sahip olan yapının inşa aşamasında vinç kullanılmamıştır (Şekil 10).



Şekil 10. Aberfeldy Yaya Köprüsü Detayları (Burgoyne vd., 1993)

4.2. Fiberline Köprüsü – Danimarka

1997 yılında inşa edilen köprünün (Şekil 11) ilk kısmı 27 metre, ikinci kısmı 13 metre olup, toplamda 40 metrelik uzunluğa, 3.2 metre genişliğe ve 18.5 metrelik direğe sahiptir. Toplam ağırlığı 12 ton olan köprü 3 günde inşa edilmiştir.



Şekil 11. Fiberline Köprüsü – Danimarka (URL-7)

4.3. Lleida Yaya Köprüsü – İspanya

2001 yılında CTP malzemeden inşa edilen yaya köprüsü (Şekil 12), 38 m uzunluğa, 3 m genişliğe ve 6.2 m yüksekliğe sahip bir kemer köprüdür. Köprü tamamen pultrüzyon metoduyla imal edilen CTP profillerden teşkil edilmiştir. Kemer formunda tasarlanması sonucunda daha küçük profiller kullanılarak, ekonomik bir çözüm sağlanmıştır.



Şekil 12. Lleida Yaya Köprüsü – İspanya (URL-8)

Köprünün toplam ağırlığı 19 tondur. Yapıyı oluşturan elemanlar 3 ayda imal edilmiş ve vinçle 3 saatte inşa edilmiştir. CTP kompozit malzemelerin elektrik yalıtkanlığı ve manyetik etkileşimi olmaması özelliği dikkate alınarak elektrikli demiryoluyla etkileşime girmesi engellenen bir yapı ortaya çıkmıştır.

4.4. Dawlish Yaya Köprüsü - Güney Devon

2012 yılında inşa edilen 18 m uzunluğundaki yaya köprüsü (Şekil 13), daha önceki köprünün yüksek oranda korozyona maruz kalması ve yapılan koruyucu boyaların iklim şartlarından dolayı kısa sürede etkisini yitirmesi sonucunda; korozyona karşı dayanımı yüksek, bakım maliyeti minimum seviyede olan ve kullanım ömrü 100 yıldan fazla öngörülen CTP kompozit malzemelerden teşkil edilmiştir.



Şekil 13. Dawlish Yaya Köprüsü - Güney Devon (URL-9)

4.5. Hibrit Köprü – Hollanda

Köprünün inşa edileceği zeminin geleneksel betonarme veya çelik yapı için yeterli dayanıma sahip olmaması yeni bir yapı malzemesi kullanımına yönlendirmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda kompozit ve çelik yapıdan oluşan hibrit köprü sistemi geliştirilmiştir (Şekil 14 ve Şekil 15). 2012 yılında inşa edilen hibrit köprü, 70 metrelik iki açıklıktan oluşup, toplam 140 metre uzunluğa sahiptir.



Şekil 14. Utrecht A27 Otoyolu Üzerindeki Hibrit Köprü yapım aşaması – Hollanda (URL-10)

Tabliye panelleri, “DSM” reçinesi ile cam elyaf kompozit kullanılarak üretilmiştir. Kompozit döşemelerle çelik çerçevenin birleşimi için geliştirilen özel bir infüzyon yapıştırıcısı ile tabliye panellerini üretmek için toplam 55 ton reçine kullanılmıştır. Yapının gereksinimlerinden dolayı bazı bölümlerin çelik olarak imal edilmesi nedeniyle 'hibrit köprü' adı verilmiştir. Yapıyı oluşturan elemanlarla daha az inşaat ekipmanı kullanılarak kurulum hızı artmış ve 48 saatten daha kısa sürede kullanıma açılmıştır. Projenin kısa sürede tamamlanması, maliyetleri azaltırken minimum trafik kesintisi sağlamıştır. İnşaa edilen köprü, beton ve çelik bir alternatifte göre 3 kat daha hafif bir yapıya sahip olup; 60 ton trafik ağırlığını taşıyabilmektedir.



Şekil 15. Utrecht A27 otoyolu üzerindeki hibrit köprü (URL-11)

4.6. Pont y Ddraig (Ejderha) Köprüsü – Kuzey Galler

2013 yılında inşa edilen “Ejderha Köprüsü” (Şekil 16) 8000 kg ağırlığında, 50 metrelik merkezi direğe kadar uzanan kablolarla eşzamanlı olarak kaldırılan 30 metrelik iki tabliyeden oluşmaktadır. CTP malzemenin hafifliği sayesinde daha az enerjiyle daha kısa sürede kaldırılabilen tabliyelere sahiptir. Korozyona karşı dayanımı dikkate alınarak imal edilen köprünün uzun yıllar bakım masrafı olmayacağı öngörülmektedir.



Şekil 16. Pont y Ddraig (Ejderha) Köprüsü – Kuzey Galler (URL-12)

4.7. Ooypoort Yaya Köprüsü - Hollanda

2014 yılında inşa edilen köprü (Şekil 17), 56 metre açıklığa sahiptir. Yapı elemanı olarak kompozit malzeme kullanılan köprüde düşük yapısal ağırlık, korozyona dayanıklılık ve düşük bakım maliyetleri amaçlanmıştır.



Şekil 17. Ooypoort Yaya Köprüsü – Hollanda (URL-13)

5. SONUÇLAR

Günümüzde lif takviyeli polimer profillerin korozyona karşı dayanıklılığı nedeniyle, özellikle agresif çevre koşullarına maruz kalabilecek yapı elemanlarında kullanılabilirliğiyle ilgili araştırmalar devam etmektedir. Uygulamada genellikle cam lif takviyeli polimer (CTP) profiller kullanılmaktadır. CTP yapı malzemesinin ilk yatırım maliyeti yüksek gözükse de ilerleyen yıllarda, ilk günkü dayanıklılığını devam ettirecek olması ve bakım maliyetinin düşüklüğünden dolayı; CTP malzemesinin gelecekte daha yaygın kullanılabilceğini göstermektedir.

CTP profillerin hafifliğinden dolayı daha büyük yapılarda kullanılabilmesi durumunda; deprem riskinin yüksek olduğu ülkemizde, yapıya etki edecek deprem kuvvetlerinde azalma olacağı aşıkardır. Buna karşılık CTP yapı malzemesinde akmanın olmaması ve kesme etkisi altındaki davranışındaki problemlerden dolayı araştırmalar halen devam etmektedir. Lif takviyeli polimerlerin dezavantajlarını en aza indirip taşıyıcı sistemlerde üstün özelliklerinin etkin şekilde kullanabilmesi için uygulamada ve son yıllarda yapılan çalışmalarda özellikle yapısal çelik veya ahşap yapı elemanları ile hibrit olarak kullanılabilirliği araştırılmaktadır.

KAYNAKLAR

- ACI 440, (1996). Guide for the design and strengthening of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures, American Concrete Institute, USA.
- Akovali, G., (2001). Handbook of Composite Fabrication, Rapra Technology Ltd., Shawbury, U.K.
- Bechtold G, Wiedmer S, Friedrich K. (2002). Pultrusion of Thermoplastic Composites - New Developments and Modelling Studies. Journal of Thermoplastic Composite Materials, 15(5):443-465.
- Boyle, H.C, Karbhari, V.M. (1994). Investigation of Bond Behavior Between Glass Fiber Composite Reinforcements and Concrete. Polymer-Plastics Technology and Engineering, 33 (6), 733-753.
- Callister ,W.D. (1990). Materials Science and Engineering, Second edition, John Wiley ve Sons Inc., Singapore.
- Burgoyne, C.J.; Head, P.R., (1993). Aberfeldy Bridge—An advanced textile reinforced footbridge. In Proceedings of the Techtexil Symposium, Frankfurt, Germany,; pp. 1–9.
- Ğuma, Ö., (2019). Kare Kesitli GFRP Kutu Profillerin İçerisine Polimer Beton Doldurularak Mekanik Özelliklerinin İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Jacobson D.A., (2004). Experimental and Analytical Study of Fiber Reinforced Polymer (FRP) Grid-Reinforced Concrete Bridge Decking, MSc Thesis, University of Wisconsin-Madison.
- Kachlakev, D.I., Green, B.K., Green, W.A., February, (2000). Behavior of Concrete Specimens Reinforced With Composite Materials, Final Report, SPR387, Oregon Department of Transportation Research Group, Oregon.
- Koçak, A., (2021). Lif takviyeli polimer profillerin taşıyıcı sistem elemanı olarak kullanımı, Yüksek Lisans semineri, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Landesmann, A., Seruti, C.A., Batista, E.M. (2015). Mechanical Properties of Glass Fiber Reinforced Polymers Members for Structural Applications, Materials Research, Mat. Res. vol.18 no.6.
- Mallick, P.K. (1997). Composite Engineering Handbook, Marcel Dekker Inc., New York.
- Rizkalla, S., Hassan T., and Hassan, N., (2003). Design Recommendations for the use of FRP for Reinforcement and Strengthening of Concrete Structures. Prog. Struct. Engng Concrete Construction Mater., 1 (5), pp: 16–28.
- Saadatmanesh, H., Malek, A.M. (1998). Design Guidelines for Flexural Strengthening of RC Beams with FRP Plates, Journal of Composites for Construction, 2 (4), pp. 158-164.
- Sarıbıyık, M. (2007). Hafif Yapı Tasarımında Pultruzyon Metodu İle Üretilen Cam Elyaf Takviyeli Plastiklerin Kullanılması, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 22, No 1, s. 199-205.

- Sarıbıyık, A., (2008). Pultruzyon Metodu ile Üretilmiş CTP Profillerin Kalıcı Sera Tasarımında Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Sönmez, M. (2009). Polimer Matrisli Kompozitlerin Endüstri Ürünleri Tasarımında Önemi Ve Geleceği: Türkiye'den Dört Örnek Firma Üzerinde Bir İnceleme. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Triantafillou, T., (1998). Shear Strenghtening of Reinforced Concrete Beams Using Epoxy-Bonded FRP Composites, ACI Structural Journal, 95 (2), pp. 107-115.
- Turhan, M. (2007). CTP'lerin mekanik özelliklerine elyaf hacim oranlarının etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Yavuz, G., (2011). Lif takviyeli polimerlerin betonarme kirişlerde donatı olarak kullanımı. NWSA, Engineering Sciences, 6(4), 1001-1015.
- Yıldırım, G., (2011). Pultruzyon Metoduyla Üretilmiş CTP Profillerin Şekil ve Boyutlarının Eğilme ve Basınç Dayanımlarına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- URL-1, <https://www.strongwell.com/products> (Erişim tarihi: 21.06.2024).
- URL-2, https://www.kompozit.org.tr/wp-content/uploads/2018/11/CTP_Teknolojisi.pdf (Erişim tarihi: 19.06.2024).
- URL-3, <http://www.pultruzyonmakinesi.com> (Erişim tarihi: 19.06.2024).
- URL-4, <https://www.strongwell.com/advantages/> (Erişim tarihi: 21.06.2024).
- URL-5, <https://pultron.com/insights/pultrusion-frp-advantages/> (Erişim tarihi: 21.06.2024).
- URL-6, <https://structurae.net/en/structures/aberfeldy-footbridge> (Erişim tarihi: 22.06.2024).
- URL-7, <https://structurae.net/en/media/290953-fiberline-bridge> (Erişim tarihi: 22.06.2024).
- URL-8, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lleida_GFRP_Pedestrian_bridge.jpg (21.06.2024)
- URL-9, <https://ecm-academics.plymouth.ac.uk/jsummerscales/composites/bridges.htm#dawlsh> (Erişim tarihi: 22.06.2024).
- URL-10, <https://www.compositesworld.com/articles/disruptive-composite-infrastructure> (Erişim tarihi: 22.06.2024).
- URL-11, <https://www.fibercore-europe.com/en/project/utrecht-a27-lunetten/> (Erişim tarihi: 22.06.2024).
- URL-12, <https://www.gurit.com/rhyl-harbour-bridge-rhyl-wales-uk/> (Erişim tarihi: 22.06.2024).
- URL-13, <https://structurae.net/en/structures/ooypoort-footbridge> (Erişim tarihi: 22.06.2024).