



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



ÇOK KATLI BİNALARDA ÇAPRAZ LAMİNE
AHŞAP TAŞIYICI SİSTEMLERİN
KULLANIMININ İNCELENMESİ

Burak ATİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Nisan-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Burak ATİK tarafından hazırlanan “Çok Katlı Binalarda Çapraz Lamine Ahşap Taşıyıcı Sistemlerin Kullanımının İncelenmesi” adlı tez çalışması 20/04/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof.Dr. Ali KÖKEN

Danışman

Doç.Dr. Günnur YAVUZ

Üye

Dr.Öğr.Üyesi Ali Serdar ECEMİŞ

İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Burak ATİK

Tarih: 20.04.2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇOK KATLI BİNALARDA ÇAPRAZ LAMİNE AHŞAP TAŞIYICI SİSTEMLERİN KULLANIMININ İNCELENMESİ

Burak ATİK

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç.Dr. Günnur YAVUZ

2022, 109 Sayfa

**Jüri
Prof.Dr. Ali KÖKEN
Doç. Dr. Günnur YAVUZ
Dr. Öğr. Üyesi Ali Serdar ECEMİŞ**

Ahşap, insanların barınak inşa etmeye başladığı ilk dönemlerden beri dayanıklılık, ulaşılabilirlik ve işlenebilirliğinden dolayı en çok tercih edilen yapı malzemelerinden biri olmuştur. Fakat 20. yüzyılın başlarında ahşap yapılar büyük oranda terk edilerek beton ve çelik yapı sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. Yapı türündeki bu değişimin sebepleri; nüfusun artmasıyla ahşabın dünya üzerindeki nüfusa göre yeterli olmaması, nitelikli ağaçların azalması, ahşabın yerine geçebilen daha ekonomik malzemelerin bulunması ve dış etkilere karşı daha dayanıklı yapılar oluşturulabilmesidir. Günümüzde sürdürülebilirlik, yenilenebilir enerji kaynakları, küresel ısınma ve sera gazları gibi çevresel kavramların yapı üretimindeki etkileri, yapı malzemeleri üzerine yeniden düşünülmesine neden olmuştur. Yapım endüstrisi dünyadaki enerji kaynaklarının yaklaşık %40'ını tüketmektedir. Ahşap malzemeler karbondioksiti absorbe etme özelliğine sahip olduğu için kullanımının küresel ısınmayı azaltmada etkisi olacağı düşünülmektedir. Yaklaşık son 20 yıldır ortaya çıkan çapraz lamine ahşap paneller çok katlı yapılarda ahşap taşıyıcı sistemlerin kullanılmasına imkân tanımıştır. 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 ağaçların da sektöre kazandırılması sağlanmaktadır. Mevcut ağaç kaynaklarının kullanılmasından çok inşaat sektöründe çapraz lamine ahşap kullanımı amacıyla ağaç yetiştiriciliğinin yapılması ile sürdürülebilir bir çevre oluşturularak, bu malzemeyle ilgili ekonomik olarak ta fayda sağlanabilecektir. Bu çalışmada, yapı malzemesi olarak çapraz lamine ahşabın üretim aşamaları, kullanım alanları, çevresel özellikleri ve taşıyıcı sistem elemanı olarak hesaplama yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca 3, 5 ve 10 katlı tamamen çapraz lamine ahşaptan ve zemin katı betonarme diğer katları çapraz lamine ahşaptan oluşturulan 7 farklı bina modelinin RFEM programında tasarımı ve analizi yapılmıştır. Modellerde bina kat sayısının artması ile zemin katın betonarme olması durumları incelenmiş, tamamen çapraz lamine ahşap taşıyıcı panellerden oluşan bina modelinin yeterli performansı sağladığı görülmüştür. Sonuç olarak, çapraz lamine ahşap kullanımı ile tamamen ahşap taşıyıcı sistem elemanlarından oluşan yeterli dayanıma sahip çok katlı binaların yapılabileceği teorik olarak ta belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: çapraz lamine ahşap, panel, çok katlı bina, yapısal tasarım

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF THE USE OF CROSS LAMINATED TIMBER STRUCTURAL SYSTEMS IN MULTI STOREY BUILDINGS

Burak ATİK

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering**

Advisor: Assoc.Prof.Dr. Günnur YAVUZ

2022, 109 Pages

Jury

Prof.Dr. Ali KÖKEN

Assoc. Prof. Dr. Günnur YAVUZ

Assist. Prof. Dr. Ali Serdar ECEMİŞ

Wood has been one of the most preferred building materials due to its durability, accessibility and workability since the early times when people started building shelters. However, at the beginning of the 20th century, wooden structures were largely abandoned and concrete and steel construction systems were used. The reasons for this change in the type of building; with the increase in the population, the wood is not enough compared to the population in the world, there are no qualified trees, there are more economical materials that can replace wood and more durable structures can be created against external effects. Today, the effects of environmental concepts such as sustainability, renewable energy sources, global warming and greenhouse gases on building production have led to rethinking on building materials. The construction industry consumes about 40% of the world's energy resources. Since wooden materials have the ability to absorb carbon dioxide, it is thought that its use will have an effect on reducing global warming. Cross-laminated wood panels, which have emerged in the last 20 years, have allowed the use of wooden structural systems in multi-storey buildings. The use of cross laminated wood as a load-bearing system member eliminates the weak aspect of wood due to its orthotropic structure. The produced elements provide the same strength in parallel and perpendicular directions to the fibers. Low quality trees are also brought into the sector with these panel members. It will be economically beneficial by creating a sustainable environment with tree cultivation for the purpose of using cross-laminated wood in the construction sector rather than using existing tree resources. In this study, information about the production stages, usage areas, environmental properties and, calculation methods as a structural system member of cross laminated timber was given. Also, the design and analysis of 7 different building models with 3, 5 and 10 storeys completely made of cross-laminated timber and the ground floor reinforced concrete and the other floors made of cross-laminated timber were performed in the RFEM program. In the models, the increase in the number of floors of the building and the case of the ground floor being reinforced concrete were examined. It has been observed that the building model, which consists entirely of cross laminated timber structural panels, gives sufficient performance compared to other models. As a result, it has been theoretically determined that multi-storey buildings with sufficient strength can be built with the use of entirely cross-laminated timber structural panel system members.

Keywords: cross laminated timber, panel, multi story building, structural design

ÖNSÖZ

Çalışmamın planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Günnur YAVUZ'a ve her daim yanımda olan kıymetli eşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Burak ATİK
KONYA-2022



İÇİNDEKİLER

| | |
|-----------------------------------------------------------------|------------|
| ÖZET | iv |
| ABSTRACT..... | v |
| ÖNSÖZ..... | vi |
| İÇİNDEKİLER..... | vii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR..... | x |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI | 3 |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM..... | 7 |
| 4. ÇAPRAZ LAMİNE AHŞAP | 9 |
| 4.1. Çapraz Lamine Ahşabın Tarihsel Gelişimi | 10 |
| 4.2. Çapraz Lamine Ahşabın Avantajları..... | 10 |
| 4.3. Çapraz Lamine Ahşabın Üretim Aşamaları..... | 11 |
| 4.3.1. Kereste Kurutma..... | 12 |
| 4.3.2. Parmak Eklemleri Birleşimler | 12 |
| 4.3.3. Panel Üretimi | 13 |
| 4.3.4. Yapıştırma | 14 |
| 4.3.5. Sıkıştırma İşlemi..... | 14 |
| 4.3.6. Planyalama ve Zımpara İşlemi | 15 |
| 4.3.7. CNC Yönlendirici | 16 |
| 4.3.8. Kalite Kontrol..... | 16 |
| 4.3.9. Marangozluk Bitirme İşleri | 17 |
| 4.4. Çapraz Lamine Ahşabın Özellikleri..... | 17 |
| 4.4.1. Çapraz Lamine Ahşabın Çevresel Performansı..... | 17 |
| 4.4.2. Çapraz Lamine Ahşabın Yangın Dayanımı | 18 |
| 4.4.3. Çapraz Lamine Ahşap Hakkında Mevcut Yönetmelikler | 18 |
| 5. ÇAPRAZ LAMİNE AHŞAP YAPILARA ÖRNEKLER..... | 19 |
| 5.1. Murray Grove Binası..... | 19 |
| 5.2. Limnologen Konutları | 20 |
| 5.3. Open Academy Binası | 20 |
| 5.4. Holz8 Binası | 21 |
| 5.5. Bridport Konutu | 22 |
| 5.6. Forte Living Konutu..... | 23 |
| 5.7. Cennidi Cambiamento Konutları..... | 23 |
| 5.8. Brock Commons Tallwood Binası..... | 24 |
| 6. ÇAPRAZ LAMİNE AHŞAP ELEMANLARIN YAPISAL TASARIMI..... | 25 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 6.1. Çapraz Lamine Ahşap Elemanların Tasarım Değerleri için Düzeltme Katsayıları | 25 |
| 6.1.1. Yükleme Süresi Katsayısı | 25 |
| 6.1.2. Islaklık Hizmet Katsayısı | 26 |
| 6.1.3. Sıcaklık Katsayısı | 26 |
| 6.1.4. Çapraz Lamine Ahşap Panellerde Yükleme | 26 |
| 6.2. Döşeme Boyutlandırması | 30 |
| 6.2.1. Eğilme Etkisinde Döşemenin Boyutlandırması | 30 |
| 6.2.2. Sehîm Hesabı | 32 |
| 6.2.3. Titreşim İçin Döşemelerin Boyutlandırması | 35 |
| 6.3. Taşıyıcı Duvar Boyutlandırması | 35 |
| 6.3.1. Efektif Duvar Basınç Kapasitesi | 35 |
| 6.3.2. Belirgin Eğilme Rijitliği | 36 |
| 6.3.3. Minimum Eğilme Rijitliği | 36 |
| 6.3.4. Burkulma Kapasitesi | 36 |
| 6.3.5. Düzeltilmiş Basınç Kapasitesi | 37 |
| 6.3.6. Düzeltilmiş Eğilme Kapasitesi | 37 |
| 6.3.7. Bileşik Etkiler Altında Kapasite | 38 |
| 6.4. Yangına Göre Tasarımı | 39 |
| 7. DÖŞEME VE DUVAR İÇİN TASARIM UYGULAMASI | 42 |
| 7.1. Döşeme Boyutlandırması | 42 |
| 7.1.1. Eğilme Tahkiki | 42 |
| 7.1.2. Sehîm Tahkiki | 43 |
| 7.1.3. Titreşim Tahkiki | 44 |
| 7.1.4. Yangın Tahkiki | 44 |
| 7.2. Duvar Boyutlandırması | 46 |
| 7.2.1. Basınç Kapasitesi Tahkiki | 47 |
| 7.2.3. Yangın Tahkiki | 48 |
| 8. ÇAPRAZ LAMİNE AHŞAP PANELLER ARASINDAKİ BAĞLANTILAR ... | 53 |
| 8.1. Döşeme Plakaları Arasındaki Bağlantı (A Detayı) | 54 |
| 8.2. Duvar- Duvar Arası Bağlantı (B Detayı) | 55 |
| 8.3. Duvardan Döşemeye Bağlantı (C-D Detayı) | 56 |
| 8.4. Temelden Duvara Bağlantı (E Detayı) | 57 |
| 8.5. Çivilenmiş Metal Braketin Hesabı | 58 |
| 8.5.1. Yanal Tasarım için Bağlantı Hesabı | 59 |
| 8.5.2. Çekme Durumu için Bağlantı Hesabı | 61 |
| 9. ŞANTIYEDE ÇAPRAZ LAMİNE AHŞAP | 63 |
| 9.1. Ulaştırma ve Şantiye Sınırlamaları İle İlgili Hususlar | 63 |
| 9.2. Şantiyede Malzemelerin Depolanması | 64 |
| 9.3. Çapraz Lamine Ahşap Elemanların Kaldırılması ve Taşınması | 64 |
| 9.3.1. Askı ve Bağlama Sistemleri | 64 |
| 10. ÇOK KATLI ÇLA YAPI TASARIMI | 66 |
| 10.1. Deprem Tasarım Parametreleri | 69 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------|
| 10.1.1. Sabit Y¼kler (G) | 73 |
| 10.1.2. Hareketli Y¼kler (Q)..... | 74 |
| 10.1.3. Kar Y¼k¼ (S) | 75 |
| 10.1.4. R¼zgar Y¼k¼ (W_x , W_y) | 75 |
| 10.2. Y¼k BirleŒimleri | 77 |
| 10.3. Deprem Etkisinin Tanımlanması ve Diğer Etkilerle BirleŒtirilmesi..... | 78 |
| 10.4. RFEM İle apraz Lamine AhŒap Malzeme Tasarımı | 79 |
| 10.4.1. Program Girdileri..... | 79 |
| 10.4.1.1. Malzeme seçimini ve rijitlik değerleri..... | 80 |
| 10.4.1.2. RFEM programında y¼netmelikten alınan değerler..... | 82 |
| 10.4.2. Program ıktıları | 85 |
| 10.4.2.1. Gerilme değerleri..... | 85 |
| 10.4.2.2. D¼Œeme deplasmanları..... | 90 |
| 10.4.2.3. Tasarımda kullanılan panellerin ağırlığı..... | 91 |
| 10.5. Modelin Dinamik Tasarımı | 91 |
| 10.5.1. K¼tlelerin Modellenmesi..... | 92 |
| 10.5.2. RFEM Programında Tasarım Spektrum Değerlerinin Girilmesi | 93 |
| 10.5.3. RFEM Programında Deprem Y¼klerinin Tanımlanması | 93 |
| 10.5.4. Analiz Sonuçları | 94 |
| 10.6. T¼m Bina Modellerine ait Sonuçların KarŒılaŒtırması | 100 |
| 11. SONUÇLAR..... | 104 |
| 12.KAYNAKLAR..... | 106 |

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

| | |
|---------------|------------------------------------------------------------------------|
| a_{char} | :Kömürleşen derinlik |
| a_{eff} | :Tasarımda kullanılan efektif kömürleşme derinliği |
| $A_{paralel}$ | :Paralel olduğu laminasyonların alanları |
| β_n | :Nominal kömürleşme oranı |
| C_D | :Yükleme süresi katsayısı |
| C_F | :Boyut katsayısı |
| C_M | :Islaklık hizmet katsayısı |
| C_L | :Kiriş stabilite katsayısı |
| C_P | :Kolon stabilite katsayısı |
| C_t | :Sıcaklık katsayısı |
| C_T | :Burkulma rijitliği katsayısı |
| E | :Malzemenin elastisite modülü |
| EI_{app} | :Belirgin eğilme rijitliğine |
| EI_{appmin} | :Minimum eğilme rijitliği |
| EI_{eff} | :Efektif eğilme rijitliği |
| E_d | :Doğrultu birleştirmesi uygulanmış tasarıma esas toplam deprem etkisi |
| $E_{d(H)}$ | :Doğrultu birleştirmesi uygulanmış tasarıma esas yatay deprem etkisi |
| F_b | :Malzemenin eğilme dayanımı |
| F_c | :Basınç gerilmesi dayanımı |
| F_s | :Katmanların ayrılma dayanımı |
| F_v | :Kesme gerilmesi dayanımı |
| F_t | :Çekme gerilmesi dayanımı |
| $F_b S_{eff}$ | :Eğilme momenti dayanımı |
| G | :Sabit yük |
| G_i | :Katmanların kayma rijitlik modülü |
| GA_{eff} | :Efektif kayma rijitliği |
| h_{lam} | :Bir katmanın kalınlığı |
| L | :Duvarın yüksekliği, döşemenin uzunluğu |
| l_{max} | :Maximum döşeme açıklığı |
| M_b | :Herhangi bir etkiye maruz kalmamış malzemenin eğilme momenti dayanımı |
| M'_b | :Ortam koşullarına maruz kalmış malzemenin eğilme momenti dayanımı |
| M_{max} | :Taban panelindeki yükleme sonucu oluşan maksimum moment |
| n_{lam} | :Kömürleşmiş katman sayısı |
| n | :Hareketli yük katılım katsayısı |
| P_c | :Efektif duvar basınç kapasitesi |
| P_{cE} | :Kolon burkulma dayanımı |
| P_c^* | :Referans basınç tasarım değeri |
| S_{eff} | :Malzemenin efektif kesit modülü |
| S_{DS} | :Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı |
| t | :Yangına maruz kalma süresi |
| t_{gi} | :Yangının bir katmanın yapıştırıcı kısmına ulaşma süresi |
| W_{hrkt} | :1 ft birim genişlik için hareketli yük |
| W_{wind} | :1 ft birim genişlik için rüzgar yükü |
| W_{zati} | :1 ft birim genişliğe için zati yük |

- $w_{G,i}^{(s)}$:Zati ağırlık
 $w_{Q,i}^{(s)}$:Hareketli yüklerin oluşturduğu ağırlık
Q :Hareketli Yük
 Δ_{max} :Yüklemeden dolayı döşemede oluşan sehim

Kısaltmalar

- AFAD :Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
DD-2 : Aşılma Olasılığı 50 Yılda %10 Olan Deprem Yer Hareketi Düzeyi
APA :Amerika Kontrplak Birliği (American Plywood Association)
ASCE :Amerikan İnşaat Mühendisleri Birliği (American Society of Civil Engineers)
ASD : Allowable Stress Design
ASTM :Amerikan Standartları (American Society of Testing Materials)
AWC :Amerikan Ahşap Konseyi (American Wood Council)
ÇLA :Çapraz Lamine Ahşap
IBC :Uluslararası Yapı Yönetmeliği (International Building Code)
PRG :Performans Dereceli Çapraz Lamine Ahşap İçin Yönetmelik
(Standard for Performance-Rated Cross-Laminated Timber)
CNC :Bilgisayar Sayımlı Yönetim (Computer Numerical Control)
GKT :Güvenlik Katsayıları ile Tasarım
LRFD : Load and Resistance Factor Design
NDS :Ulusal Tasarım Şartnamesi (National Design Specification)
YDKT :Yük Dayanım Katsayıları ile Tasarım
ULS :Taşıma Gücü Sınırladırması (Ultimate Limit State)
SLS : Hizmet Verebilirlik Sınırladırması (Serviceability Limit State)
TS 498: Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri,
1997

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. 20. yüzyılın başlarında ahşap terkedilerek dayanımı daha yüksek olan, daha yüksek katlı binalar yapılabilen betonarme ve çelik taşıyıcı sistemler kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca ahşabın dünya üzerinde nüfusa göre azalması ve pahalılaşması alternatif malzemelerin kullanımına yol açmıştır.

Sürdürülebilirlik, küresel ısınma ve yenilenebilir enerji kaynakları kavramlarının ortaya çıkmasıyla birlikte yapılarda kullanılan malzemeler üzerinde yeniden düşünülmeğe başlanılmıştır. Eskiden 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).

Ahşabın tasarımının, imalatının ve montajının kolay olması inşa süresini kısaltmaktadır. Yenilenmesi kolaydır ve yüksek enerji verimliliğine sahiptir. Çelik ve betondan daha yalıtkan bir malzeme olup soğuk iklimlerin yaşandığı ülkelerde özellikle tercih edilmektedir. Ayrıca bina ağırlığının diğer bazı yapı türlerine göre daha az olması depremde binaya etkiyen deprem yükünün azalmasını sağlamaktadır.

Amerika'daki konutların ortalama %90'ının ahşap yapılardan oluştuğu bilinmektedir. Almanya'da tüm yapıların sadece %23'ünün Fransa'da ise %17'sinin betonarme olduğu, Türkiye'de ise bu oranın %95 olduğu belirtilmektedir. 7 cm kalınlığında ahşap bir duvar, 50 cm kalınlığında beton bir duvarın ısı ve ses izolasyonuna sahiptir (Bilgin, 2009).

Kütle ahşap ürünlerinin kullanılmasıyla oluşan çapraz lamine ahşap yapılar betonarme, çelik ve yığma sistemlere alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Çapraz lamine ahşap 1990'lı yılların başında İsviçre'de tanıtılan, 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. Durağan 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. Günümüzde çapraz lamine ahşap çok katlı yapılarda da kullanılabilir.

Çapraz lamine ahşap elemanlar yüksek dayanım, stabilite ve rijitliği ile çok katlı yapılarda ahşap taşıyıcı sistemlerin kullanılmasına imkân tanımıştır. Çok katlı yapılarda, daha hafif olması sebebiyle yapıya etkiyen deprem yükleri azalmaktadır. Çapraz laminasyon, yapısal olarak ahşabın zayıf yönlerini ortadan kaldırmaktadır. Malzeme büyüme halkalarına paralel taşımada yüksek değerler alırken büyüme halkalarına dikey yüklerde zayıf değerler almaktadır. İki yönde taşıma gücü sağlamak için malzemeler birbirlerine dikey yönde yerleştirilerek çapraz lamine ahşap paneller oluşturulmaktadır. Çapraz lamine ahşaptaki çapraz laminasyon, sisteme donatı etkisi sağlayarak çapraz lamine ahşap parçalarının 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.

Bu tez çalışmasında, öncelikle yapı malzemesi olarak çapraz lamine ahşabın üretim aşamaları, kullanım alanları, çevresel özellikleri ve taşıyıcı sistem elemanı olarak hesaplama yöntemleri hakkında bilgi verilmiş, daha sonra kat sayıları farklı çapraz lamine ahşap taşıyıcı sistem elemanlarından oluşan çok katlı bina modellerinin tasarımı ve analizi yapılmıştır. Bina modellerinin analizinde RFEM sonlu eleman analiz programı kullanılarak sadece çapraz lamine ahşap (ÇLA) panel taşıyıcı sistemden oluşan ve zemin katı betonarme diğer katları çapraz lamine ahşap panel taşıyıcı sistemden oluşan 3, 5 ve 10 katlı yapı modelleri için elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Dujic ve ark. (2010) çalışmalarında, tasarımını yaptıkları 13.5x7.5 m kat alanından oluşan toplam 23.5 m yüksekliğinde 7 katlı bina 2007 yılı ekim ayında Japonya'nın Miki kenti Hyogo Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi'nde sarsma masası ile deprem testine tabi tutulmuştur. Yapının duvarları için ilk iki katında 142 mm kalınlığında, üç ve dördüncü katlarında 125 mm ve son üç katta ise 85 mm kalınlığında ÇLA duvar panelleri kullanılmıştır. Bütün döşeme panelleri aynı kalınlıkta olup 142 mm ÇLA panellerden oluşmaktadır. 1995 yılında meydana gelen 7.2 büyüklüğündeki Kobe Depremi ve 1995 yılında meydana gelen 6.9 büyüklüğündeki Hanshin-Awaji Depremi olmak üzere iki deprem hareketi 3 ortogonal yön için 7 katlı binaya uygulanmıştır. Toplam yerdeğiştirme X yönü için 287 mm, Y yönü için ise 175 mm olarak elde edilmiştir. Toplam kat kaymasının ise X yönü için %2.4, Y yönü için ise %1.6 olduğu görülmüştür.

Popovski (2010) çalışmasında, çapraz lamine ahşap yapıların birleşim detaylarını incelemiştir. Analiz sonuçlarından uzun duvarlarda basamaklı bağlantı kullanılması durumunda bu bağlantının duvarın sünekliğini arttırdığı belirlenmiştir. Braketlerin ÇLA sistemler için en uygun bağlantı şekli olduğu belirtmiştir.

Lindt ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada, tersinir tekrarlı deney sonuçlarına göre çapraz lamine ahşap perde duvarlar için bir nonlineer yük-dayanım modeli geliştirmişlerdir. Yüksek sismik aktivitesi olan bir bölgede iyi performans gösterecek 6 katlı bir çapraz lamine ahşap bina tasarımının geliştirilmesi ile yapı davranış katsayısının belirlenmesi için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir.

Goremikins ve ark. (2015) çalışmasında, yaptığı deneyleri analiz programları ile karşılaştırarak programların kullanılabilirliğini incelemiştir. Deneylerde 1 m genişliğinde 1.9 m uzunluğunda çapraz lamine ahşap elamanda yük etkisinde oluşan düşey yerdeğiştirme değerleri ölçülmüştür. RFEM ve ANSYS analiz programları ile deney sonuçları arasındaki fark %2 ile %31 arasında bulunmuştur. Maksimum düşey yerdeğiştirmedeki bu farka göre her iki yöntemin mühendislik hesaplamaları için kullanılabileceğini sonucuna varılmıştır.

Basaglia ve ark. (2016) çalışmalarında, çapraz lamine ahşap malzemenin Avustralya ve Yeni Zelanda'da yapılacak orta yükseklikte yapılarda kullanım potansiyelini göstermiştir. Uzun açıklığa sahip ÇLA zeminlerin titreşim özelliklerini hesaplamak için üç yöntem üzerinde çalışılmıştır. Bu yöntemler; analitik yöntemler,

sonlu eleman analizi ve deneysel model analizini içermektedir. Sonlu eleman modellemesinin, uzun açıklıklı ahşap zeminlerin titreşim performansını tahmin ve analiz etmek için en sağlıklı metot olduğu sonucuna varılmıştır.

Burback (2016) çalışmasında, ABD'nin kasırga ve fırtınalara maruz Colorado kentinde iklim koşullarına yönelik tasarım yapmıştır. Bu bölgede ağırlıklı olarak tek katlı hafif çerçevesiz ahşap konutların yaygın olduğunu belirtmiş ve bunlara alternatif olarak kasırga ve fırtına durumlarında daha az hasar alacak, onarılabılır ÇLA yapıları kıyaslamıştır. Yüksek katlı konut inşa projelerinde çelik ve betonla maliyet açısından uyumlu olduğu ancak daha küçük ölçekli projeler için özellikle hafif çerçevesiz ahşap konut inşaata göre ÇLA sistemlerin %21'lik bir maliyet artışına sebep olduğu belirtilmiştir.

Dujic ve ark. (2016) çalışmasında, ÇLA duvar panellerinde açılacak pencere, kapı boşluklarının duvar elemanları üzerindeki rijitlik azalması, kayma dayanımları ve yük taşıma kapasitelerine etkilerini araştırmışlardır. Farklı kombinasyonlarda kayma dayanımı ve rijitlik azalma eğilimlerini değerlendirmek için tam boyutlu ÇLA duvarlarda deneysel çalışma ile sayısal bir model kullanılmış ve model bilgisayar analizi ile doğrulanmıştır. Test sayısının azaltılması için, üç farklı uzunluktaki duvarların açıklıklarındaki 36 konfigürasyon için sayısal bir parametrik çalışma yapılmıştır. Parametrik çalışma, duvar yüzeyinin % 30'u kadar alana sahip açıklıkların yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde azaltmadığını, rijitliğin ise yaklaşık %50 oranında azaldığını göstermiştir.

Espinoza ve Laguarda'nın (2016) çalışmasında, yapılacak 6 katlı bir yapının çapraz lamine ahşap malzeme kullanılması ve diğer yapı malzemeleri kullanılması durumu için maliyet açısından incelemesi yapılmıştır. 5 farklı sistem kullanılarak tasarlanan yapı için tamamen ÇLA kullanılması durumunda maliyet %21.7 kadar düşmüştür. Çalışmada, ayrıca çapraz lamine ahşap yapılarda daha sık betonarme temeller kullanıldığı, uygulanabilirlik ve maliyetin proje türüne ve karmaşıklığına bağlı olarak büyük ölçüde değişeceği belirtilmiştir.

Follesa ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada, İtalya'nın Floransa kentinde 6 katlı bir çapraz lamine ahşap konut binasının projesini baz almışlardır. Toplam uzunluğu 61.5 m, genişliği 15.6 m ve yüksekliği 20 m olan binanın bir kat alanı 865 m² ve toplam kat alanı 5,190 m²'den oluşmaktadır. Eurocode 8 (2016)'da ÇLA için sismik tasarım kurallarının bulunmamasından dolayı çalışmada Eurocode 8'in 8. bölümünün revizyonunda verilen kapasite tasarım kuralları kabul edilmiştir.

Lenon (2016) çalışmasında, Kuzey Amerika'da 12 katlı yanal yük dayanımı yüksek bir çapraz lamine ahşap bina için basitleştirilmiş bir tasarım önermiş, ÇLA kullanımındaki temel amacın sürdürülebilir sistemlerin yapılabilmesi olduğunu belirtmiştir. Yapılan tasarımda ÇLA panellerinin özellikle düşey yüklere karşı dayanıklı olduğu, panellerin yük taşıma durumunda masif ahşap elemanlar gibi davrandığı elde edilmiştir. Yüksek sismik etki ve yüksek rüzgâr etkisi olan bölgelerde ÇLA panelleri ile yapılan binaların yanal yük durumunda hafif çerçevesel binalardan çok daha dayanıklı olduğu belirtilmiştir. ÇLA binalarda bağlantıların sünek yapılması gerektiği ve bu sayede sistemde enerji dağıtımının sağlanacağı, sünek yapılmaması durumunda yüksek ivmelenmeler oluşarak binanın ileri geri salınım devrilme sorununa yol açacağı sonucuna varılmıştır. Bu çalışma, ASCE 7 ELP yöntemini kullanarak sismik bir bölgede yüksek katlı bir ÇLA binası için komple bir yapısal tasarım sürecini ortaya koymaktadır. Büyük ölçekli dinamik testler ile ileri deneysel çalışmalar yapılması gerektiği belirtilmiştir. Konut inşaatı için CLT kullanımının uygun olduğu sonucu elde edilmiştir.

Gijzen (2017) çalışmasında, Amsterdam'daki Hotel Jakarta projesini temel almıştır. Bu çalışmada modüler sistemler kullanılarak otel binası inşa edilmiştir. Kutu sistemler prefabrik olarak üretilip yapıya montajı sağlanmıştır. 8x8 kutudan oluşan bu sistem Hollanda yönetmeliğindeki sınırlamalar kullanılarak tasarlanmıştır. Hesap metotlarında ise Eurocode baz alınmıştır. Tasarlanan 8x8'lik otel binası yüksekliği 2.90 m derinliği 9 m, genişliği 3.50 m olan ÇLA kutu sistemlerden oluşmaktadır. Bina yüksekliği 23.2 m bina uzunluğu ise 28 m'dir. CLT Merk Leno tarafından üretilen kutu sistemlerin zeminleri betondan oluşmaktadır. Duvar ve tavanlar çapraz lamine ahşaptan dizayn edilmiş, zeminlerde beton paneller kullanılmıştır. Tasarım, panellerin tamamen major eksenleri kullanılarak yapılmıştır. Ses ve titreşimin iletiminin %90'ı modül duvarların üzerinden gerçekleştiği için Sylomer elastik mesnet şeritleri kullanılarak ses ve titreşim yalıtımı sağlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda bina uzun ekseninde 41.83 mm, kısa ekseninde ise 9.2 mm deplasman gerçekleştirmiştir. Deplasman değerleri Hollanda Yönetmeliği için belirtilen sınır şartları sağlamıştır.

Poirier (2017) çalışmasında, RFEM sonlu eleman modelleme yazılımını kullanarak Eurocode 5 yönetmeliğine göre Fransa'nın Loire-Atlantique bölgesinde bir binanın tasarımını yapmıştır. Yaklaşık 9 m²'lik odalara sahip 6 katlı bina 20 metre uzunluğa ve 10 metre genişliğe sahiptir. Katların tavan yüksekliği 2.9 metredir. Binanın yalnızca dış duvarları taşıyıcı özelliği sahiptir, iç duvarları bölme duvardır. RFEM

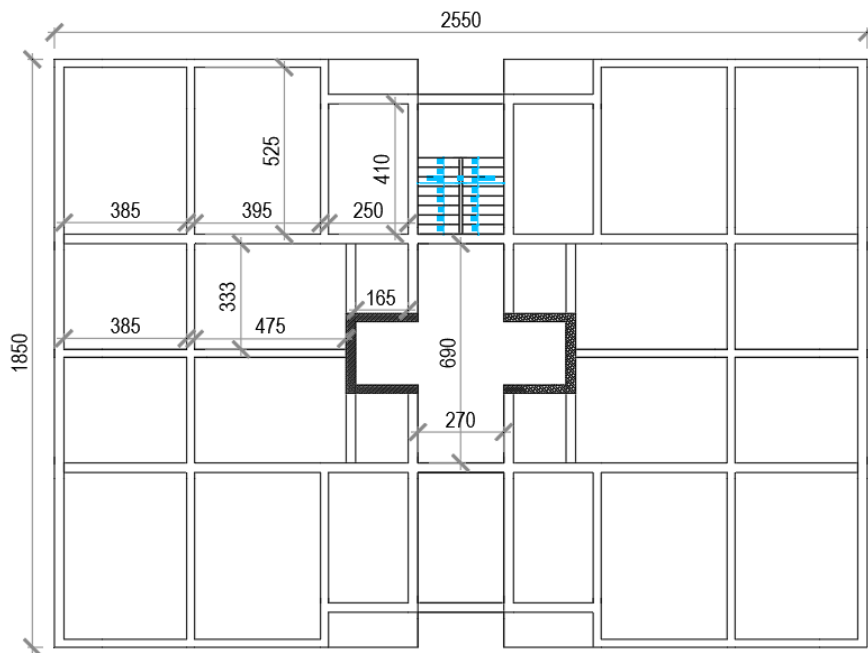
programının doğruluğunu ve mühendislik çalışmalarında kullanılabilirliğini test etmek için programın analiz sonuçları ile hesap metotları ile bulunan sonuçlar karşılaştırarak programın kullanılabilirliği belirlenmiştir. Ayrıca, daha karmaşık sistemler için daha çok çalışma yapılması gerektiği belirtilmiştir.

Kopczynski (2018) çalışmasında, ABD'nin kırsal bölgelerinde orta katlı binalar için çapraz lamine ahşap kullanılarak inşa edilen yapı ile yerinde dökme betonarme yapı taşıyıcı sistemlerini karşılaştırmıştır. Çalışmanın odak noktalarının yapısal tasarım, yapısal maliyet, inşa edilebilirlik, sürdürülebilirlik, yangın ve can güvenliği olduğu belirtilmiştir. Binanın tasarımı, rüzgâr yükünün yanal tasarımı kontrol ettiği bölgede olduğu varsayılarak yapılmıştır. Tasarım sonucunda her iki sistem de yönetmeliklerde belirtilen sınır şartları sağlamıştır. Yüksek sismik bölgelerde kullanılacak çapraz lamine ahşap binalarda döşeme panellerine beton levhaların ilave edilmesinin gerekebileceği öngörülmüştür. Seçilen konut binasında çapraz lamine ahşap paneller ile yapılan yapının maliyeti daha yüksek bulunmuştur. Coğrafi bölgeye göre bu maliyetin değişeceği belirtilmiştir. Yapı malzemesi seçiminin bir binanın kullanım ömrü boyunca tüketilen toplam enerji üzerinde sınırlı etkiye sahip olduğu, binada ısıtma, soğutma, aydınlatma ve işletme için gerekli olan enerjinin yapı üretiminde toplam tüketilen enerjinin %95'inin üzerinde olduğu ve yapının kullanımından bir süre sonra betonarme sistemlerden daha ekonomik olabileceği belirtilmiştir. ÇLA'nın bünyesine karbon depoladığını ve çevresel performans için ÇLA'nın avantajlı olduğunu belirtmiştir. ÇLA sistemin dezavantajı olarak betonarme sistemlere göre zemin titreşimlerinde daha hassas olduğu sonucunu elde etmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada öncelikle ülkemizde çok yaygın kullanım alanı olmayan Çapraz Lamine Ahşap (ÇLA) malzemesi incelenmiş, daha sonra dünyada bu malzeme ile inşa edilmiş çok katlı yapı örnekleri sunulmuştur. Malzeme dayanımlarının çözümleri incelenerek ÇLA taşıyıcı sistem elemanlarının ANSİ/APA PRG-320 (2018), AWC-NDS (2018) ve ICC-IBC (2018) yönetmeliklerine göre hesap metotları açıklanmıştır. ÇLA ile ilgili örnek hesaplamalarda Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT/ASD) yöntemi kullanılmış, RFEM programında ise kullanılabilirlik sınır durumunda Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT/ASD) yöntemi, nihai sınır durumlar için analizlerde Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT/LRFD) yöntemi kullanılmıştır.

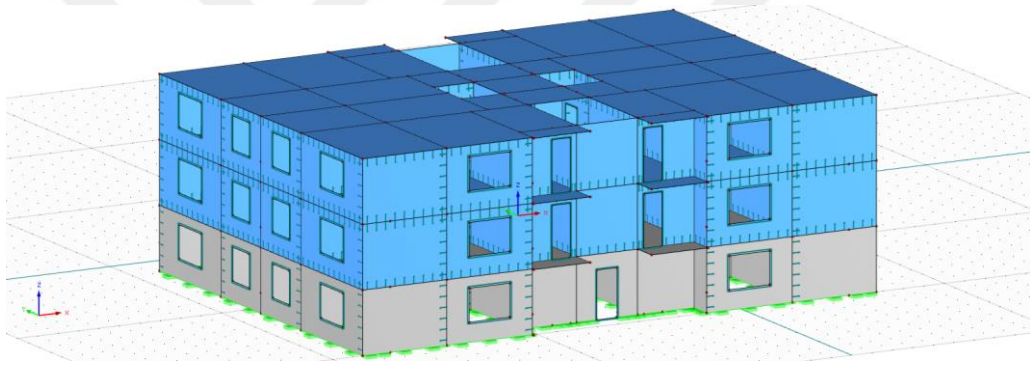
Bu tez çalışmasında, RFEM programında 7 farklı bina modelinin analizi yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Konut planının boyutları 18.50 x 25.50 m, kat yüksekliği 2.90 m'den oluşan bina modelleri sırayla, zemin katı betonarme, 2 katı ÇLA panellerden oluşan 1 numaralı yapı, tüm katları ÇLA panellerden oluşan 3 katlı 2 numaralı yapı, zemin katı betonarme, 4 katı ÇLA panellerden oluşan 3 numaralı yapı, tüm katları ÇLA panellerden oluşan 5 katlı 4 numaralı yapı, zemin katı betonarme 9 katı ÇLA panellerden oluşan 5 numaralı yapı, tüm katları ÇLA panellerden oluşan 10 katlı 9 numaralı yapı ve tüm katları betonarme duvarlardan oluşan 10 katlı 7 numaralı yapıdan oluşmaktadır. Şekil 3.1'de tasarımı yapılan bina modelinin tipik kat planı gösterilmiştir.



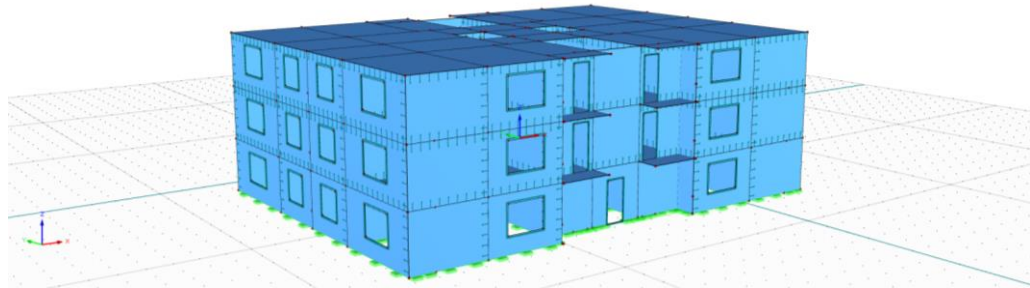
Şekil 3.1 Tasarımı yapılan bina modelinin tipik kat planı (ölçüler cm'dir)

ÇLA panellerden oluşan yapıların duvar ve döşemeleri 5 katmanlı panel kullanılarak oluşturulmuş ve $35 \text{ mm} \times 5 = 175 \text{ mm}$ kalınlıktan oluşmaktadır. Betonarme duvar kalınlıkları 200 mm olarak belirlenip döşeme kalınlıkları ise 120 mm olarak seçilmiştir. Tasarımda ÇLA panel boyutları en kritik model olan 6 numaralı modele göre tasarlanmıştır. Değişen değerlerin kıyaslanabilmesi için malzeme özellikleri aynı alınmıştır.

Yapının yapılacağı yer olarak Ankara ili Keçiören ilçesinde yapılmakta olan Şehir Hastanesi'nin yakınında kentsel dönüşüm proje alanı seçilmiştir. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) web sayfasından seçilen yapı bölgesine göre analizler için gerekli olan dizayn spektrum değerleri elde edilmiştir. Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te örnek olarak sırasıyla 1 ve 2 numaralı yapı için 3 boyutlu bina modeli görülmektedir.



Şekil 3.2 1 numaralı zemin katı betonarme duvarlardan diğer katları ÇLA malzemedan oluşan yapı



Şekil 3.3 2 numaralı tamamı ÇLA malzemedan oluşan yapı

4. 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 malzemedan daha yüksek değerde 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 tüketiciyi memnun edecek ve gerekli ihtiyaçları karşılayacak 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 4.1) 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 N/mm² basınçla yapıştırılmış, mukavemetli boyutsal kararlılığa sahip ve rijit elemanlardır (Güzel ve Yesügey, 2015).



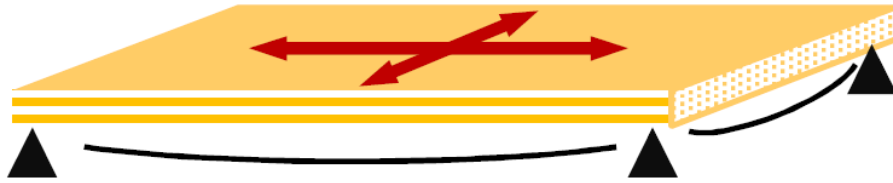
Şekil 4.1 Çapraz lamine ahşap konsepti ve çapraz lamine ahşap paneli (Lindt ve ark., 2013)

4.1. Çapraz Lamine Ahşabın Tarihsel Gelişimi

Çapraz lamine ahşap dünya inşaat sektörünün yeni ilgi duymaya başladığı bir yapı malzemesidir. Kütle ahşap ürünlerinin kullanılmasıyla oluşan bu yapılar betonarme, çelik ve yığma sistemlere alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Çapraz lamine ahşap 1990'lı yılların başında İsviçre'de tanıtılan Avrupa'da konut ve sosyal tesislerde popülerlik kazanmış yenilikçi bir üründür. 1990'ların ortalarında Avusturya'da, modern çapraz lamine ahşabın gelişmesi için endüstri ve akademik çalışmalar yapılmıştır. Durağan 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 kullanılmaya başlanmıştır (Bilek ve ark., 2013).

4.2. 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. Çapraz lamine ahşap sistemler çelik, betonarme ve ahşap çerçeve yapılar ile rahatlıkla bütünleşebilmektedir.



Şekil 4.2 İki yönlü yük aktaran çapraz lamine ahşap panel (Brenamann, 2016)

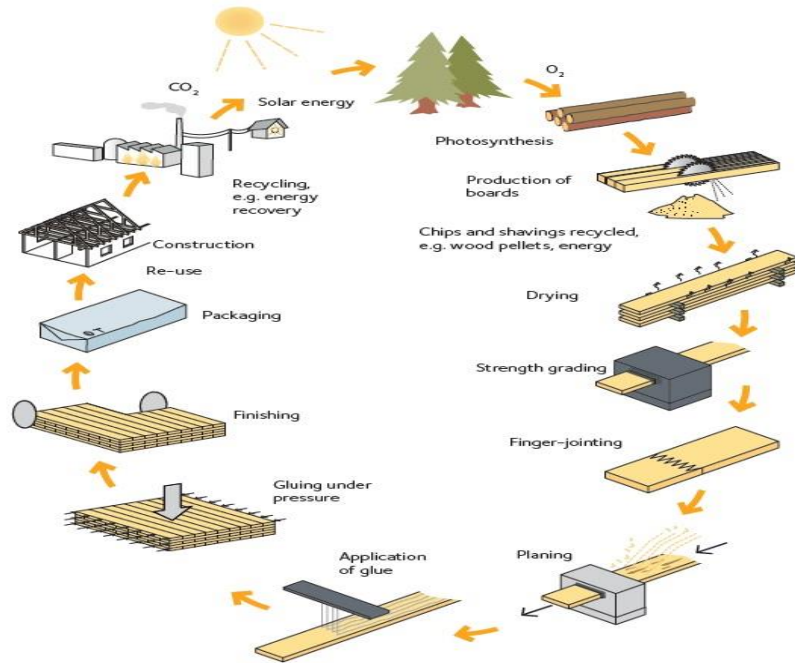
Çapraz lamine ahşap malzemesinden taşıyıcı veya taşıyıcı olmayan yapı elemanları üretilebilmektedir. Eğilme kapasitesinin yüksek olması nedeniyle yatay konumda döşeme olarak, kesme kapasitesinin çok yüksek olmasından dolayı dikey konumda perde duvar yapı elemanı olarak kullanılabilir. Duvar panelleri dinamik yüklere karşı oldukça dayanıklıdır. Hacimce betondan %75 daha hafiftir (Landreman, 2017). Hafif olması deprem yüklerinin yapıya daha az etkimesini sağlamaktadır.

Panellerin tek parça olarak üretilebilmesi ve ahşap malzemenin doğal bir ısı ve ses yalıtım malzemesi olması çapraz lamine ahşabın önemli avantajlarından. Isıl verimlilik olarak betondan 15 kat çelikten ise 400 kat daha verimlidir (Waugh, 2018).

Döşeme ve panellerin sürekliliği parmak eklemlerle sağlanır. Üretim şekli itibarıyla ince katmanlardan oluşması hatalı kısımların tespiti ve düzeltilmesi için büyük kolaylık sağlamaktadır. Bu sayede yapısal kusurlar en düşük seviyededir.

4.3. Çapraz Lamine Ahşabın Üretim Aşamaları

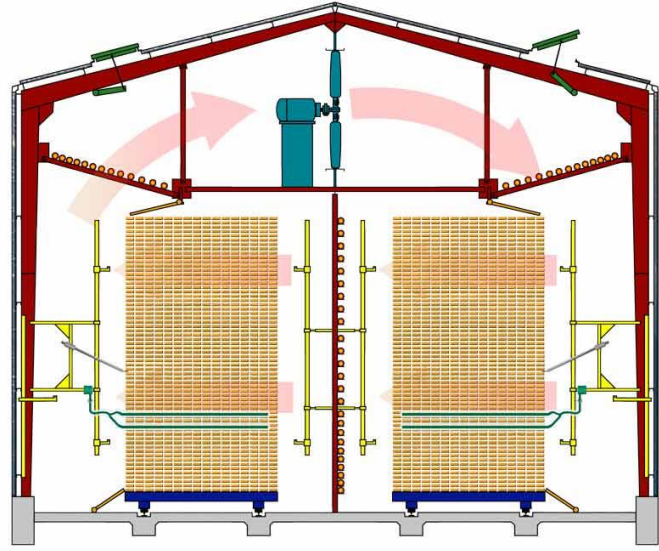
Başarılı bir çapraz lamine ahşap panel üretiminin parametreleri, kereste kalitesindeki tutarlılık ve yapıştırıcı bağının kalitesini etkileyen parametrelerin kontrolü olmaktadır. Montaj işlemi kullanılan donanımlara ve yapıştırıcı kalitesine bağlı olarak 15 ile 60 dakika arasında sürebilmektedir. Çapraz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



Şekil 4.3 Çapraz lamine ahşap üretim aşaması ve karbon döngüsü (Gustafsson, 2019)

4.3.1. Kereste Kurutma

Tipik keresteler kullanılacak bölgeye bağılı olarak %12±%2 nem içeriğinde fırınlanmış olmalıdır (ANSI/APA PRG-320, 2018). Uygun nem içeriği boyutsal değişiklikleri ve yüzey çatlama larını önlemektedir. Kerestelerin kurutulması için Şekil 4.4'teki gibi bir tesis kurulması gerekmektedir.



Şekil 4.4 Kereste kurutma tesisi (URL- 1)

4.3.2. Parmak Eklemlı 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 4.5).

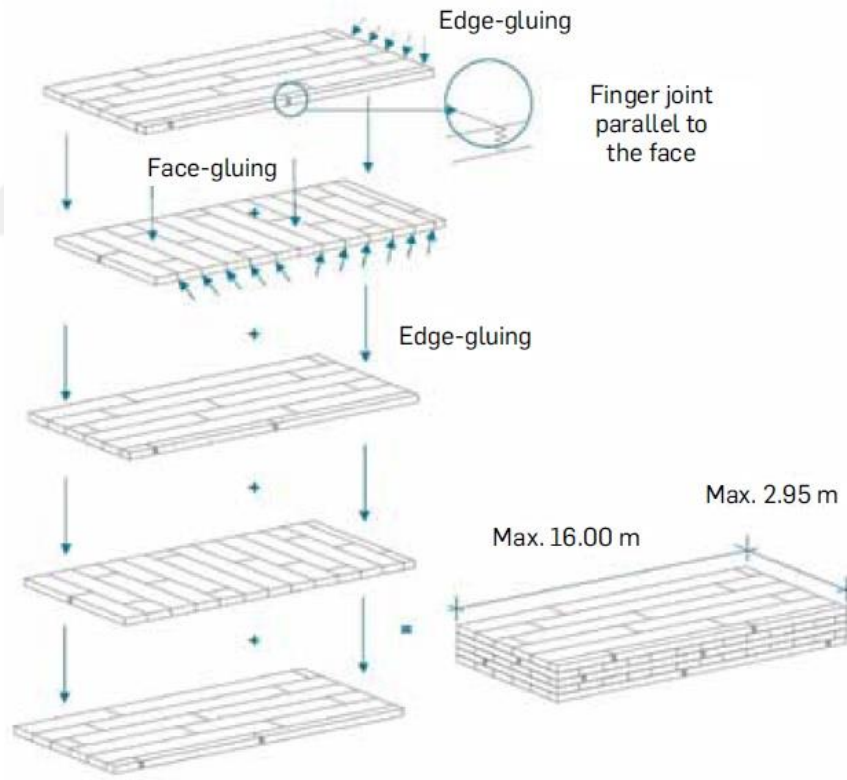


Şekil 4.5 Parmaklı birleşim için hazırlanmış kesit (URL- 2)

4.3.3. 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 getirilmesiyle nihai genişlik elde edilmektedir. Yapıştırmanın yanı sıra tabakaları bağlamak için çiviler veya tahta dübeller kullanılabilir.



Şekil 4.6 Panel üretim aşamaları (Stora Enso, 2015)

4.3.4. Yapıştırma

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



Şekil 4.7 Katmanlar arası yapıştırıcı uygulaması (URL- 3)

4.3.5. 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. 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, 2016).



Şekil 4.8 Pres makinesi ile katmanların sıkıştırılması (URL- 4)

4.3.6. Planyalama ve Zımpara İşlemi

Yapıştırma ve sıkıştırma sonucu birleştirilen panellerin yüzeysel pürüzsüzlüğünü sağlamak için planyalama ve zımpara işlemleri yapılmaktadır. Şekil 4.9'da planyalama ve zımpara makinesi görülmektedir.



Şekil 4.9 Birleştirilmiş panel yüzeylerinin makine aracılığıyla planyalanması ve zımparalanması (URL- 5)

4.3.7. CNC Yönlendirici

Panellere yüksek hassasiyet sağlayan CNC cihazlar ile pencere, kapı, bağlantı ve kanal boşlukları milimetrik olarak açılmaktadır. Şekil 4.10'da herhangi bir konfigürasyonda çalışan CNC makine gösterilmektedir.



Şekil 4.10 Panellere CNC yönlendirici ile boşlukların açılması (URL- 6)

4.3.8. Kalite Kontrol

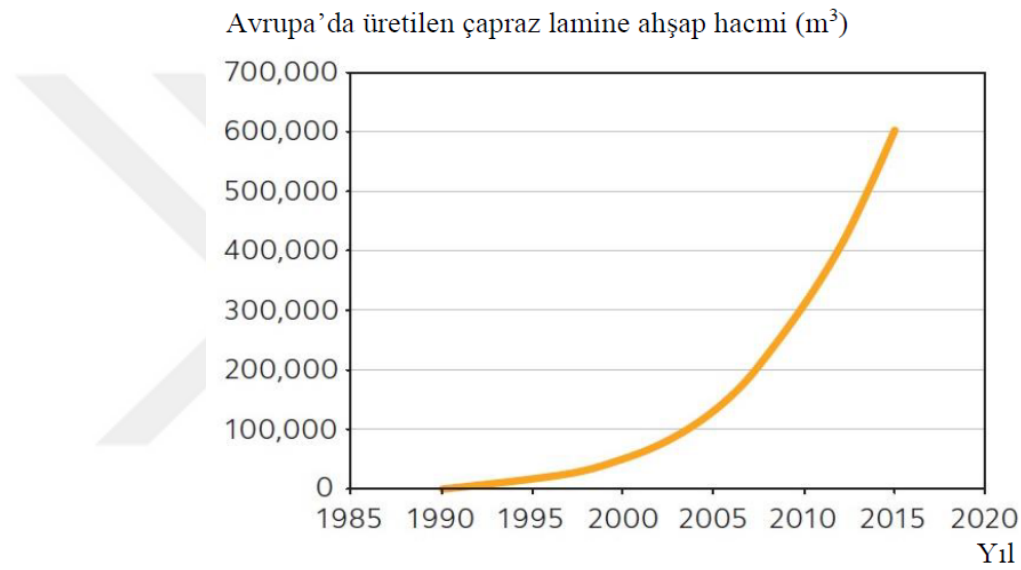
Ürün standartlarında öngörülen gereksinimlere uygunluk fabrika ortamında kontrol edilmelidir. Ürünü temsil eden numuneler üzerinde yapılan kalite güvence testlerinin sonuçları beklenerek üretim yapılmalıdır. Numuneye eğilme dayanımı, kesme dayanımı ve delaminasyon testleri yapılmaktadır. Delaminasyon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



Şekil 4.11 Delaminasyon testine tabi tutulmuş numuneler (Aicher ve Reinhardt, 2007)

4.3.9. Marangozluk Tamamlama İşleri

Çapraz lamine ahşabın fabrika üretimindeki son aşamasıdır. Bu aşamada, ortaya çıkan çok katmanlı panellerin cilalması 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 4.12’de Avrupa ülkelerinde çapraz lamine ahşap üretim hacminin yıllara göre dağılımı görülmektedir.



Şekil 4.12 Avrupa’da çapraz lamine ahşabın yıllara göre üretim hacmi (Gustafsson, 2019)

4.4. Çapraz Lamine Ahşabın Özellikleri

4.4.1. 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 ÇLA’yı çevre dostu kılar.

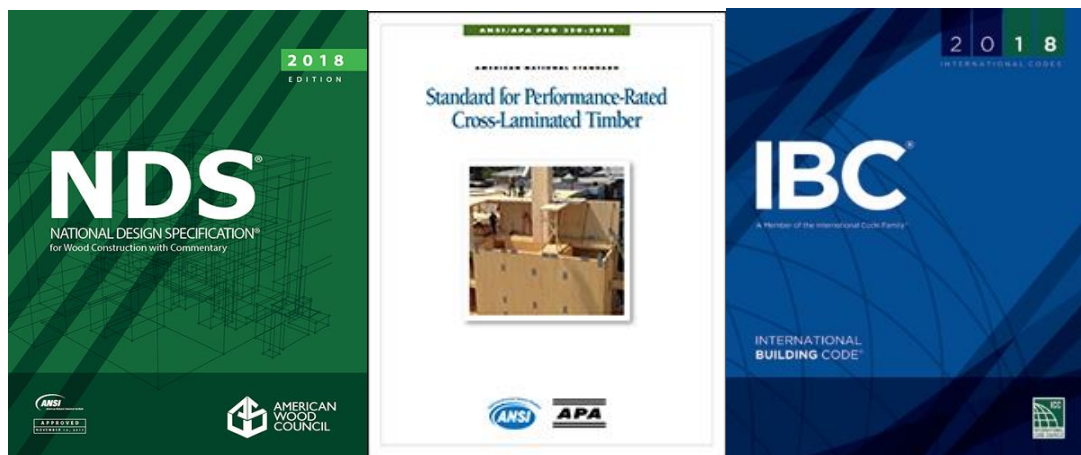
4.4.2. Çapraz Lamine Ahşabın Yangın Dayanımı

Çapraz lamine ahşap malzemesinin yangına 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 arttırmak, tabaka kalınlığını arttırmak 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).

4.4.3. 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 (Şekil 4.13). NDS'de tasarım için gerekli hesaplamalar, sınırlamalar, birleşim malzemesi hesapları yer almaktadır. IBC'de ise tasarım için bazı sınırlamalar verilmiştir.



Şekil 4.13 Üretim ve uygulama aşamalarında kullanılan yönetmelikler (NDS,2018,PRG320,2018,IBC, 2018)

5. ÇAPRAZ LAMİNE AHŞAP YAPILARA ÖRNEKLER

5.1. Murray Grove Binası

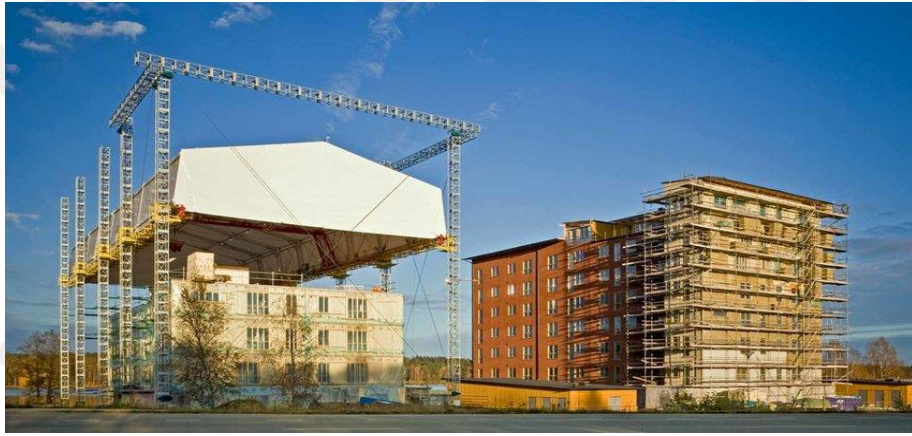
Murray Grove Binası inşa edildiği dönemde ahşap taşıyıcı sistemler kullanılarak yapılan dünyanın en yüksek binası olmuştur (Şekil 5.1). Bina, Londra'nın Hackney Semti'nde bulunan dokuz katlı bir konut binasıdır. Günümüzde Avustralya'daki Forte Apartmanı'ndan sonra gelen en yüksek ikinci ahşap konut yapısıdır. 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 5.1 Murray Grove binası (Waugh, 2018)

5.2. Limnologen Konutları

Limnologen Konutları, İsveç'in en büyük ahşaptan imal edilmiş konut yerleşimi olma özelliğini taşımaktadır (Şekil 5.2). Mimari bir proje yarışmasında birinci olan Mimar Ola Malm'ın tasarımıdır. 8 katlı ve 4 bloktan oluşan bu yerleşim 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 5.2 Limnologen Konutları (Gassparri ve ark., 2015)

5.3. Open Academy Binası

Open Academy binası hibrit bir sistem olup ağırlıklı olarak yük taşıyan çapraz lamine ahşap panellerden inşa edilmiştir (Şekil 5.3). Döşeme ve yük taşıyıcı duvarlar çapraz lamine ahşap malzemenin 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 malzemenin 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 5.3 Open Academy binası (URL- 7)

5.4. Holz8 Binası

Holz 8 binası, mimar Schankula tarafından sıfır enerji harcayan bir kasaba oluşturmak düşüncesinden yola çıkarak tasarlanmıştır (Şekil 5.4). 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 5.4 Holz 8 binası (URL- 8)

5.5. Bridport Konutu

Londra'nın Hackney Semtinde inşa edilen Bridport konutu 2011 yılında tamamlanmıştır (Şekil 5.5). 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 5.5 Bridport konutu (URL- 9)

5.6. Forte Living Konutu

Forte Living konutu, 2012 yılında Avustralya'nın Melbourne kenti şehir merkezinde 10 katlı ve 32.17 m yüksekliğinde inşa edilmiştir (Şekil 5.6). 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 5.6 Forte Living konutu (Patterson, 2014)

5.7. 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 5.7). Bu yapı çapraz lamine ahşabın İtalya inşaat sektörüne girmesini 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. 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 5.7 Cennidi Cambiamento konutları (URL- 10)

5.8. 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 5.8). 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 (Anonymous, 2019).



Şekil 5.8 Brock Commons Tallwood binası (URL- 11)

6. ÇAPRAZ LAMİNE AHŞAP ELEMANLARIN YAPISAL TASARIMI

6.1. 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. Farklı tasarım değerlerinde kullanılan bu katsayılar NDS (2018) Tablo 5.3.1'de verilmektedir (Çizelge 6.1.).

Çizelge 6.1 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 | Zaman Etki Katsayısı |
| | | | | | | | K_F | Φ | | |
| $F_b(S_{eff})' = F_b(S_{eff})$ | x | C_D | C_M | C_t | C_L | - | - | 2.54 | 0.85 | λ |
| $F_t(A_{paralel})' = F_t(A_{paralel})$ | x | C_D | C_M | C_t | - | - | - | 2.70 | 0.80 | λ |
| $F_v(t_v)' = F_v(t_v)$ | x | C_D | C_M | C_t | - | - | - | 2.88 | 0.75 | λ |
| $F_s(Ib/Q)'_{eff} = F_s(Ib/Q)_{eff}$ | x | C_D | C_M | C_t | - | C_P | - | 2.40 | 0.90 | λ |
| $F_{c\perp}(A)' = F_{c\perp}(A)$ | x | - | C_M | C_t | - | - | C_b | 1.67 | 0.90 | λ |
| $(EI)'_{app} = (EI)_{app}$ | x | - | C_M | C_t | - | - | - | - | - | - |
| $(EI)'_{app-min} = (EI)_{app-min}$ | x | - | C_M | C_t | - | - | - | 1.76 | 0.85 | - |

6.1.1. 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.

6.1.2. Islaklık Hizmet Katsayısı

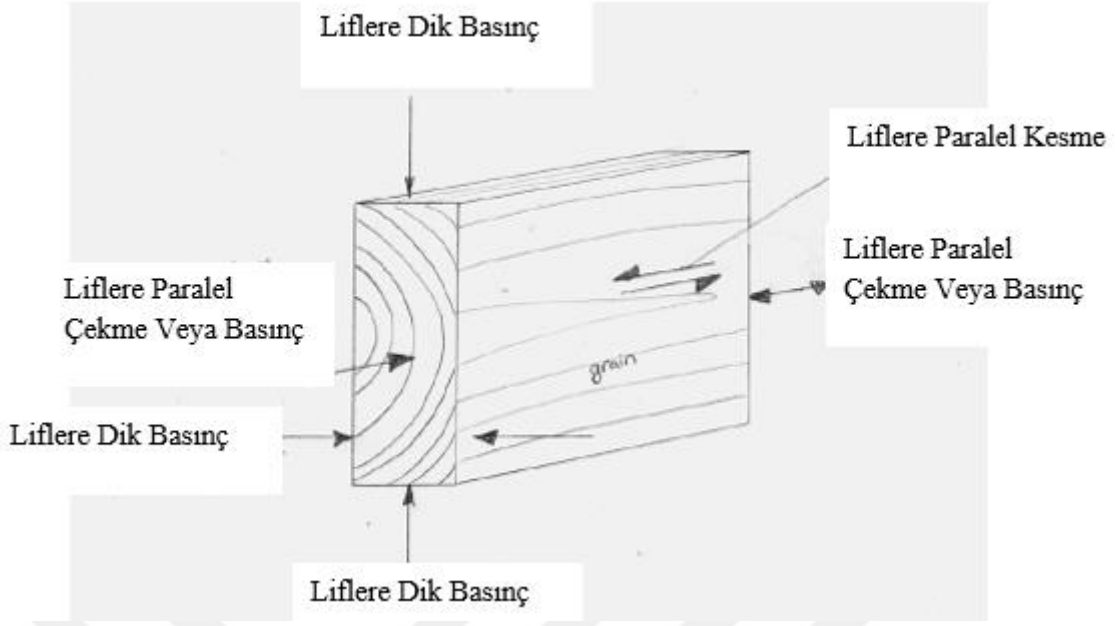
Islak ve kuru koşullara maruz kalan ahşap bir eleman, s¼rekli kuru ortamda bulunan ahşap elemandan daha ¼nce bozularak dayanımını yitirmektedir. Islaklık hizmet katsayısı ahşabın dayanım ¼zelliklerini, uygun kuru şartların bulunmadığı durumlarda gerekli katsayılarla ¼arpılarak dayanım i¼in gerekli şartları sağlamaktadır. Kuru hizmet koşulları, yapısal yapıştırılmış lamine ahşap i¼in ¼oęu kapalı yapıda olduğu gibi hizmet koşullarında "%16'dan az nem i¼erięi" olarak tanımlanmaktadır. PRG-320 (2018)'e g¼re üretim sırasında laminasyonların nem i¼erięinin %15'ten fazla olmaması gerekmektedir. Panellerin ¼oęu kuru hizmet koşullarında kullanılmak ¼zere ¼retilmektedir.

6.1.3. Sıcaklık Katsayısı

¼apraz lamine ahşap malzemede kullanılan yapıştırıcı ve ahşap malzemeden dolayı sıcaklık 150 °F (66 °C) ¼zerine ¼ıktığında malzeme dayanım ¼zelliklerini yitirmektedir. Sıcaklık katsayısı 150 °F (66 °C) ¼zerine sıklıkla ¼ıkan ve bu olayın s¼rekli tekrarlandığı ortamlarda uygulanmış ¼apraz lamine ahşap malzemeler i¼in dikkate alınmaktadır.

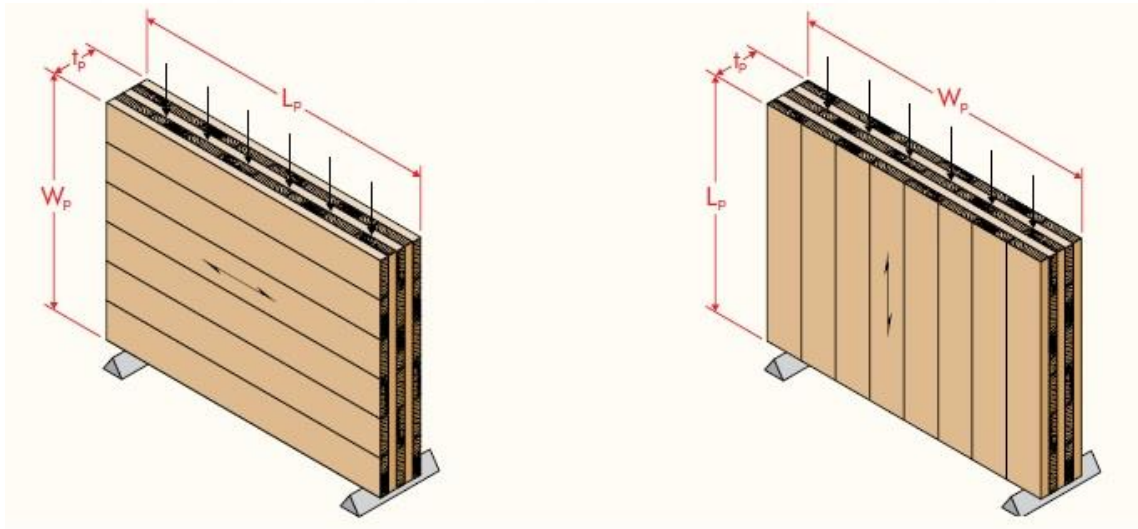
6.1.4. ¼apraz Lamine Ahşap Panellerde Y¼kleme

Masif kereste ¼r¼nlerde malzemenin y¼n¼ne g¼re dayanım ¼zellikleri farklılık g¼stermektedir. Y¼kler aęa¼larda bulunan b¼y¼me halkalarına paralel y¼klendięinde malzemenin taşıma g¼c¼ y¼ksek değerler almaktadır. Bu halkalara dik y¼kler uygulandığında ise taşıma g¼c¼ ihmal edilebilecek kadar azalmaktadır. şekil 6.1'de ¼apraz lamine ahşap panellerde gerilme y¼nleri g¼r¼lmektedir.

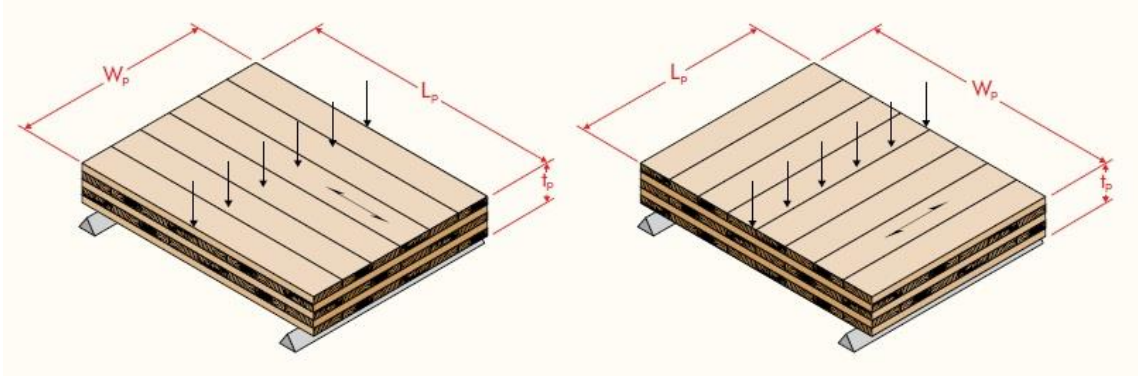


Şekil 6.1. Çapraz lamine ahşap panellerde gerilme yönleri (Nolan, 2010)

Çapraz laminasyon bu zayıflığı gidererek malzemenin her iki yönünde yükleme yapıldığında yüksek dayanım değerleri almasını sağlamaktadır. Şekilde 6.2'de PRG-320 (2018)'de 5 katmanlı duvar ve döşeme paneline farklı yönlerde yükleme yapılmıştır.

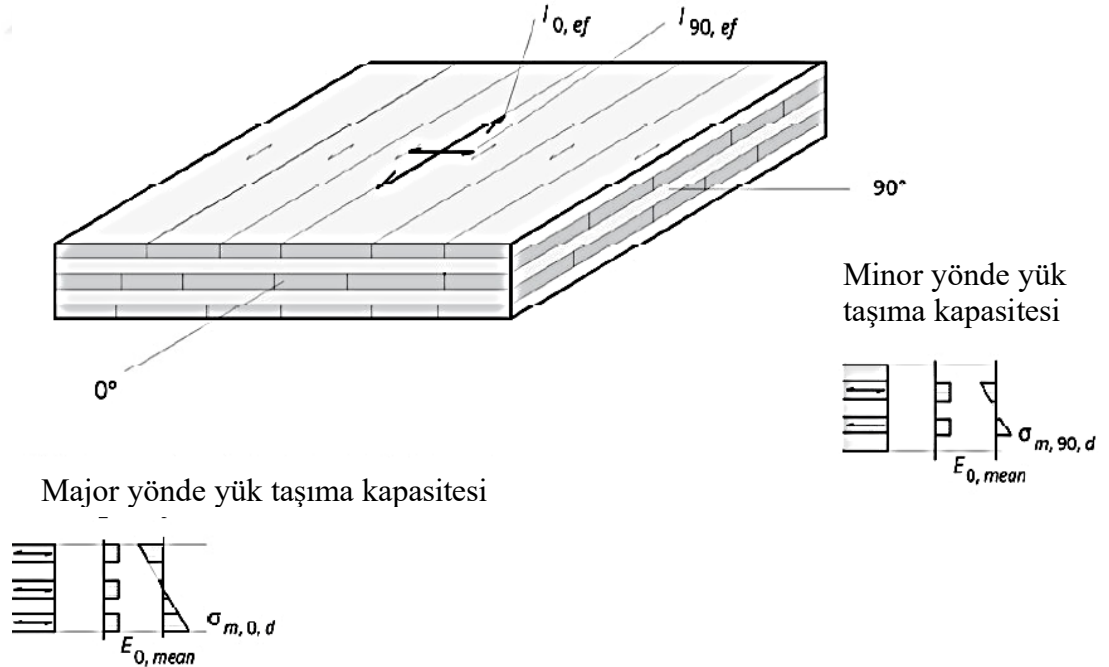


Şekil 6.2. Basit mesnetli düşey yerleştirilmiş panele major ve minor eksenlerinden yükleme (ANSI/APA PRG-320, 2018)

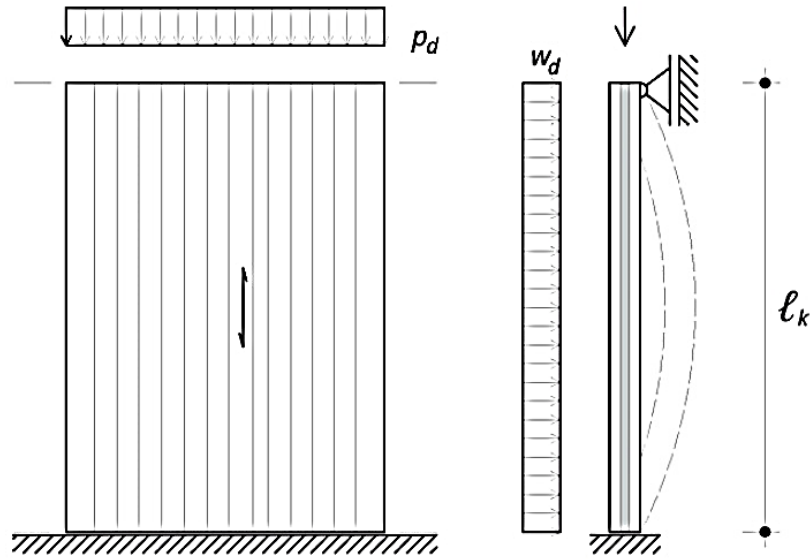


Şekil 6.3. Yatay konumlandırılmış panele major ve minor eksenlerinden yükleme
(ANSI/APA PRG-320, 2018)

Şekil 6.2 ve 6.3'te 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 6.2 ve Şekil 6.3'te 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 6.4).



Şekil 6.4. Major ve minor yönde yük taşıma kapasitesine sahip çapraz lamine ahşap döşeme elemanı
(Koppelhuber ve ark, 2014)



Şekil 6.5. Basınç durumunda major ekseninde çalışan duvar detayı (Koppelhuber ve ark, 2014)

Tabanından çapraz lamine ahşap döşemeye sabitlenmiş Şekil 6.5'te 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 6.5'te 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 (Çizelge 6.2). Bu tabloda E1, E2, E3, V1, V2, V3 çapraz lamine ahşap malzeme sınıflarını göstermektedir.

Çizelge 6.2 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 |

Çapraz lamine ahşap malzeme sınıfları (E1, E2, E3, V1, V2, V3) kullanılan ağacın cinsine ve üretim şekline göre belirlenmektedir. Çizelge 6.2'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.

6.2. Döşeme Boyutlandırması

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

6.2.1. 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.

$$W_{Toplam} = W_{zati} + W_{hareketli} \quad (6.1)$$

Zemine gelen toplam yük belirlendikten sonra taban panelindeki yüklenme sonucu oluşan maksimum moment Denklem 6.2 ile bulunmaktadır.

$$M_{max} = \frac{W_{Toplam} * L^2}{8} \quad (6.2)$$

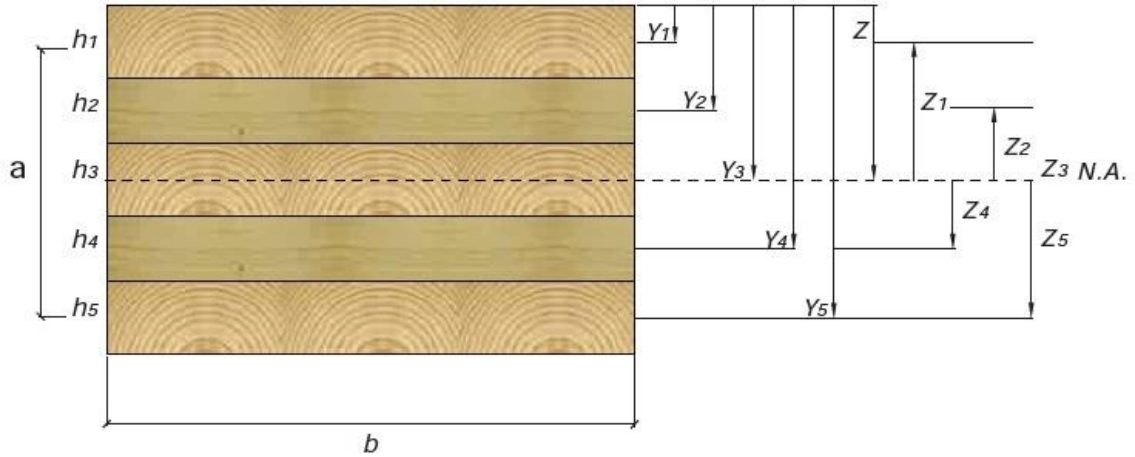
Burada maksimum moment M_{max} , lb. ft/ft birimlerinden oluşmakta, W_{Toplam} ise toplam gelen yük olup 1ft birim genişliğe düşen yük olarak ifade edilmektedir. 1 ft birim genişliğe düşen yüke şerit yük adı verilmektedir. L ise eğilme etkisinde hesaplanan döşemenin uzunluğudur. Çapraz lamine ahşap panellerin eğilme dayanımlarını belirlemek için NDS (2018) Bölüm 10 ve Çapraz Lamine Ahşap Kılavuzu (Gagnon ve Pirvu, 2011) Bölüm 3 kullanılmaktadır. Malzemenin eğilme dayanımı ise Denklem 6.3 ile hesaplanmaktadır.

$$M_b = 0.85 * F_b * S_{eff} \quad (6.3)$$

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 6.4 ile hesaplanmaktadır.

$$S_{eff} = \frac{EI_{eff}}{E * \frac{h}{2}} \quad (6.4)$$

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 (2019)’e göre 30’a bölünmektedir.



Şekil 6.6. Efektif eğilme rijitliğini bulmak için gereken değerler- 5 katmanlı panel

$$EI_{eff} = \sum_{i=1}^n E_i * b_i * \frac{h_i^3}{12} + \sum_{i=1}^n E_i * A_i * z_i^2 \quad (6.5)$$

Çapraz lamine ahşap malzeme bulunduğu ortama ve koşullara göre gerekli katsayılarla çarpılarak izin verilebilir tasarım momenti dayanımı M'_b Denklem 6.6 ile belirlenmektedir.

$$M'_b = F_b * S_{eff} * C_D * C_M * C_t * C_L \quad (6.6)$$

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

$$M_{max} \leq M'_b \quad (6.7)$$

6.2.2. Sehîm 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-sehîm hesabı yapılmaktadır. Sehîm döşemeler için kritik bir durum teşkil ettiğinden çapraz lamine ahşap döşemelerin boyutlandırılmasında dikkate alınması gereken bir sınır durumdur. Sehîmi azaltmak için tabakaların kalınlığı veya katman sayılarında artış yapılabilmektedir.

Sehîm hesabını yapabilmek için öncelikle efektif kayma rijitliği GA_{eff} değerinin bulunması gerekmektedir. Kesme Analoji Yöntemi kullanarak Çapraz Lamine Ahşap Kılavuzu'nda efektif kayma rijitliği GA_{eff} bulunmaktadır (Denklem 6.8). 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 (Gagnon ve ark., 2013).

$$GA_{eff} = \frac{\alpha^2}{\left[\left(\frac{h_1}{2 * G_1 * b} \right) + \left(\sum_{i=2}^{n-1} \frac{h_i}{G_i * b_i} \right) + \left(\frac{h_n}{2 * G_n * b} \right) \right]} \quad (6.8)$$

Burada a değeri Denklem 6.9 ile hesaplanmaktadır. Şekil 6.7'de 5 katmanlı bir panelde a değeri görülmektedir.



Şekil 6.7. 5 katmanlı panelde a değeri

$$a = h_{toplam} - \frac{h_1}{2} - \frac{h_n}{2} \quad (6.9)$$

Teorik hesaplaması gösterilmiş olan efektif eğilme rijitliği EI_{eff} ve efektif kayma rijitliği GA_{eff} Çizelge 6.3'te hazır olarak verilmektedir.

Çizelge 6.3 Laminasyonlar için GKT (ASD) yöntemi referans dizayn değerleri
(ANSI/APA PRG-320, 2018)

| CLT Tipi | Katman Sayısı | Katman Kalınlığı | Major Dayanım Yönü | | | | Minor Dayanım Yönü | | | |
|----------|---------------|------------------|--------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------|
| | | | $F_b S_{eff,0}$ (lbf.ft/ft) | $EI_{eff,0}$ (x10 ⁶) (lbf.in ² /ft) | $GA_{eff,0}$ (x10 ⁶) (lbf/ft) | $V_{s,0}$ (lbf/ft) | $F_b S_{eff,90}$ (lbf.ft/ft) | $EI_{eff,90}$ (x10 ⁶) (lbf.in ² /ft) | $GA_{eff,90}$ (x10 ⁶) (lbf/ft) | $V_{s,90}$ (lbf/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 6.10 kullanılmaktadır. Denklemde verilen K_s kayma deformasyon katsayısı olup Çizelge 6.4'ten elde edilmektedir. Genellikle üniform yükleme ve sabit uç için 11.5 olarak alınmaktadır. L ise hesabı yapılan döşemenin uzunluğudur.

$$EI_{app} = \frac{EI_{eff}}{1 + \frac{K_s EI_{eff}}{GA_{eff} L^2}} \quad (6.10)$$

Çizelge 6.4 Kesme deformasyon düzeltme katsayıları, K_s (NDS, 2018)

| Yükleme | Bir Ucun 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 6.10) sehim denkleminde yerine koyularak döşemenin yaptığı sehim bulunmaktadır (Denklem 6.11). 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.

$$\Delta_{max} = \frac{5}{384} \frac{W * L^4}{EI_{app}} \quad (6.11)$$

Çizelge 6.5 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} , Çizelge 6.5'teki döşeme elemanları için uygulanan sehim sınır şartları dikkate alınarak sınırlandırılacaktır.

$$\frac{5}{384} \frac{W_{Live} * L^4}{EI_{app}} \leq \frac{L}{360} \quad (6.12)$$

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 6.13), Çizelge 6.5’te bulunan sınır şartı ile karşılaştırılmaktadır.

$$\Delta_{Toplam} = K_{cr} * \Delta_{LT} + \Delta_{st} \quad (6.13)$$

$$2 * \frac{5}{384} \frac{W_{Dead} * L^4}{EI_{app}} + \frac{5}{384} \frac{W_{Live} * L^4}{EI_{app}} \leq \frac{L}{240} \quad (6.14)$$

6.2.3. Titreşim İçin Döşemelerin Boyutlandırması

Titreşim için tasarım, Çapraz Lamine Ahşap Kılavuzu (Gagnon ve Pirvu, 2011) 7. Bölüme göre yapılmaktadır. Maksimum açıklık l_{max} şu şekilde verilmektedir (Denklem 6.15).

$$l_{max} = \frac{1}{12.05} \frac{(EI_{app})^{0.293}}{(\rho * A)^{0.122}} \quad (6.15)$$

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.

6.3. Taşıyıcı Duvar Boyutlandırması

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

6.3.1. Efektif Duvar Basınç Kapasitesi

Efektif duvar basınç kapasitesi bulunurken öncelikle basıncın büyüme halkalarına paralel olduğu laminasyonların alanları bulunmaktadır (Denklem 6.16). Hesaplar 1 ft birim genişlik için yapılmaktadır. Burada s, paralel laminasyon sayısı, n ise bir katmanın kalınlığı olmaktadır.

$$A_{paralel} = s * n * 1 \quad (6.16)$$

Efektif duvar basınç kapasitesi ise çapraz lamine ahşap malzemesinin basınç gerilmesi dayanımı $F_{c,0}$ ve paralel laminasyonların alanları $A_{paralel}$ çarpılarak bulunmaktadır (Denklem 6.17).

$$P_c = F_{c,0} * A_{paralel} \quad (6.17)$$

6.3.2. Belirgin Eğilme Rijitliği

Belirgin taşıyıcı duvar kapasitesi bulunurken NDS Denklem 10.4.1 kullanılmaktadır (Denklem 6.18). Denklemde verilen K_s ise kayma deformasyon katsayısı olup Çizelge 6.4'ten elde edilmektedir. Kolon burkulması ve sabit mesnetlenme durumu için 11.8 olarak alınmaktadır.

$$EI_{app} = \frac{EI_{eff}}{1 + \frac{K_s EI_{eff}}{GA_{eff} L^2}} \quad (6.18)$$

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

6.3.3. Minimum Eğilme Rijitliği

Denklem 6.18 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.

$$EI_{app-min} = 0,5184 * EI_{app} \quad (6.19)$$

6.3.4. 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 6.20).

$$C_p = \frac{1 + \frac{P_{cE}}{P_c^*}}{2c} - \sqrt{\left[\frac{1 + \frac{P_{cE}}{P_c^*}}{2c} \right]^2 - \frac{P_{cE}}{c}} \quad (6.20)$$

Burada P_{cE} , Euler Kritik Burkulma gerilmesi denklemi kullanılarak bulunmaktadır (Denklem 6.21).

$$P_{cE} = \frac{\pi^2 * E I'_{app-min}}{L^2} \quad (6.21)$$

P_c^* ise referans basınç tasarım değeri olup efektif taşıyıcı duvar basınç kapasitesinin C_p hariç bütün düzeltme katsayıları ile çarpılmasıyla bulunmaktadır (Denklem 6.22).

$$P_c^* = P_c * C_D * C_M * C_t \quad (6.22)$$

Denklem 6.23'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 6.23'teki şekle getirilmektedir.

$$C_p = \frac{1+\alpha_c}{2c} - \sqrt{\left[\frac{1+\alpha_c}{2c}\right]^2 - \frac{\alpha_c}{c}} \quad (6.23)$$

6.3.5. Düzeltilmiş Basınç Kapasitesi

Düzeltilmiş basınç kapasitesi P_c' Denklem 6.24'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 yüklerle karşılaştırılarak duvarın uygulanan yükleri taşınması istenmektedir.

$$P_c' = P_c^* * C_p \quad (6.24)$$

$$P_c' \geq P_{Load} \quad (6.25)$$

6.3.6. Düzeltilmiş Eğilme Kapasitesi

Duvar yüzeyine etki eden yanal rüzgâr yükünden dolayı sistemde moment oluşmaktadır (Denklem 6.26).

$$M = \frac{W_{wind} * L^2}{8} \quad (6.26)$$

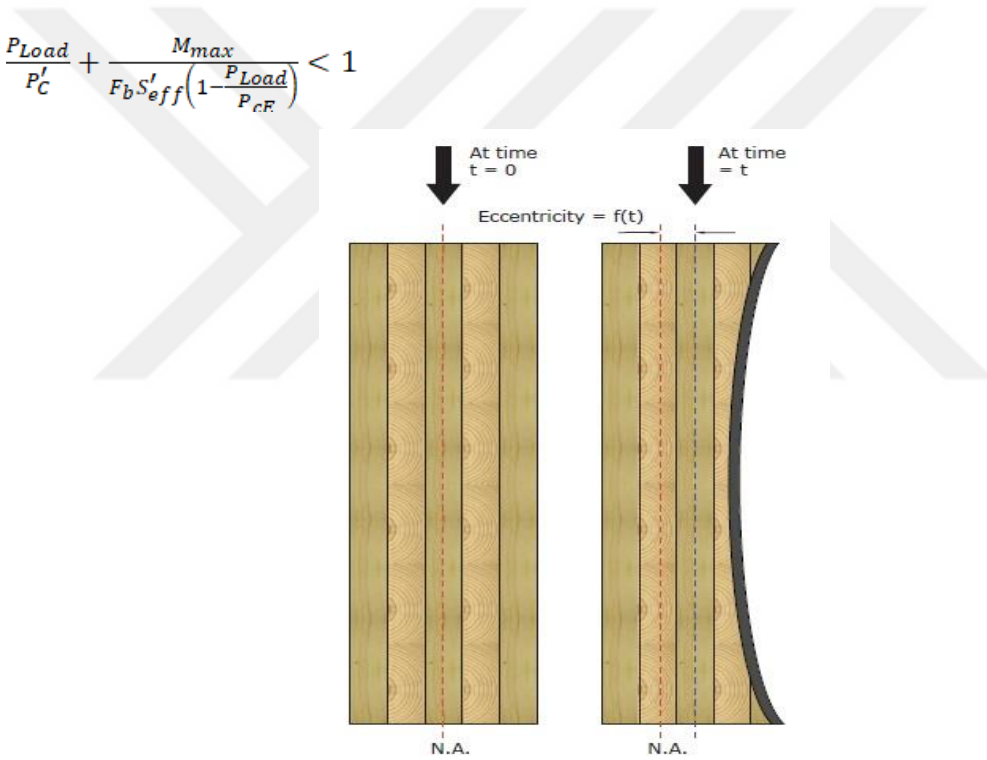
Çapraz lamine ahşap malzemesinin seçilen kesite göre PRG-320'den alınan eğilme kapasitesi $F_b S_{eff,0}$, gerekli düzeltme katsayılarıyla çarpılarak, düzeltilmiş eğilme kapasitesi Denklem 6.27 ile elde edilmektedir.

$$F'_b S_{eff,0} = F_b S_{eff,0} * C_D * C_M * C_t * C_L \quad (6.27)$$

6.3.7. Bileşik Etkiler Altında Kapasite

Yüklenmiş taşıyıcı duvar üzerinde moment oluşturacak yükler varsa NDS Denklem 15.4-3'ün Çapraz Lamine Ahşap Kılavuzu (Gagnon ve Pirvu, 2011) Bölüm 3'te çapraz lamine ahşap için gerilme girdilerinin değiştirilmesiyle Denklem 6.28 elde edilmektedir.

$$\frac{P_{Load}}{P'_C} + \frac{M_{max}}{F_b S'_{eff} \left(1 - \frac{P_{Load}}{P_{cF}}\right)} < 1 \quad (6.28)$$



Şekil 6.8. 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 6.8). Burada $\Delta P = P_{Load} * e$ olup kapasite Denklem 6.29 ile hesaplanmaktadır.

$$\frac{P_{Load}}{P'_C} + \frac{\Delta P \left(1 + 0.234 \frac{P_{Load}}{P_{cE}}\right)}{F_b S'_{eff} \left(1 - \frac{P_{Load}}{P_{cF}}\right)} < 1 \quad (6.29)$$

6.4. Yangına Göre Tasarımı

Çapraz lamine ahşap yapılarda Amerika, Kanada ve Avrupa'da farklı ülkeler için yapıların kullanım amacı için 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 tahkiki yapılmaktadır (Şekil 6.9). Kömürleşme derinliği a_{char} , NDS Denklem 16.2-3 ile belirlenmektedir (Denklem 6.30).

$$a_{char} = n_{lam} * h_{lam} + \beta_n \left(t - (n_{lam} * t_{gi}) \right)^{0.813} \quad (6.30)$$

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 yapıstırıcı kısmına ulaşma süresi olmaktadır.

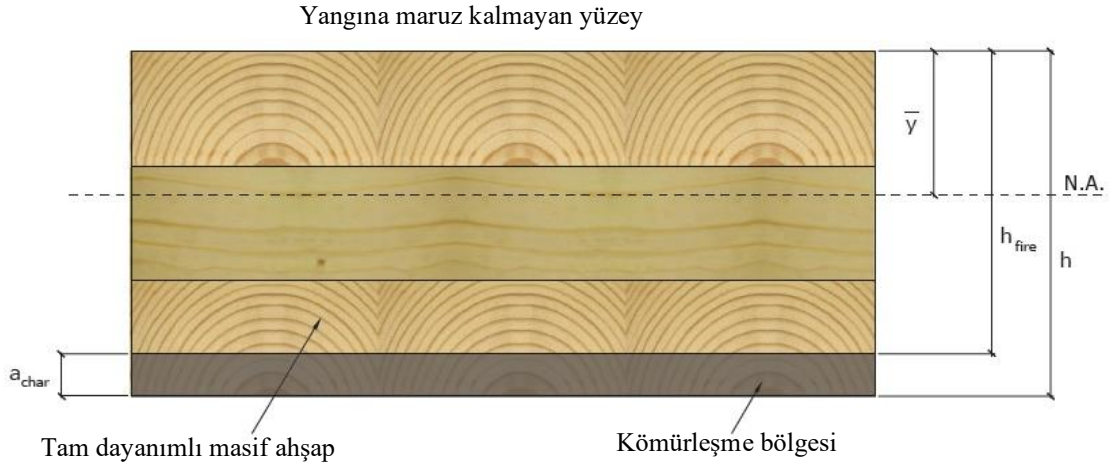
$$t_{gi} = \left(\frac{h_{lam}}{\beta_n} \right)^{1.23} \quad (6.31)$$

Kömürleşmiş katman sayısı n_{lam} ise en düşük tam sayıya yuvarlanmaktadır.

$$n_{lam} = \frac{t}{t_{gi}} \quad (6.32)$$

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. Yangın dayanımında azalan kesit efektif kömürleşme derinliği a_{eff} 'in çıkarılmasıyla elde edilecektir. Efektif kömürleşme derinliği a_{eff} Denklem 6.33 ile hesaplanmaktadır.

$$a_{eff} = 1.2 * a_{char} \quad (6.33)$$



Şekil 6.9. Yangın etkisine maruz kalmış çapraz lamine ahşap panel (Dagenais, 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 (Çizelge 6.6).

Çizelge 6.6 Etkili kömürleşme derinlikleri ($\beta_n=1.5$ in./saat.’li çapraz lamine ahşap için (NDS, 2018))

| Gerekli Yangın Dayanımı | Efektif 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 tahkikleri o kalınlığa göre yapılmaktadır.

GKT (ASD) yöntemi kullanılarak yapılan tasarımda yangın durumu için dayanım değerlerinin çarpılması gereken katsayılar Çizelge 6.7’de verilmektedir.

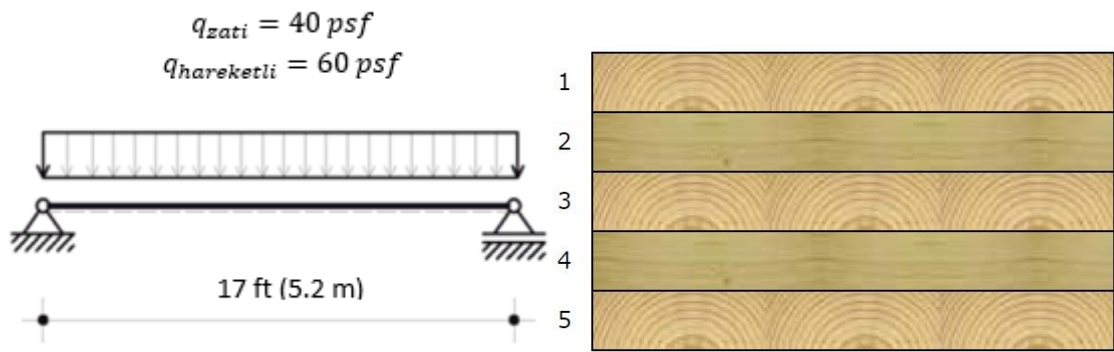
Çizelge 6.7 Yangın tasarımı için düzeltme katsayıları (NDS, 2018)

| | | | GKT (ASD) | | | |
|-------------------------|----------|---|----------------------------------------|-----------------|---------------------------|---------------------------|
| | | | Gerilme Tasarımında Kullanılan Katsayı | Boyut Katsayısı | Kiriş Stabilite Katsayısı | Kolon Stabilite 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 | - | - | - |

7. DÖŞEME VE DUVAR İÇİN TASARIM UYGULAMASI

7.1. Döşeme Boyutlandırması

Basit mesnetli major ekseninde açıklığı 17 ft (5.2 m) ve minor eksenindeki uzunluğu 10 ft (3.05 m) olan çapraz lamine ahşap döşemenin tasarım yükleri panelin ağırlığı da dâhil olmak üzere $q_{zati} = 40 \text{ psf}$ ($1,915 \text{ N/m}^2$) ve $q_{hareketli} = 60 \text{ psf}$ ($2,873 \text{ N/m}^2$)'dir (Şekil 7.1). Çapraz lamine ahşap panelinin 1 saatlik yangın dayanım süresi için gerekli boyutları hesaplanacaktır. $C_D = 1.0$, $C_M = 1.0$, $C_t = 1.0$, $C_L = 1.0$ değerleri alınmıştır.



Şekil 7.1. Yükleme yapılmış döşeme ve 5 katmanlı çapraz lamine ahşap panel kesiti

Çapraz lamine ahşap panelin yapısal tasarımında yükleme sonucunda döşemede oluşan momentin hesaplanabilmesi için 1 ft birim genişlikte toplam panele gelen yük bulunacaktır.

$$W_{Toplam} = (40 + 60) * 1 = 100 \text{ plf/ft} \quad (1,459 \text{ N/m}) \quad (7.1)$$

7.1.1. Eğilme Tahkiki

Yükleme sonucu oluşan moment M_{max} 1 ft birim genişlik için Denklem 6.2 kullanılarak hesaplanmıştır. Burada L major ekseninde uzunluktur.

$$M_{max} = \frac{100 * 17^2}{8} = 3612.5 \text{ ft. lb/ft} \quad (16,069 \text{ N. m/m}) \quad (7.2)$$

PRG-320'den 5 katmanlı V1 paneli seçilmiştir. Bu panelin toplam kalınlığı 6.875 inç (175 mm), bir katmanın kalınlığı ise 1.375 inç (35 mm)'dir. V1 panelinin dayanım özellikleri Çizelge 7.1'de verilmektedir.

Çizelge 7.1 V1 paneli dayanım özellikleri

| | | EUS (İngiliz Birim Sistemi) | SI (Uluslararası Birim Sistemi) |
|--------------------------|-----------------|---------------------------------------|-------------------------------------------|
| Eğilme momenti dayanımı | $F_b S_{eff,0}$ | 4,800 <i>ft. lb/ft</i> | $35 * 10^6 N. mm/m$ |
| Efektif eğilme rijitliği | $EI_{eff,0}$ | $415 * 10^6 lbf.in.^2/ft$ | $3,922 * 10^9 N. mm^2/m$ |
| Efektif kayma rijitliği | $GA_{eff,0}$ | $1.1 * 10^6 lbf/ft$ | $16 * 10^6 N/m$ |

Denklem 6.6 kullanılarak tasarım dayanım momenti M'_b bulunur.

$$M'_b = 4,800 * (1.0) * (1.0) * (1.0) * (1.0) = 4,800 \text{ ft.lb/ft } (21,351 \text{ N.m/m}) \quad (7.3)$$

Denklem 6.7 ile yapısal dayanım kontrolü yapıldığında döşeme elemanı 5 katmanlı V1 paneli verilen yükleri güvenle taşımaktadır.

$$3,612.5 \text{ ft.lb/ft } (16,069 \text{ N.m/m}) < 4,800 \text{ ft.lb/ft } (21,351 \text{ N.m/m}) \quad \checkmark \quad (7.4)$$

7.1.2. Sehîm Tahkiki

Sehîm hesabı için anlık yükleme ve uzun süreli olan yüklemelerin kontrolünün yapılması gerekmektedir. PRG-320'den sehîm kontrolünde gerekli olan değerler V1 paneli için elde edilmiştir. Denklem 6.10 kullanılarak belirgin eğilme rijitliği bulunur. Denklemde K_s kesme deformasyon katsayısı Çizelge 6.4'ten 11.5 olarak alınmıştır.

$$EI_{app} = \frac{415 * 10^6}{1 + \frac{11.5 * 415 * 10^6}{1.1 * 10^6 (17 * 12)^2}} = 375.8 * 10^6 \text{ psi } (3,538 \text{ N. mm}^2/m) \quad (7.5)$$

Anlık yükleme sonucu oluşan sehîm Δ_{st} , Denklem 6.12 ile hesaplanmaktadır. Bulunan sehîm Çizelge 6.5'te verilen $l/360$ sınır şartıyla kıyaslanarak kontrol yapılmıştır.

$$\Delta_{st} = \frac{5}{384} \frac{\left(\frac{60}{12}\right) (17 * 12)^4}{375.8 * 10^6} = 0.3 \text{ in. } (7.6 \text{ mm}) \quad (7.6)$$

$$0.3 \text{ in.} < \frac{17 * 12}{360} = 0.57 \text{ in. } (14.5 \text{ mm}) \quad \checkmark \quad (7.7)$$

Anlık yükleme için gerekli şartlar sağlanmıştır. Uzun süreli yükleme sonucu oluşan sehim için gerekli kontrollerde öncelikle Denklem 6.14 ile kalıcı yüklemelerin oluşturduğu sünme Δ_{LT} miktarı bulunur.

$$\Delta_{LT} = \frac{5}{384} \frac{\left(\frac{40}{12}\right)(17 \cdot 12)^4}{375.8 \cdot 10^6} = 0.2 \text{ in. (5.1 mm)} \quad (7.8)$$

Sünme Δ_{LT} ve anlık yükleme sonucu oluşan sehim Δ_{st} değerleri Denklem 6.13'te yerleştirildiğinde uzun süreli sehim bulunmaktadır. Bu değer Çizelge 6.5'te verilen $l/240$ sınır şartıyla kıyaslanarak kontrol yapılmaktadır.

$$\Delta_{TOPLAM} = 2 * 0.2 + 0.3 = 0.7 \text{ in. (17.8 mm)} \quad (7.9)$$

$$0.7 \text{ in.} < \frac{17 \cdot 12}{240} = 0.85 \text{ in. (21.6 mm)} \checkmark \quad (7.10)$$

Döşeme elemanı verilen yükler için tüm sehim sınır şartlarını sağlamıştır.

7.1.3. Titreşim Tahkiki

Çapraz lamine ahşap panellerin döşeme boyutlandırmasında döşeme elemanlarının titreşim için kontrolü yapılmaktadır. Bu kontrol Denklem 6.15 ile yapılarak, denklemde istenilen özgül ağırlık değeri ρ , V1 panelinin imal edildiği Douglas fir-Larch ağaç tipi NDS Tablo 12.3.3A'da bulunarak özgül ağırlığı 0.5 olarak belirlenmiştir. Maksimum döşeme açıklığı l_{max} :

$$l_{max} = \frac{1}{12.05} \frac{(375.8 \cdot 10^6)^{0.293}}{(0.5 \cdot 6.875 \cdot 12)^{0.122}} = 17.15 \text{ ft (5.23m)} \quad (7.11)$$

Bulunan değer uygulama örneğinde verilen açıklık ile kıyaslanarak tahkik yapılmıştır. Döşemenin açıklığı, maksimum açıklıktan küçük olduğu için gerekli sınır şartını sağlamıştır.

$$17 \text{ ft (5.18 m)} < 17.15 \text{ ft (5.23 m)} \checkmark \quad (7.12)$$

7.1.4. Yangın Tahkiki

Çapraz lamine ahşap panelinin yangın tahkiki yapılırken başlangıçta yapılan yükleme ve yükleme sonucu oluşan moment değerlerinde değişme olmamaktadır.

Yangına direnç hesaplanırken efektif kömürleşme derinliğinin bulunması gerekmektedir. Bunun için Denklem 6.31'den yangının bir katmanın yapıştırıcı kısmına ulaşma süresi t_{gi} bulunmaktadır.

$$t_{gi} = \left(\frac{1.375}{1.5} \right)^{1.23} = 0.90 \text{ saat} \quad (7.13)$$

Kömürleşmiş katman sayısı n_{lam} Denklem 6.32 ile en düşük tam sayıya yuvarlanarak elde edilmektedir.

$$n_{lam} = \frac{1}{0.90} = 1.11 \cong 1 \quad (7.14)$$

Kömürleşme derinliği a_{char} ise Denklem 6.30 ile bulunmaktadır.

$$a_{char} = 1 * 1.375 + 1.5 * (1 - (1 * 0.9))^{0.813} = 1.60 \text{ in. (40.6 mm)} \quad (7.15)$$

Yangın dayanım hesaplarında daha güvenli kesitler oluşturmak için kömürleşme derinliği Denklem 6.33 ile arttırılmaktadır. Böylece efektif kömürleşme derinliği elde edilir. Bu derinlik Çizelge 6.6'dan 1 saatlik gerekli yangın dayanımı ve 1 3/8 inç (35mm) katman kalınlığı ile $a_{eff} = 1.92 \text{ in. (48.8 mm)}$ olarak bulunmaktadır (Şekil 7.2).

$$a_{eff} = 1.2 * 1.60 = 1.92 \text{ in. (48.8 mm)} \quad (7.16)$$



Şekil 7.2. Bir kısmı kömürleşmiş çapraz lamine ahşap panel

Yangın esnasında 5 katmanlı V1 panelinin 1.92 in (48.8 mm) kalınlığı kömürleşecektir. Bu kalınlık bir katmanın tamamına ikinci katmanın ise bir kısmına denk gelmektedir. Kömürleşen ikinci katman 17 ft (5.2 m) uzunluğundaki major eksene dik zayıf eksen olduğu için taşıma gücüne etkisi ihmal edilecek kadar azdır. Sonuç

olarak PRG-320 (2018)'den aynı V1 kesitinin 3 katmanlı olanı seçilir. 1 saatlik yangın sonucunda 2 katmanın kömürleştiği düşünülerek kalan 3 katmanlı kesitin verilen yüklerde uygun dayanımı sağlayıp sağlamayacağı tahkik edilecektir.

Yangın nedeniyle azalan kesitin moment dayanımını M'_f bulurken yangın durumu için gerekli düzeltme katsayılarıyla çarpılması gerekmektedir. Çizelge 6.7'de eğilme dayanımı için yangın durumunda kullanılacak katsayılar verilmiştir. Yeni kesitin moment dayanımı M'_f :

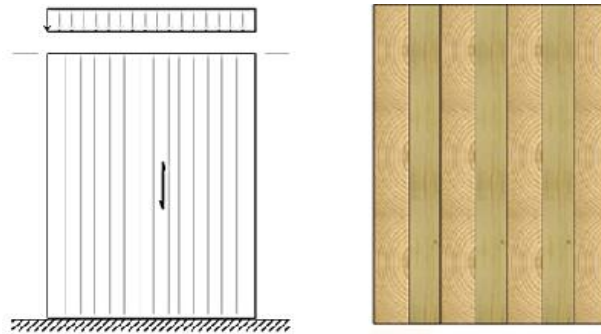
$$M'_f = 2.85 * 2,090 * (1.0) = 5,956.5 \text{ ft. lb/ft} \quad (21,351 \text{ N. m/m}) \quad (7.17)$$

Denklem 6.7 ile yapısal dayanım kontrolü yapıldığında döşeme elemanı 3 katmanlı V1 paneli verilen yükleri güvenle taşımaktadır.

$$3,612.5 \text{ ft. lb/ft} \quad (16,069 \text{ N. m/m}) < 5,956.5 \text{ ft. lb/ft} \quad (21,351 \text{ N. m/m}) \quad \checkmark \quad (7.18)$$

7.2. Duvar Boyutlandırması

Yüksekliği 10 ft (3.05 m) değerinden oluşan çapraz lamine ahşap duvara major ekseninde basınç uygulanmaktadır. Duvarın üzerindeki tasarım yükleri panelin kendi ağırlığı da dahil olmak üzere $W_{zati} = 8,000 \text{ plf} \quad (116,745 \text{ N/m})$ ve $W_{hareketli} = 15,000 \text{ psf} \quad (218,898 \text{ N/m})$ 'tir. Duvarlar, altında bir çapraz lamine ahşap zemin ile desteklenmektedir. Bu duvarın 2 saatlik yangın dayanımına sahip olabilmesi için gerekli boyutlandırması yapılacaktır ($C_D = 1.0, C_M = 1.0, C_t = 1.0, C_L = 1.0$).



Şekil 7. 3. Major ekseninde yükleme yapılmış bir duvar ve 7 katmanlı panel kesiti

Öncelikle duvar üzerine gelen toplam yük belirlenmektedir. Bunun için duvara gelen şerit yükler toplanmıştır.

$$W_{Toplam} = 8,000 + 15,000 = 23,000 \text{ plf} \quad (335,643 \text{ N/m}) \quad (7.19)$$

7.2.1. Basınç Kapasitesi Tahkiki

PRG-320'den 7 katmanlı V2 paneli seçilmiştir. Bu panelin toplam kalınlığı 9.625 inç (245 mm), bir katmanın kalınlığı ise 1.375 inç (35 mm)'dir. V2 panelinin dayanım özellikleri Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3 kullanılarak Çizelge 7.2'de verilmektedir.

Çizelge 7.2 V2 paneli dayanım özellikleri

| | | EUS (İngiliz Birim Sistemi) | SI (Uluslararası Birim Sistemi) |
|---------------------------|-----------------|---------------------------------------|-------------------------------------------|
| Basınç gerilmesi dayanımı | F_0 | 1,150 $lb.f.in.^2/ft$ | 11.5 $N.mm^2/m$ |
| Eğilme momenti dayanımı | $F_b S_{eff,0}$ | 4800 $ft.lb/ft$ | 35 * 10 ⁶ $N.mm/m$ |
| Elastisite modülü | E_0 | 1.4 * 10 ⁶ $lb.f.in.^2/ft$ | 9,500 N/mm^2 |
| Elastisite modülü | E_{90} | 1.2 * 10 ⁶ $lb.f.in.^2/ft$ | 9,000 N/mm^2 |
| Efektif eğilme rijitliği | $El_{eff,0}$ | 898 * 10 ⁶ $lb.f.in.^2/ft$ | 8,388 * 10 ⁹ $N.mm^2/m$ |
| Efektif eğilme rijitliği | $El_{eff,90}$ | 309 * 10 ⁶ $lb.f.in.^2/ft$ | 3,183 * 10 ⁹ $N.mm^2/m$ |
| Efektif kayma rijitliği | $GA_{eff,0}$ | 1.1 * 10 ⁶ $lb.f/ft$ | 16 * 10 ⁶ N/m |

Büyüme halkalarına paralel alanlar duvar basınç kapasitesini belirlemektedir (Denklem 6.16). Şekil 7.3'te yüklenmiş 7 katmanlı panelin 4 katmanı major yönde olup basınç taşıma gücü hesaplarında bu 4 katmanın alanı dikkate alınacaktır.

$$A_{paralel} = 4 * 12 * 1.375 = 66 \text{ in.}^2 \text{ (42,580 mm}^2\text{)} \quad (7.20)$$

Denklem 6.17 ile efektif duvar basınç kapasitesi bulunmaktadır.

$$P_c = 1150 * 66 = 75,900 \text{ lb/ft (1.1 * 10}^6 \text{ N/m)} \quad (7.21)$$

Denklem 6.18 ile belirgin eğilme rijitliği elde edilmektedir. Burada L değeri duvarın yüksekliği olup 120 inç (3.05 m), K_s ise Çizelge 6.4'ten kolon burkulması ve sabit mesnet için 11.8 değeri alınmıştır.

$$El_{app} = \frac{898 * 10^6}{1 + \frac{11.8 * 898 * 10^6}{1.4 * 10^6 * 120^2}} = 588.6 * 10^6 \text{ psi (5,541 N.mm}^2\text{/m)} \quad (7.22)$$

Belirgin eğilme rijitliğinin duvarın burkulma tasarımında kullanılabilmesi için Denklem 6.18'deki ortalama bir katsayıyla çarpılarak azaltılması gerekmektedir.

$$EI_{app-min} = 0.5184 * 588.6 * 10^6 = 305.13 * 10^6 \text{ psi } (2,872 \text{ N. mm}^2/m) \quad (7.23)$$

Kolon stabilite katsayısının bulunabilmesi için Denklem 6.21 kullanılarak P_{cE} ve Denklem 6.22 ile referans basınç tasarım değeri P_c^* elde edilmektedir.

$$P_{cE} = \frac{\pi^2 * 305.13 * 10^6}{120^2} = 209,132 \text{ lb/ft } (3.26 * 10^6 \text{ N/m}) \quad (7.24)$$

$$P_c^* = 75,900 * (1.0) * (1.0) * (1.0) = (1.1 * 10^6 \text{ N/m}) \quad (7.25)$$

Denklem 6.23'deki c değeri ise çapraz lamine ahşap yapılar için 0.9 olarak verilmiştir. Denklemi basitleştirmek için P_{cE}/P_c^* yerine α_c yazılarak kolon stabilite katsayısı Denklem 6.23'deki şekle getirilmektedir.

$$\alpha_c = \frac{209132}{75900} = 2.755 \quad (7.26)$$

$$C_p = \frac{1+2.755}{2*0.9} + \sqrt{\left(\frac{1+2.755}{2*0.9}\right)^2 - \frac{2.755}{0.9}} = 0.95 \quad (7.27)$$

Burkulma ve diğer etkenler göze önüne alınarak bulunan kolon stabilite katsayısı referans basınç tasarım değeriyle çarpılarak duvarın yeni basınç kapasitesi P_c' Denklem 6.24 kullanılarak elde edilmiştir.

$$P_c' = 75,900 * 0.95 = 72,105 \text{ lb/ft } (1.05 * 10^6 \text{ N/m}) \quad (7.28)$$

Duvara gelen yükler ve duvarın düzeltilmiş basınç kapasitesi karşılaştırıldığında duvar, üzerine gelen yükleri güvenle taşımaktadır.

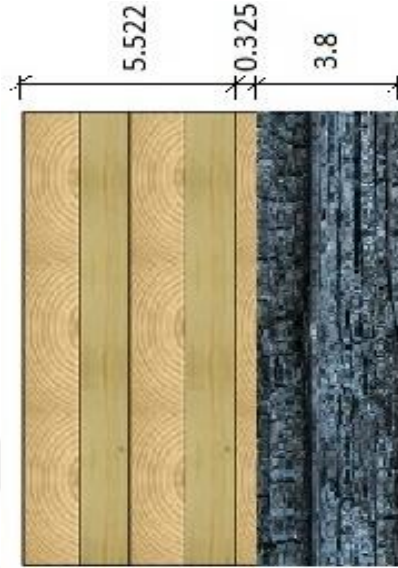
$$72,105 \text{ lb/ft } (1.05 * 10^6 \text{ N/m}) > 23,000 \text{ lb/ft } (335,643 \text{ N/m}) \checkmark \quad (7.29)$$

7.2.3. Yangın Tahkiki

Yangın etkisine maruz V2 paneli Çizelge 6.6 kullanılarak 2 saatlik gerekli yangın dayanımı ve 1-3/8 inç (35 mm) katman kalınlığı için $a_{eff} = 3.8 \text{ in. } (97 \text{ mm})$

olarak bulunmuştur. Şekil 7.4'te yangına maruz kalmış kesit görülmektedir. Burada major yönde çalışan 3 katman için hesap yapılacaktır. Üçüncü katmanın yangına maruz kalmayan kalınlığı $0.325 \text{ in. (8.3 mm)}$ 'tir.

$$A_{\text{paralel}} = 2 * 12 * 1.375 + 12 * 0.325 = 36.9 \text{ in.}^2 \text{ (23,806 mm}^2\text{)} \quad (7.30)$$



Şekil 7.4. Yangına maruz kalmış V2 paneli

Denklem 6.17 ile efektif duvar basınç kapasitesi bulunmuştur.

$$P_c = 1,150 * 36.9 = 42,435 \text{ lb/ft (0.62 * 10}^6 \text{ N/m)} \quad (7.31)$$

Bir kısmı kömürleşerek kalınlığı azalan yeni kesitin eğilme rijitliği bulunurken yalnızca major ekseninde çalışan katmanlar hesaba dâhil edilecektir. Minor eksenindeki katmanlar eğilme rijitliği için ihmal edilebilecek değerde dayanım vermektedir. Yeni kesitin 3 katmandan oluştuğu düşünülerek y' ağırlık merkezi hesaplanmıştır.

$$y' = \frac{\frac{1.375}{2} * 1.375 + 3.4375 * 1.375 + 5.66 * 0.325}{1.375 * 2 + 0.325} = 2.44 \text{ in. (62 mm)} \quad (7.32)$$

Denklem 6.5 kullanılarak efektif eğilme rijitliği bulunmuştur. Çizelge 7.3'te efektif eğilme rijitliğini bulmak için hesap tablosu verilmiştir.

Çizelge 7.3 Efektif eğilme rijitliğini bulmak için hesap tablosu

| Katman Numarası | E | h | z | $E * b * h^3/12$ | $E * A * z^2$ |
|-----------------|-----|-------|-------|------------------|-----------------------|
| 1 | 1.4 | 1.375 | 1.753 | 3.64 | 70.95 |
| 3 | 1.4 | 1.375 | 0.997 | 3.64 | 22.98 |
| 5 | 1.4 | 0.325 | 3.222 | 0.05 | 56.68 |
| | | | | \sum | $EI_{eff,0} = 157.94$ |

Yeni kesitin belirgin eğilme rijitliğinin bulunabilmesi için efektif kayma rijitliğini bulmak gerekmektedir. Efektif kayma rijitliğini belirlemek için gerekli değerler Çizelge 7.4'te görülmektedir. Kayma rijitliğinde a değeri Denklem 6.9 kullanılarak bulunmuştur.

$$a = 5.825 - \frac{1.375}{2} - \frac{0.325}{2} = 4.975 \quad (7.33)$$

Çizelge 7.4 Efektif kayma rijitliğini bulmak için hesap tablosu

| Katman | h | G | $h/G/b$ |
|--------|-------|----------------|---------|
| 1 | 1.375 | 1.4/16=0.0875 | 1.31 |
| 2 | 1.375 | 1.2/160=0.0075 | 15.28 |
| 3 | 1.375 | 1.4/16=0.0875 | 1.31 |
| 4 | 1.375 | 1.2/160=0.0075 | 15.28 |
| 5 | 0.325 | 1.4/16=0.0875 | 0.31 |

Denklem 6.8 kullanılarak efektif kayma rijitliği hesaplanmıştır.

$$GA_{eff} = \frac{4.975^2}{\frac{1.31}{2} + 15.28 + 1.31 + 15.28 + \frac{0.31}{2}} = 0.76 * 10^6 \text{ lbf/ft} \quad (11.05 \text{ N/m}) \quad (7.34)$$

Denklem 6.18 ile belirgin eğilme rijitliği elde edilir. Burada L değeri duvarın yüksekliği olup 120 inç (3.05 m), K_s ise Çizelge 6.4'ten kolon burkulması ve sabit mesnet için 11.8 değeri alınmaktadır.

$$EI_{app} = \frac{157.94 \cdot 10^6}{1 + \frac{11.8 \cdot 157.94 \cdot 10^6}{0.76 \cdot 10^6 \cdot 120^2}} = 134.96 \cdot 10^6 \text{ psi } (1,270 \text{ N} \cdot \text{mm}^2/\text{m}) \quad (7.35)$$

Belirgin eğilme rijitliğinin duvarın burkulma tasarımında kullanılabilmesi için Denklem 6.19'daki ortalama bir katsayıyla çarpılarak azaltılması gerekmektedir.

$$EI_{app-min} = 0.5184 \cdot 134.96 \cdot 10^6 = 69.96 \cdot 10^6 \text{ psi } (658.6 \text{ N} \cdot \text{mm}^2/\text{m}) \quad (7.36)$$

$P_{cE,f}$ değeri Çizelge 6.7 kullanılarak kolon burkulma dayanımı yangın tasarımı için düzeltme katsayılarıyla çarpılarak elde edilmektedir.

$$P_{cE,f} = 2.03 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 69.69 \cdot 10^6}{120^2} = 96,962 \text{ lb/ft } (1.4 \cdot 10^6 \text{ N/m}) \quad (7.37)$$

$P_{c,f}^*$ referans basınç dayanımı ise Çizelge 6.7 kullanılarak yangın durumunda gerilme tasarımı için kullanılacak değer 2.58 olarak bulunmuştur.

$$P_{c,f}^* = 2.58 \cdot (1.0) \cdot 42,435 = 109,482 \text{ lb/ft } (1.6 \cdot 10^6 \text{ N/m}) \quad (7.38)$$

Denklem 6.23'teki c değeri ise çapraz lamine ahşap yapılar için 0.9 olarak verilmiştir. Denklemi basitleştirmek için P_{cE}/P_c^* yerine α_c yazılarak kolon stabilite katsayısı Denklem 6.23'teki şekle getirilmektedir.

$$\alpha_c = \frac{96,962}{109,482} = 0.89 \quad (7.39)$$

$$C_p = \frac{1+0.89}{2 \cdot 0.9} - \sqrt{\left(\frac{1+0.89}{2 \cdot 0.9}\right)^2 - \frac{0.89}{0.9}} = 0.71 \quad (7.40)$$

Burkulma ve diğer etkenler göze önüne alınarak bulunan kolon stabilite katsayısı referans basınç tasarım değeriyle çarpılarak duvarın yangına maruz kalması sonucu basınç kapasitesi P_f' Denklem 6.24 kullanılarak elde edilmiştir.

$$P_f' = 109,482 \cdot 0.71 = 77,732 \text{ lb/ft } (1.13 \cdot 10^6 \text{ N/m}) \quad (7.41)$$

Duvara gelen yükler ve duvarın düzeltilmiş basınç kapasitesi karşılaştırıldığında duvar üzerine gelen yükleri güvenle taşımaktadır.

$$77,732 \text{ lb/ft} (1.13 * 10^6 \text{ N/m}) > 23,000 \text{ lb/ft} (335,643 \text{ N/m}) \checkmark \quad (7.42)$$

7 katmanlı çapraz lamine ahşap panelin 2 saat yangına maruz kalması sonucu kesiti azalarak 5 katmanlı hale gelmektedir. Azalma duvarın her iki yanından olmadığı için tek taraflı azalma duvarın üzerinden gelen kuvvetin ağırlık merkezi dışındaki bir noktaya gelmesine sebep olmaktadır. Bu eksantrisite sonucu duvarda moment oluşmaktadır.

$$e = y - y' = \frac{9.625}{2} - 2.4 = 2.373 \text{ in.} (60.3 \text{ mm}) \quad (7.43)$$

Kesitin birleşik etkiler altında kapasitesini bulmak için yeni kesitin eğilme momenti dayanımının bilinmesi gerekmektedir, bunun için öncelikle Denklem 6.4 ile malzemenin efektif kesit modülü elde edilmiştir.

$$S_{eff} = \frac{2 * 157.94 * 10^6}{1.4 * 10^6 * 5.825} = 38.73 \text{ in.}^3 (634,671 \text{ mm}^3) \quad (7.44)$$

Kesiti azalan malzemenin eğilme dayanımını Denklem 6.3 ile belirlenmiştir.

$$F_b S_{eff} = \frac{0.85 * 875 * 38.73}{12} = 2,400 \text{ lbf. ft/ft} (17.5 * 10^6 \text{ N. mm/m}) \quad (7.45)$$

Yangın etkisine maruz çapraz lamine ahşap elemanın eğilme momenti dayanımı Çizelge 6.7'deki düzeltme katsayılarıyla çarpılarak en son haline getirilmektedir.

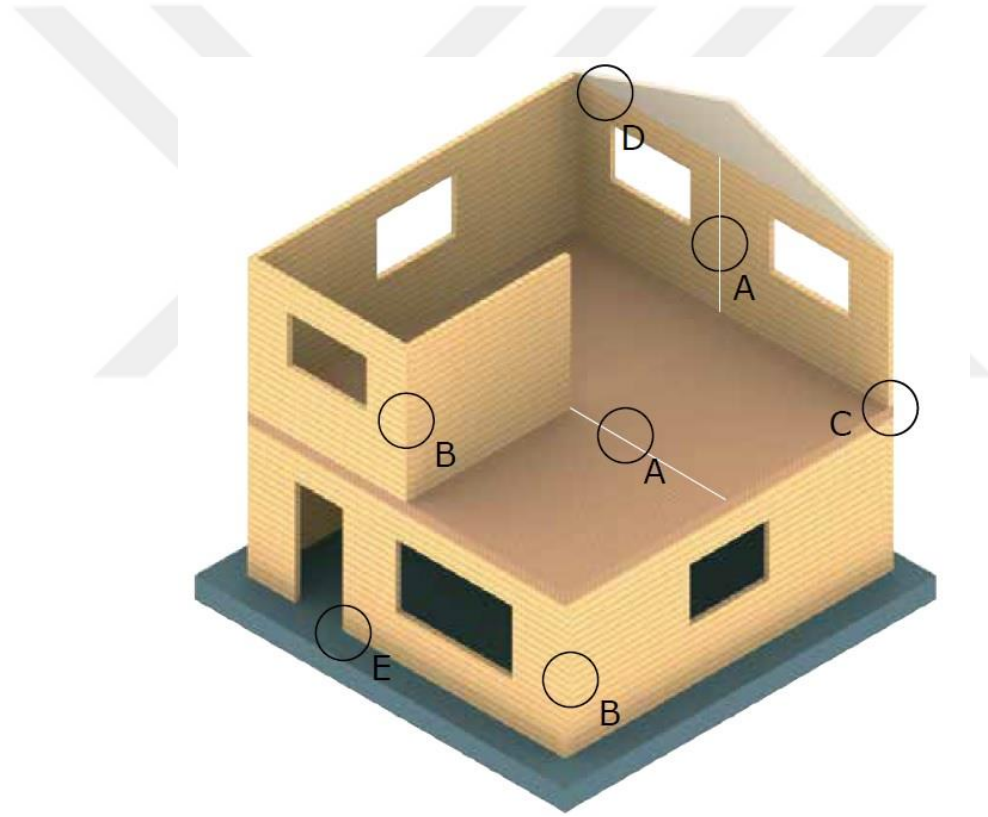
$$M'_f = 2.85 * 2,400 * (1.0) = 6,840 \text{ ft. lb/ft} (30,425 \text{ N. m/m}) \quad (7.46)$$

Moment ve aksenal kuvvetin birlikte etkideği durumlarda Denklem 6.28 kullanılarak kesitin etkiler sonucu verilen yükleri taşıyabileceği belirlenmiştir.

$$\left(\frac{23,000}{77,732}\right)^2 + \frac{23,000 * 2.37 * [1 + 0.234 * (23,000/96,962)]}{6,840 * 12 * [1 - (23,000/96,962)]} = 0.82 < 1 \checkmark \quad (7.47)$$

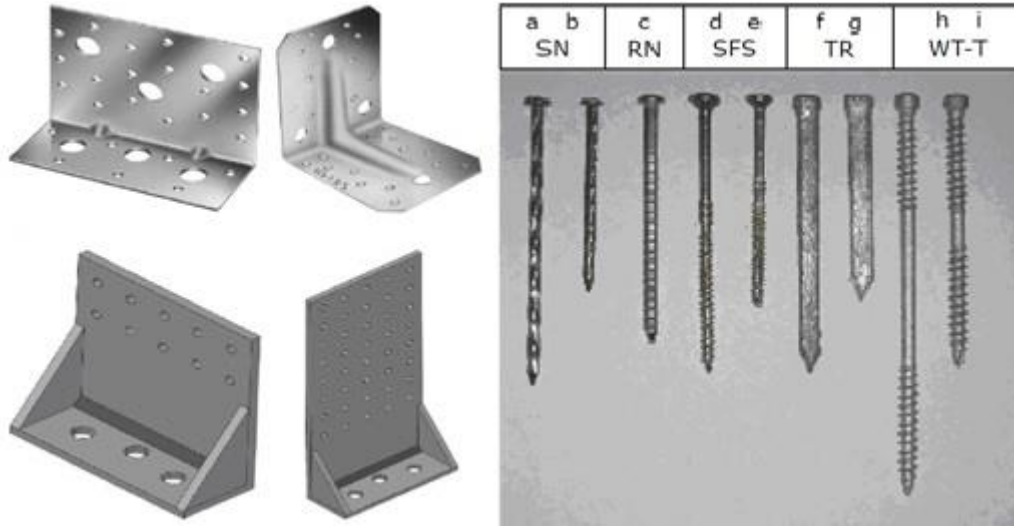
8. ÇAPRAZ LAMİNE AHŞAP PANELLER ARASINDAKİ BAĞLANTILAR

Çapraz lamine ahşap panellerin bağlantı tipleri yapılan tasarıma ve bağlantının yerine göre farklılık göstermektedir. Bağlantılar yapısal bütünlüğü korumayı sağlamaktadır. Kesitler deprem anında birleşim noktalarından zorlanarak ayrılmak ister. Bu nedenle sismik olaylar ve rüzgâr kuvveti için yanal yüklere göre tasarım yapıldığında birleşim noktalarında kullanılacak malzemelerin sistemin sünekliliğini arttırmaya yönelik seçilmesi gerekmektedir. Yapıda servis kolaylığı sağlaması, yangın dayanımına etkileri ve bina giydirme işleri için bağlantılar önem arz etmektedir. Yapının prefabrikasyon seviyesi belirlenerek hızlı montaj ve hızlı demontaj kolaylığı sağlanmaktadır.



Şekil 8.1. Zemin ve duvar panellerinden oluşan 2 katlı tipik çapraz lamine ahşaptan inşa edilmiş konut (Douglas ve ark., 2013)

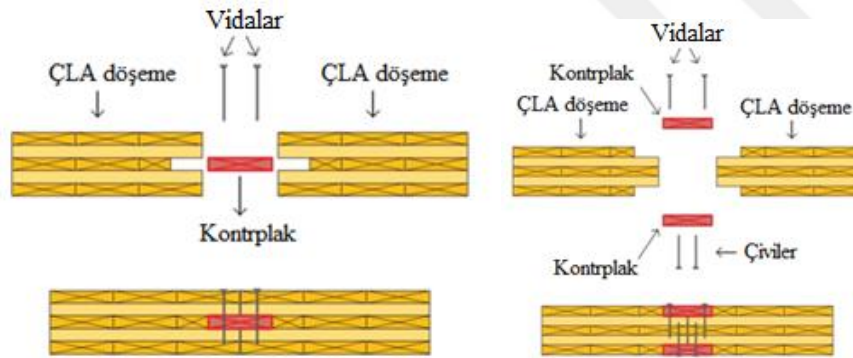
Bağlantı noktaları ile ilgili olarak Şekil 8.1’de gösterilmiş olan iki katlı binanın bağlantı detayları incelenecektir. Birleşim detayları oldukça kolaydır ve birleştirme araçları metal dirsekler, civatalar ve ahşap birleşim malzemelerinden oluşmaktadır. Bu bağlantı elemanları Şekil 8.2’de gösterilmektedir.



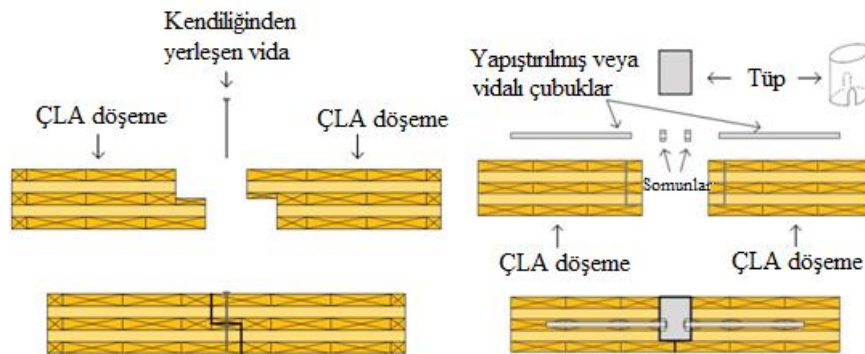
Şekil 8.2. Duvar-döşeme bağlantısı için braket ve bağlantı elemanı tipleri (Douglas ve ark., 2013)

8.1. Döşeme Plakaları Arasındaki Bağlantı (A Detayı)

Şantiyelere ulaştırılacak panellerin büyüklüğü nakliye problemlerine sebep olduğu için büyük döşeme panellerinin şantiyede birleştirilmesi gerekmektedir. Bu birleşim türlerine ait örnekler Şekil 8.3 ve Şekil 8.4'te gösterilmiştir.



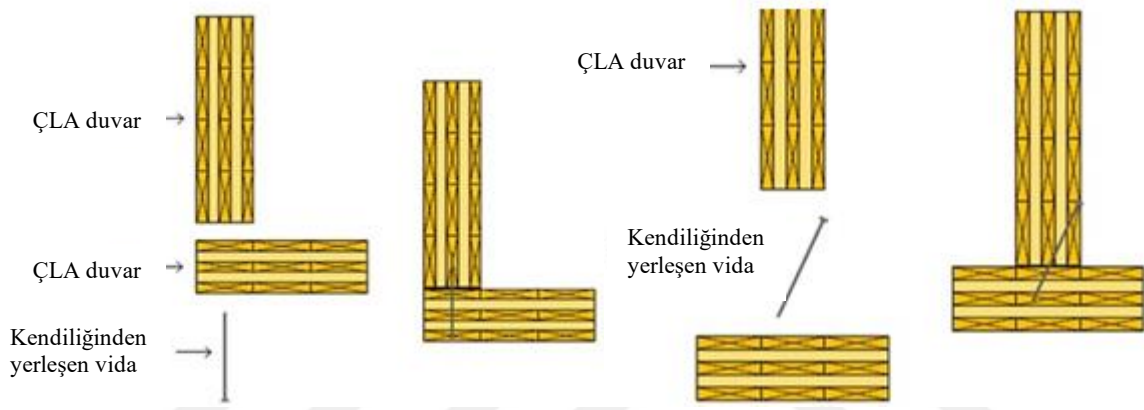
Şekil 8.3. İç kısımda tek yuvalı ve yüzeyinde iki yuvalı birleşim detayları (Mohammed, 2011)



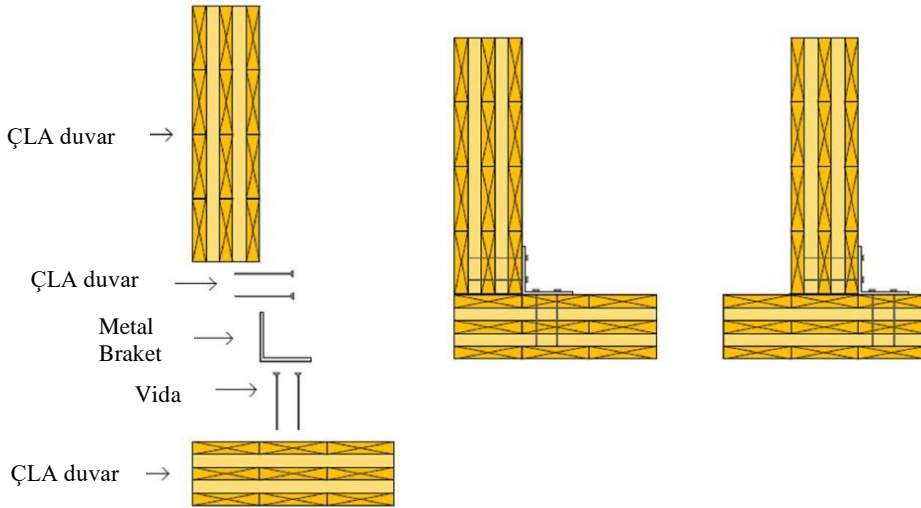
Şekil 8.4. Üst üste bindirilmiş birleşim detayı ve tüp birleşim detayları (Douglas ve ark., 2013)

8.2. Duvar- Duvar Arası Bağlantı (B Detayı)

Bu bağlantı tipi dik açıda konumlandırılmış duvar panellerinin birbirlerine enine bağlantısını kapsamaktadır. Taşıyıcı dış duvarlar birbirlerine dış köşelerinden bağlanmaktadır. Şekil 8.5'te ve 8.6'da gösterilen bağlantı detayları, çapraz lamine ahşap duvarlarının montajında yaygın olarak kullanılmaktadır. Dış duvarların enine doğrultuda birleştirilme biçimi taşıyıcı olmayan iç duvarların birbirlerine bağlantısında da kullanılmaktadır. Şekil 8.5'te kullanılan birleştirme detayı sismik yükleme etkisi altında daha iyi sonuç veren bir detay olarak belirlenmiştir (Pavlyukovskiy, 2012).



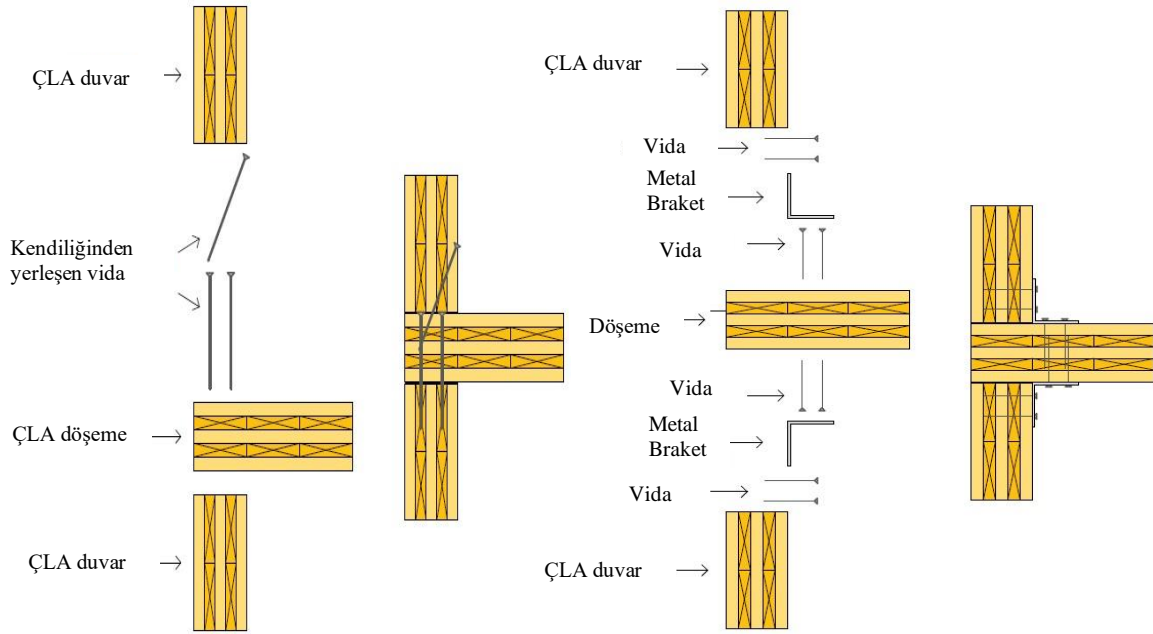
Şekil 8.5. Duvarlar arası akıllı vidalar ile bağlantı detayı (Mohammed, 2011)



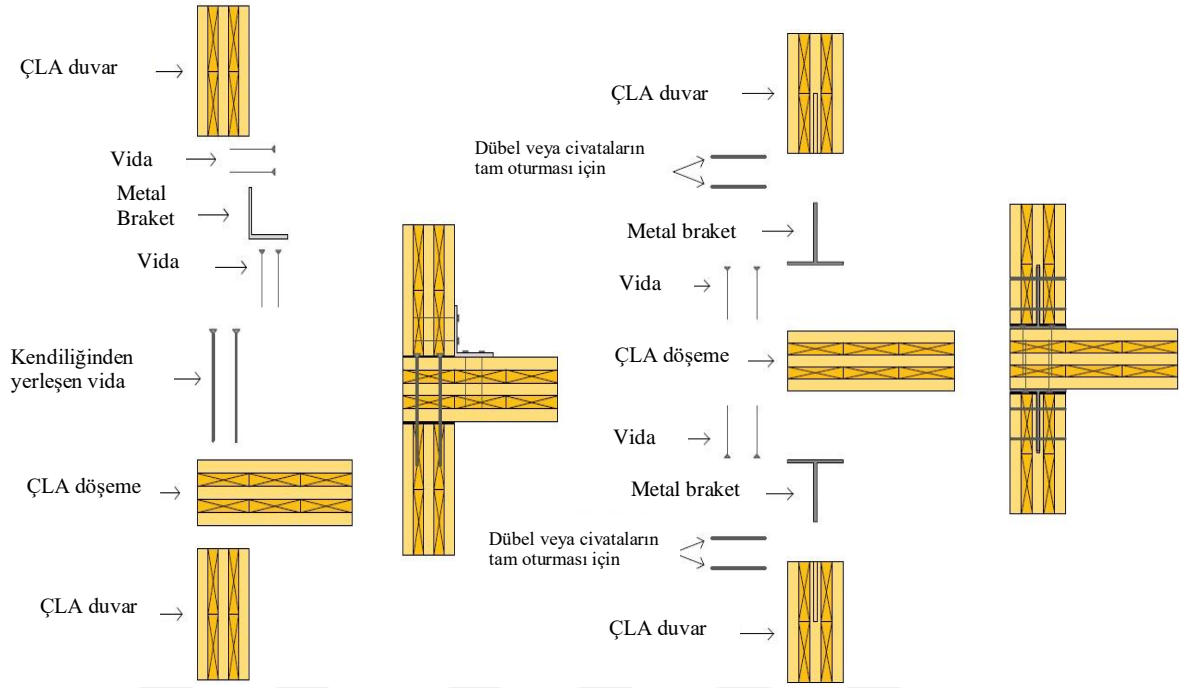
Şekil 8.6. Duvarlar arası metal braket ve vidalar ile bağlantı detayı (Mohammed, 2011)

8.3. Duvardan Döşemeye Bağlantı (C-D Detayı)

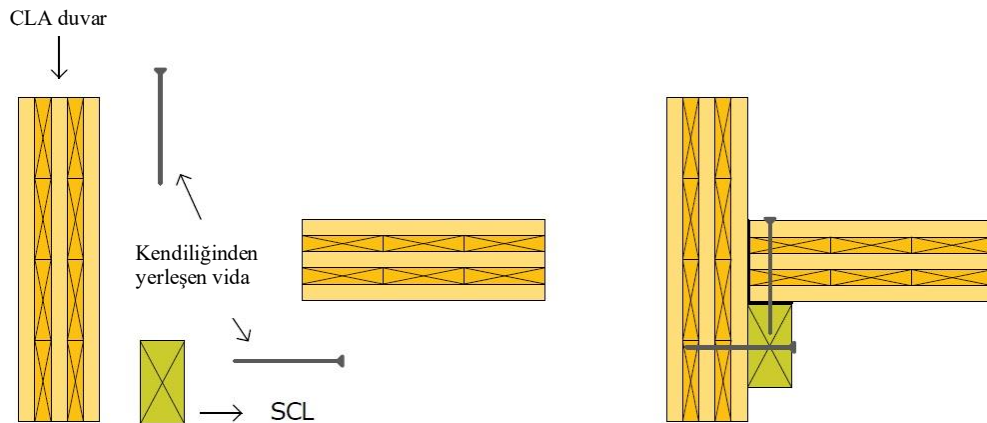
Duvar döşeme bağlantısında kullanılacak bağlantı elamanının yapısına ve prefabrikasyonluk derecesine göre çeşitli detaylar bulunmaktadır. Duvar ile döşeme bağlantısında en yaygın kullanılan detaylar Şekil 8.7, 8.8 ve 8.9'da verilmiştir. Bu yöntem ayrıca çatı panelleri için de uygundur. Tüm bağlantılar mafsallı olup elemanların basit statik bir modeli vardır.



Şekil 8.7. Akıllı vida veya metal braketler kullanılarak yapılan birleşimler (Douglas ve ark., 2013)



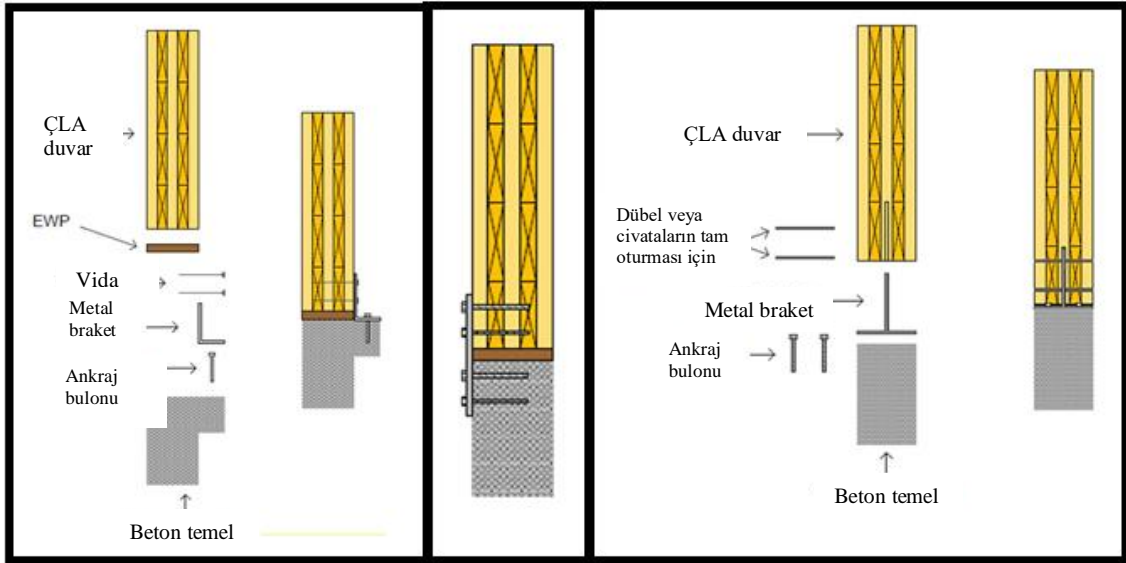
Şekil 8.8. Metal braket-akıllı vidanın beraber kullanıldığı detay ve gizli metal plaka kullanımıyla yapılan birleşim detayı (Mohammed, 2011)



Şekil 8.9. Yapısal kompozit keresteler (SCL) kullanılarak kirişin desteklendiği birleşimler (Mohammed, 2011)

8.4. Temelden Duvara Bağlantı (E Detayı)

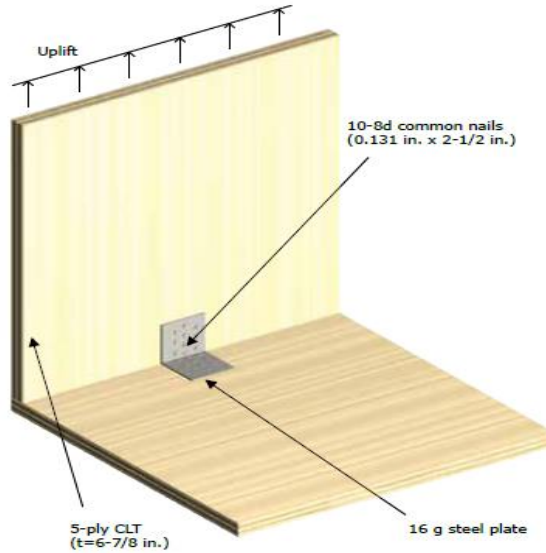
Betonarmeden yapılmış temelin, çapraz lamine ahşap duvara bağlantısı ile oluşmaktadır. Birleşimde gerekli dayanımı sağlayabilmek için sistemin ağırlığına göre duvar ve temel arasında metal veya ahşap plakalar yerleştirilmektedir (Şekil 8.10). Birleştirme malzemesi olarak ankraj bulonu ve akıllı vidalar kullanılarak montaj kısa bir sürede tamamlanmaktadır.



Şekil 8.10. Duvar ile temel arasında uygulanan bağlantı tipleri (Mohammed, 2011)

8.5. Çivilenmiş Metal Braketin Hesabı

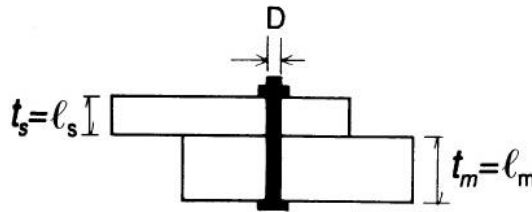
Şekil 8.11’de metal plaka ve çivi ile bağlanmış duvar ve döşeme bağlantı elemanı görülmektedir.



Şekil 8.11. Çivilenmiş metal plaka bağlantısı (Yanal ve çekme etkilerine maruz)
(Douglas ve ark., 2013)

Şekil 8.11’de gösterilen birleşim detayında çapraz lamine ahşabın her bir katmanının kalınlığı 1.375 inç (35 mm) ve toplam 6.875 (175 mm) inç kalınlıktan oluşan 5 katmanlı V1 panelinin özgül ağırlığı (G)=0.50’tir. Çekme etkisine maruz kalan elemanın ASTM A653’te bulunan 0.06 inç (1.5 mm) kalınlığa sahip 33 numaralı çelik

plakadan oluşan braketin dayanımı $F_c = 61,850$ psi (426.44 MPa) olarak verilmektedir. ASTM 153'ten seçilen çelikten imal edilmiş 1 brakette 10 adet bulunan 8d normal çiviler ise 0.131 inç (3.3 mm) çap ve 2.5 inç (63.5 mm) uzunluktan oluşmaktadır. 8d çivisinin akma dayanımı ise $F_{yb} = 100,000$ psi (689.5 MPa)'dır. Tasarımda anlık yükleme için $C_D = 1.6$ diğer katsayılar ise 1.0 olarak alınacaktır.



Şekil 8.12. Tek tesirli bağlantı tipi (NDS, 2018)

Burada l_s braketin kalınlığı olup 0.06 inç (1.5 mm) olarak verilmiştir. l_m ise yatak uzunluğu olup NDS Bölüm 12.3.5.3'e göre penetrasyon uzunluğu (p)'den, uç uzunluğu ($E/2$) çıkarılarak elde edilmektedir. Penetrasyon uzunluğu (p) çivinin ana panele gireceği uzunluğudur. E ise vidalarda uç uzunluk olup çiviler için NDS (2018) Bölüm 12.3.5.3 (b)'de 2D olarak verilmektedir.

$$l_s = 0.06 \text{ in. (1.5 mm)} \quad (8.1)$$

$$p = L - l_s = 2.5 - 0.06 = 2.44 \text{ in. (62 mm)} \quad (8.2)$$

$$l_m = p - \frac{E}{2} = 2.44 - 2 * \frac{0.131}{2} = 2.31 \text{ in. (59 mm)} \quad (8.3)$$

NDS (2018) Bölüm 12.1.6.4'te penetrasyon uzunluğunun gerekli güvenlik şartları için $6D$ değerinden büyük olması istenmektedir.

$$p = 2.44 \text{ in. (62 mm)} > 6 * 0.131 = 0.79 \text{ in. (20 mm)} \quad \checkmark \quad (8.4)$$

8.5.1. Yanal Tasarım için Bağlantı Hesabı

GKT (ASD) yöntemine göre yanıl kapasite değerleri NDS (2018)'de hazır olarak verilmektedir. Bu değerler yaygın olarak kullanılan çelik plakaların ve özellikleri NDS (2018)'de verilen çivilerin kullanılmasıyla hesaplanmaktadır. Çizelge 8.1'de

kullanılan birleştirme elemanının kalınlığı, çivi çapı ve özgül ağırlığı ile malzemenin yanal kuvvet direnci bulunmaktadır.

Çizelge 8.1'den yan eleman için 0.06 inç (1.5 mm) kalınlık, çivi için ise 0.131 inç (3.3 mm) çap ve özgül ağırlık 0.5 seçildiğinde 1 çivinin taşıyabileceği kuvvet $Z = 97 \text{ lbs}$ (431.5 N) olarak bulunmaktadır.

Çizelge 8.1. Referans yanal tasarım değerleri, Z, tek tesirli (İki Eleman)

| Yan Eleman Kalınlığı | Çivi Çapı | Ortak Tel Çivi | Yassı Başlı Çivi | Platin Çivi | | | | | | | | | | |
|----------------------|-----------|----------------|------------------|-------------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | | | | G=0.67 | G=0.55 | G=0.5 | G=0.49 | G=0.46 | G=0.43 | G=0.42 | G=0.37 | G=0.36 | G=0.35 |
| $t_s=l_s$ in. | D In. | | | | lbs | lbs | lbs | lbs | lbs | lbs | lbs | lbs | lbs | lbs |
| 0.060 (16 gage) | 0.099 | | 6d | 7d | 72 | 62 | 57 | 56 | 54 | 51 | 50 | 45 | 44 | 43 |
| | 0.113 | 6d | 8d | 8d | 92 | 79 | 73 | 72 | 68 | 64 | 63 | 57 | 56 | 54 |
| | 0.120 | | | 10d | 103 | 88 | 82 | 80 | 76 | 72 | 71 | 63 | 62 | 61 |
| | 0.128 | | 10d | | 117 | 100 | 92 | 91 | 86 | 81 | 80 | 72 | 70 | 68 |
| | 0.131 | 8d | | | 122 | 104 | 97 | 95 | 90 | 85 | 83 | 75 | 73 | 71 |
| | 0.135 | | 16d | 12d | 129 | 111 | 102 | 100 | 96 | 90 | 88 | 79 | 78 | 76 |
| | 0.148 | 10d | 20d | 16d | 147 | 126 | 116 | 114 | 109 | 102 | 100 | 90 | 88 | 86 |
| | 0.162 | 16d | 40d | | 175 | 150 | 138 | 135 | 129 | 121 | 119 | 107 | 105 | 102 |
| | 0.177 | | | 20d | 202 | 172 | 159 | 156 | 149 | 140 | 137 | 123 | 121 | 117 |
| | 0.192 | 20d | | 30d | 210 | 179 | 165 | 162 | 154 | 145 | 142 | 128 | 125 | 122 |
| | 0.207 | 30d | | 40d | 229 | 195 | 180 | 177 | 168 | 158 | 155 | 139 | 137 | 133 |
| | 0.225 | 40d | | | 253 | 215 | 199 | 195 | 185 | 174 | 171 | 153 | 150 | 146 |
| 0.244 | 50d | | 60d | 260 | 221 | 204 | 200 | 191 | 179 | 176 | 157 | 155 | 150 | |

GKT (ASD) yöntemi için gerekli yükleme süresi katsayısı $C_D = 1.6$ olarak verilmiştir.

$$Z' = Z * C_D = 97 * 1.6 = 155.2 \text{ lb/adet} (690,4 \text{ N/adet}) \quad (8.5)$$

10 adet çivinin taşıyabileceği kuvvet ise:

$$Z'_{\text{Toplam}} = 155.2 * 10 = 1552 \text{ lb.} (6904 \text{ N}) \quad (8.6)$$

8.5.2. Çekme Durumu için Bağlantı Hesabı

Malzemenin çekme kapasitesi NDS (2018)'den alınan Çizelge 8.2'de hazır olarak verilmektedir. Bu kapasite çivinin çekme dayanımı olup özgül ağırlığı ve çapı ile belirlenmektedir.

$$W' = W * C_D = 32 * 1.6 = 51.2 \text{ lb/in./adet} \text{ (} 8.97 \text{ N/mm/adet)} \quad (8.7)$$

1 çivinin çekme kapasitesi NDS (2018) Bölüm 12.2.3 kullanılarak bulunur.

$$W' * p = 51.2 * 2.44 = 125 \text{ lb/adet} \text{ (} 556 \text{ N/adet)} \quad (8.8)$$

10 adet çivinin toplam çekme kapasitesi ise Denklem 8.9 ile bulunmaktadır.

$$W_{p_{total}} = 10 * 125 = 1250 \text{ lb} \text{ (} 5,560 \text{ N)} \quad (8.9)$$

Çizelge 8.2. Düzgün uçlu karbon çeliğinden oluşan çivi için referans çekme tasarım değerleri, W

| Özgül Ağırlık G | Düzgün uçlu karbon çeliğinden oluşan çivi çapı, D | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 0.092" | 0.099" | 0.113" | 0.120" | 0.128" | 0.131" | 0.135" | 0.148" | 0.162" | 0.177" | 0.192" | 0.207" | 0.225" | 0.244" | 0.263" | 0.283" | 0.312" | 0.375" |
| 0.73 | 58 | 62 | 71 | 75 | 80 | 82 | 85 | 93 | 102 | 111 | 121 | 130 | 141 | 153 | 165 | 178 | 196 | 236 |
| 0.71 | 54 | 58 | 66 | 70 | 75 | 77 | 79 | 87 | 95 | 104 | 113 | 121 | 132 | 143 | 154 | 166 | 183 | 220 |
| 0.68 | 48 | 52 | 59 | 63 | 67 | 69 | 71 | 78 | 85 | 93 | 101 | 109 | 118 | 128 | 138 | 149 | 164 | 197 |
| 0.67 | 47 | 50 | 57 | 61 | 65 | 66 | 68 | 75 | 82 | 90 | 97 | 105 | 114 | 124 | 133 | 144 | 158 | 190 |
| 0.58 | 33 | 35 | 40 | 42 | 45 | 46 | 48 | 52 | 57 | 63 | 68 | 73 | 80 | 86 | 93 | 100 | 110 | 133 |
| 0.55 | 28 | 31 | 35 | 37 | 40 | 41 | 42 | 46 | 50 | 55 | 59 | 64 | 70 | 76 | 81 | 88 | 97 | 116 |
| 0.51 | 24 | 25 | 29 | 31 | 33 | 34 | 35 | 38 | 42 | 45 | 49 | 53 | 58 | 63 | 67 | 73 | 80 | 96 |
| 0.50 | 22 | 24 | 28 | 29 | 31 | 32 | 33 | 36 | 40 | 43 | 47 | 50 | 55 | 60 | 64 | 69 | 76 | 91 |
| 0.49 | 21 | 23 | 26 | 28 | 30 | 30 | 31 | 34 | 38 | 41 | 45 | 48 | 52 | 57 | 61 | 66 | 72 | 87 |
| 0.47 | 19 | 21 | 24 | 25 | 27 | 27 | 28 | 31 | 34 | 37 | 40 | 43 | 47 | 51 | 55 | 59 | 65 | 78 |
| 0.46 | 18 | 20 | 22 | 24 | 25 | 26 | 27 | 29 | 32 | 35 | 38 | 41 | 45 | 48 | 52 | 56 | 62 | 74 |
| 0.44 | 16 | 18 | 20 | 21 | 23 | 23 | 24 | 26 | 29 | 31 | 34 | 37 | 40 | 43 | 47 | 50 | 55 | 66 |
| 0.43 | 15 | 17 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 25 | 27 | 30 | 32 | 35 | 38 | 41 | 44 | 47 | 52 | 63 |
| 0.41 | 15 | 16 | 18 | 19 | 20 | 21 | 21 | 23 | 26 | 28 | 30 | 33 | 35 | 38 | 41 | 45 | 49 | 59 |
| 0.42 | 14 | 15 | 17 | 18 | 19 | 19 | 20 | 22 | 24 | 26 | 29 | 31 | 33 | 36 | 39 | 42 | 46 | 56 |
| 0.40 | 13 | 14 | 16 | 17 | 18 | 18 | 19 | 21 | 23 | 25 | 27 | 29 | 31 | 34 | 37 | 40 | 44 | 52 |
| 0.39 | 12 | 13 | 15 | 16 | 17 | 17 | 18 | 19 | 21 | 23 | 25 | 27 | 29 | 32 | 34 | 37 | 41 | 49 |
| 0.38 | 11 | 12 | 14 | 15 | 16 | 16 | 17 | 18 | 20 | 22 | 24 | 25 | 28 | 30 | 32 | 35 | 38 | 46 |
| 0.37 | 11 | 11 | 13 | 14 | 15 | 15 | 16 | 17 | 19 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 33 | 36 | 43 |
| 0.36 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 14 | 14 | 16 | 17 | 19 | 21 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 33 | 40 |
| 0.35 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 13 | 14 | 15 | 16 | 18 | 19 | 21 | 23 | 24 | 26 | 28 | 31 | 38 |
| 0.31 | 7 | 7 | 8 | 9 | 9 | 10 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 17 | 18 | 19 | 21 | 23 | 28 |

9. ŞANTIYEDE ÇAPRAZ LAMİNE AHŞAP

Çapraz lamine ahşap malzeme prefabrike olması sonucu, yüksek hassasiyete, hızlı inşaat sürecine, yüksek güvenliğe, daha az vasıflı işçiye, inşaat sırasında çevreye daha az zarar verme ve daha az atıkla karakterize edilen bir inşaat sürecine izin vermektedir. Pencere, kapılar ve merdivenler için gereken boşluklar fabrikada CNC makineler kullanılarak hassas bir şekilde kesilmektedir. Binaların temelleri genellikle betonarme inşa edilmektedir. Temeli tamamlanan binanın üst katları prefabrike elemanlar kullanılarak hızlı bir şekilde tamamlanmaktadır.

Çapraz lamine ahşap malzemesi kullanılarak inşa edilen yapılarda bu malzeme zeminler için büyük açıklıklarda, duvarlar için gerekli yüksekliklerde, çatılar için gerekli yüklerde yüksek performans göstermektedir. Panelize sistem olarak kullanılabilirliği, mevcut binalara yapılan eklemeler için de ideal olmaktadır. Hafif ahşap çerçevelerle, ağır ahşap, çelik veya beton gibi malzemelerle uyumlu bir şekilde kullanılabilir. Çapraz lamine ahşap paneller daha geniş açıklıkları geçmek için betonarme ile kompozit yapı olarak kullanılabilir. İyi ısı yalıtımı, iyi ses yalıtımı ve yangın koşullarında yüksek dayanımı ile de yapılarda tercih sebebi olmaktadır.

9.1. Ulaştırma ve Şantiye Sınırlamaları İle İlgili Hususlar

Çapraz lamine ahşaptan inşa edilmiş bir yapının tasarımına başlamadan önce elemanları fabrikadan şantiyeye sevk etmek ve bunları sağlıklı şekilde depolamak için gerekli planlamalar yapılmalıdır. Tasarım aşamasında bunlara dikkat edilmediği takdirde panellerin taşınması için yüksek maliyetler ve özel nakliye hizmetleri gerekebilir (Şekil 9.1). İnşaat sahasının büyüklüğü ve yerel yönetmelikler nedeniyle parça boyutlarında kısıtlamalar olabilmektedir.



Şekil 9.1. Helikopter ve teleferik sistemleriyle kesitlerin şantiye sahasına nakliyesi (URL- 12)

9.2. Şantiyede Malzemelerin Depolanması

Ahşap esaslı yapı malzemeleri kısa süre içerisinde kullanılmayacaksa sahada uygun korunaklı bir şekilde depolanmaktadır. Panellerin şantiyede istiflenmesi, ilave masrafları önlemek, kaza ve kırılma riskini azaltmak için uygun olarak yapılmaktadır. Panelleri zeminden gelecek durgun sudan korumak için kızaklar ve panellerin havayla ilişkisini kesmek amacıyla kaliteli brandalar kullanılmaktadır.

9.3. Çapraz Lamine Ahşap Elemanların Kaldırılması ve Taşınması

Gelişen çapraz lamine ahşap inşaat endüstrisi, panelleri kaldırmak ve taşımak için çeşitli teknikler geliştirmiştir (Şekil 9.2). Yapının ve bulunduğu yerin farklılığına göre kullanılacak teknikler belirlenmektedir. Şehir merkezinde inşa edilecek 6 katlı bir bina ile dağda yapılacak az katlı bir yapı için gereken çaba ve hazırlıklar farklılık göstermektedir.

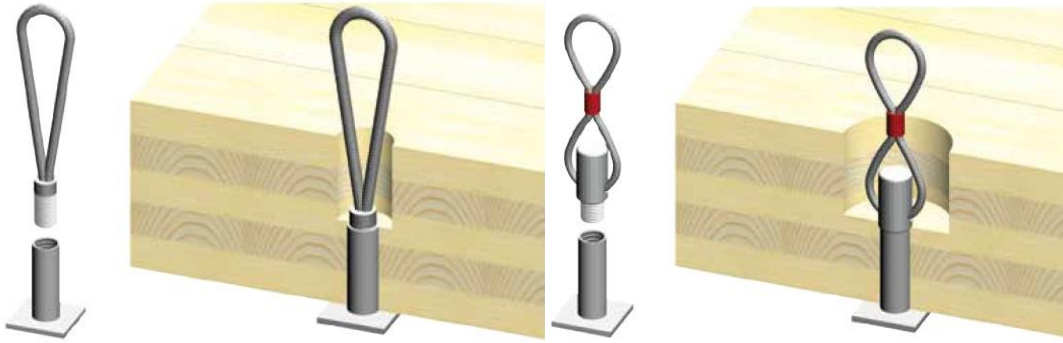


Şekil 9.2. Mobil vinç ve hareketli çatı sisteminin köprülü vinç ile kurulumu
(Francis ve ark., 2013)

9.3.1. Askı ve Bağlama Sistemleri

En sık tercih edilen çapraz lamine ahşap taşıma yöntemi, panellerin alt yüzeyinden çelik plakalar kullanılarak yapılan taşıma yöntemi olmaktadır. Şekil 9.3 ve Şekil 9.4'te gösterilen teknikte dübellerin ve dişli manşonların takılabilmesi için fabrikada panellerde delme işleminin yapılması gerekmektedir. Şekil 9.5'te ise fabrikada herhangi bir işleme gerek kalmadan halkalı küçük plakaların panellere

vidalanması ile sağlanmaktadır. Montaj sonrası tahta dübeller ile gerekli yerel onarımlar yapılabilmektedir.



Şekil 9.3. Tek ve çift kaldırma halkalı, yükün alttaki çelik plakalarla taşındığı sistemler (Francis ve ark., 2013)



Şekil 9.4. Dişli vida kullanılarak yapılan taşıma (Francis ve ark., 2013)



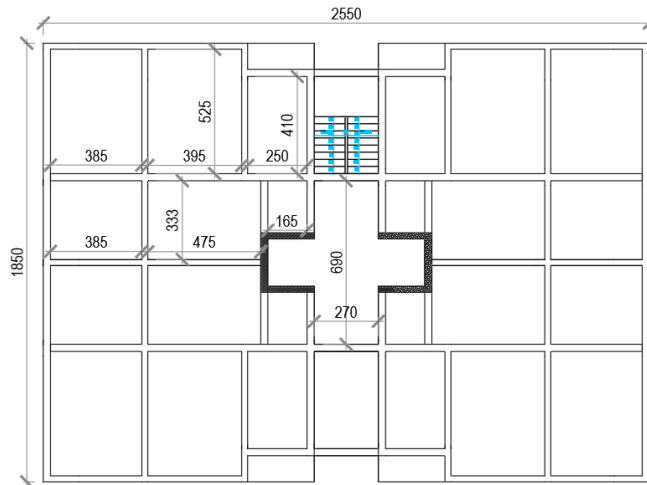
Şekil 9.5. Panele vidalanmış küçük plakalar ile taşıma (Francis ve ark., 2013)

10. ÇOK KATLI ÇLA YAPI TASARIMI

Bu tez çalışmasında, 3, 5 ve 10 katlı çapraz lamine ahşap taşıyıcı sisteme sahip bina modellerinin düşey ve yatay yükler altındaki analizi RFEM sonlu eleman analiz programında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bina modellerinde tüm katlarda ÇLA kullanılması durumu ve zemin katı betonarme üst katlar ÇLA olan taşıyıcı sistem kullanılması durumu incelenmiştir. Buna göre analizi yapılan bina modelleri, kat yüksekliği 2.9 m olan 3, 5 ve 10 katlı tüm katları çapraz lamine ahşaptan oluşan ve zemin katları betonarme yapı elemanlarından diğer katları çapraz lamine ahşaptan oluşan çok katlı yapılardır. Ayrıca betonarme taşıyıcı sistemden oluşan bina ile çapraz lamine ahşaptan oluşan binayı karşılaştırmak için tamamen betonarme taşıyıcı sisteme sahip bir bina modelinin de analizi yapılmıştır.

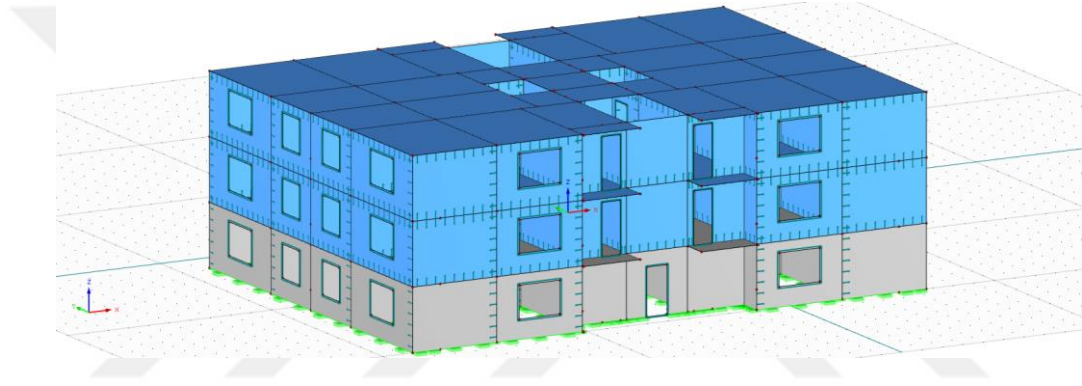
Tasarımda betonarme duvarlar ve ÇLA paneller yüzey elemanları olarak tasarlanmaktadır. Tasarımı yapılan 7 farklı modelde betonarme elemanlar için C30 beton sınıfı kullanılmış, duvar kalınlıkları 200 mm döşeme kalınlıkları ise 120 mm olarak belirlenmiştir. Donatı çeliği olarak B420C kullanılmıştır. ÇLA panel elemanlarında ise aynı dayanım özelliklerine sahip duvar ve döşemelerde 5 katmanlı panel kullanılmıştır.

Yapılan analizler sonucunda en kritik model olarak 10 katlı tamamı ÇLA panellerden oluşan model belirlenmiştir. ÇLA panel boyutları, en kritik model olan 6 numaralı bina modeline göre tasarlanmıştır. Bütün elemanlar için malzeme özellikleri aynı alınmıştır. Şekil 10.1’de tasarımı yapılan bina modelinin tipik kat planı görülmektedir.

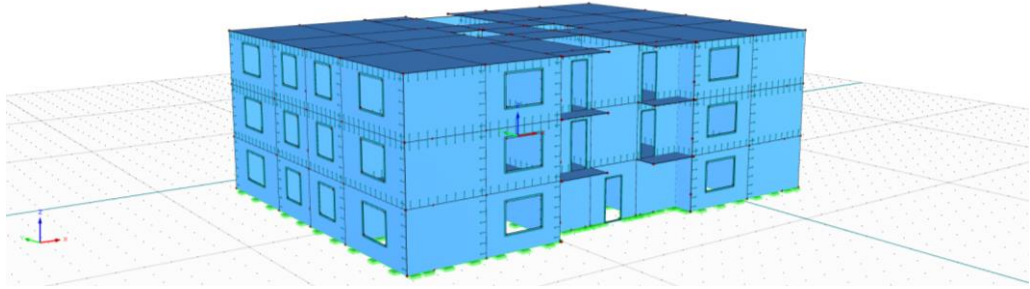


Şekil 10.1 Tasarımı yapılan modelin tipik kat planı (ölçüler cm'dir)

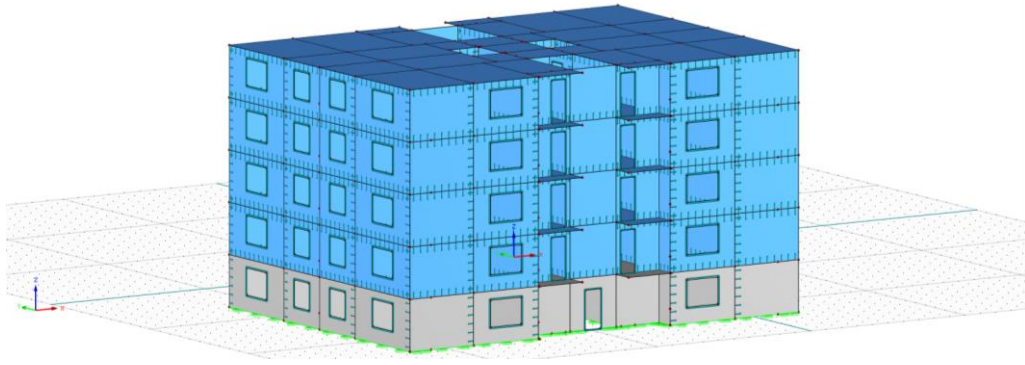
RFEM programında analizi gerçekleştirilen bina modelleri Şekil 10.2-Şekil 10.8 arasında verilmiştir. Şekil 10.2’de zemin katı betonarme duvarlardan diğer katları ÇLA malzemeden oluşan 3 katlı bina modeli, Şekil 10. 3’te tamamı ÇLA malzemeden oluşan 3 katlı bina modeli, Şekil 10.4’te zemin katı betonarme duvarlardan diğer katları ÇLA malzemeden oluşan 5 katlı bina modeli, Şekil 10.5’te tamamı ÇLA malzemeden oluşan 5 katlı bina modeli, Şekil 10.6’da zemin katı betonarme duvarlardan diğer katları ÇLA malzemeden oluşan 10 katlı bina modeli, Şekil 10.7’de tamamı ÇLA malzemeden oluşan 10 katlı bina modeli, Şekil 10.8’de tamamı betonarme elemanlardan oluşan bina modeli görülmektedir. RFEM programında modellemede betonarme ve ÇLA paneller arasında tam aderansın olduğu kabul edilmiştir.



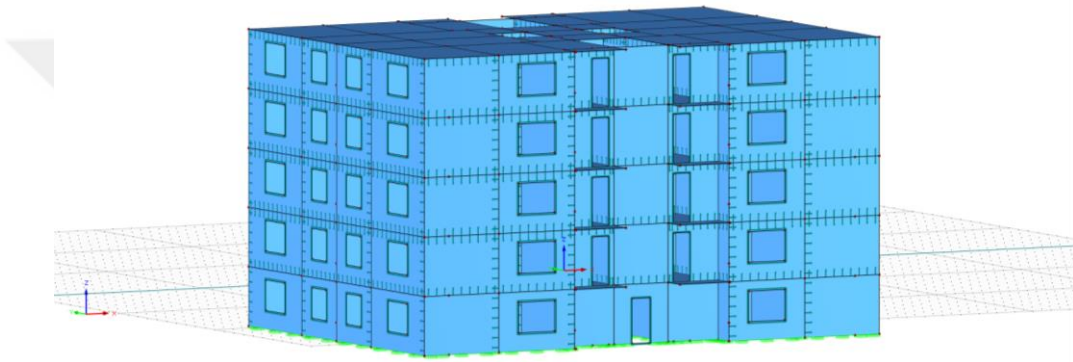
Şekil 10.2 1 numaralı zemin katı betonarme duvarlardan diğer katları ÇLA malzemeden oluşan 3 katlı bina modeli



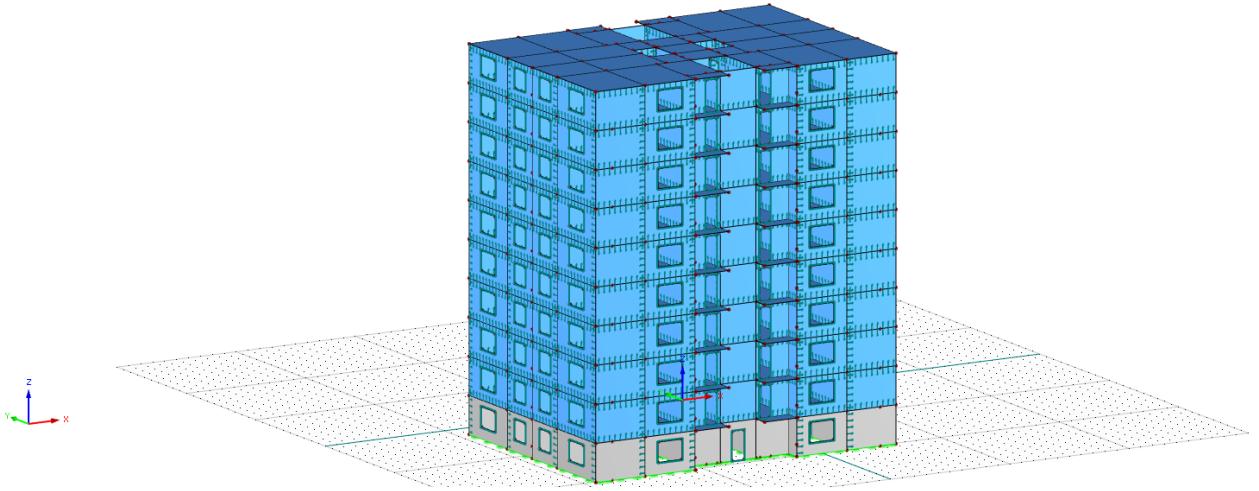
Şekil 10. 3 2 numaralı tamamı ÇLA malzemeden oluşan 3 katlı bina modeli



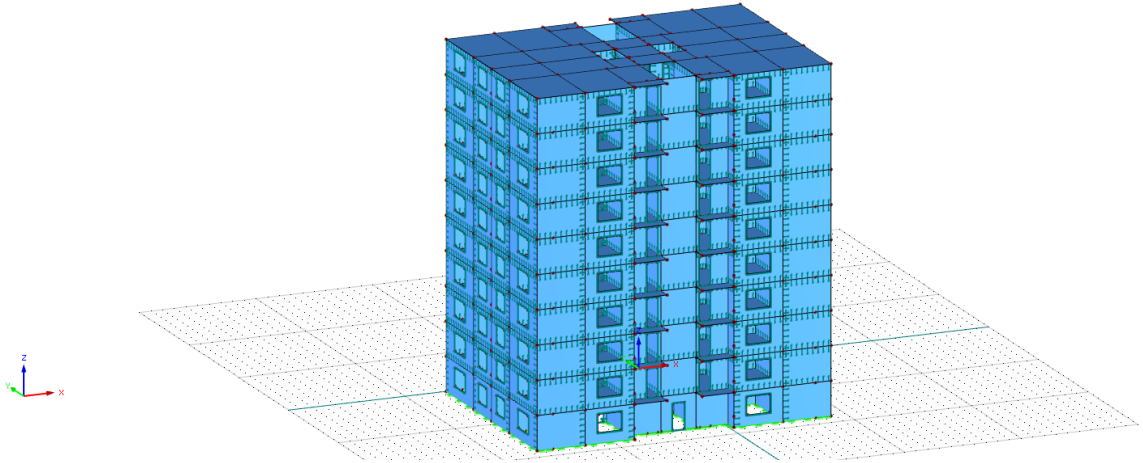
Şekil 10.4 3 numaralı zemin katı betonarme duvarlardan diğer katları ÇLA malzemedен oluşan 5 katlı bina modeli



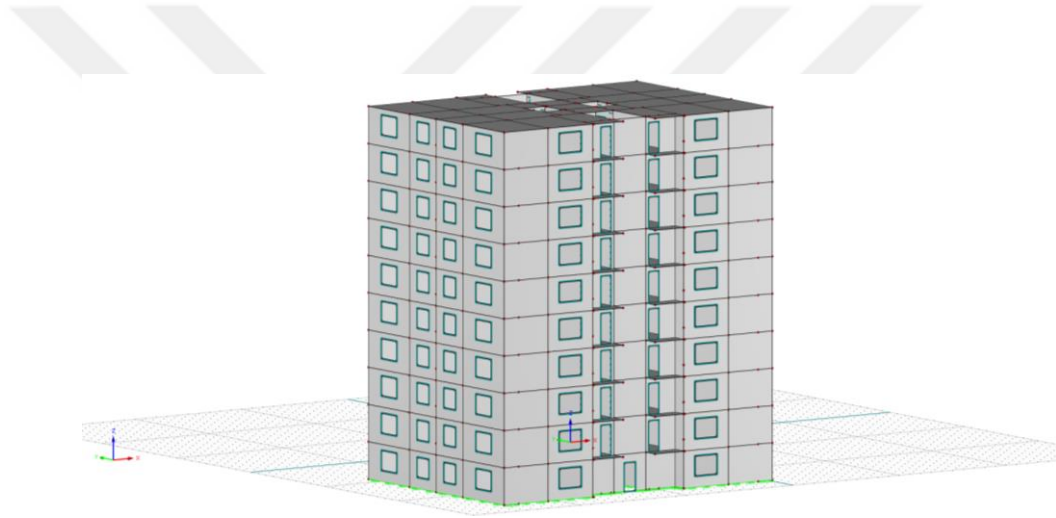
Şekil 10.5 4 numaralı tamamı ÇLA malzemedен oluşan 5 katlı bina modeli



Şekil 10.6 5 numaralı zemin katı betonarme duvarlardan diğer katları ÇLA malzemedен oluşan 10 katlı bina modeli



Şekil 10.7 6 numaralı tamamı ÇLA malzemeden oluşan 10 katlı bina modeli

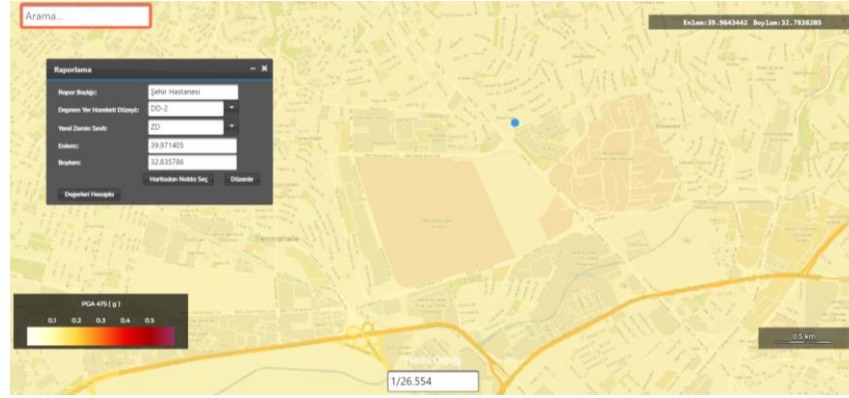


Şekil 10.8 7 numaralı tamamı betonarme elemanlardan oluşan 10 katlı bina modeli

10.1. Deprem Tasarım Parametreleri

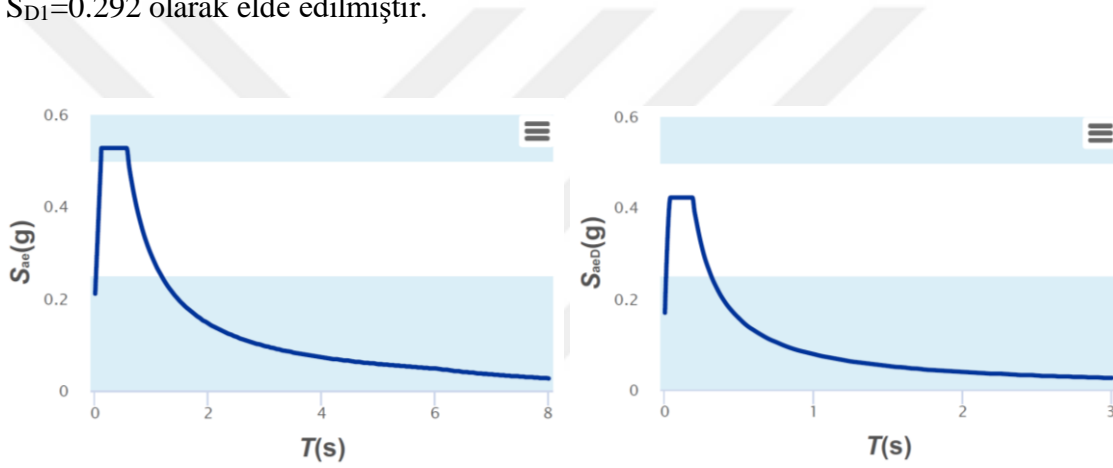
Yapı bölgesi Keçiören/Ankara olarak kabul edilmiştir. Elastik tasarım spektrumlarının belirlenmesi ile ilgili detaylar Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-TBDY (2018) Bölüm 2.3'te verilmektedir. AFAD <https://tdth.afad.gov.tr/> sitesi üzerinden harita spektral ivme katsayıları ile deprem tasarımında kullanılacak yatay ve düşey elastik tasarım spektrumları alınmıştır.

Binanın konumu, Ankara Şehir Hastanesi çevresinde 39.971412° enlem, 32.835804° boylam koordinatları olarak belirlenmiştir (Şekil 10.9). Rapor girdilerinde deprem yer hareketi düzeyi DD-2 ve yerel zemin sınıfı ZD seçilmiştir.



Şekil 10.9 AFAD web sitesinde rapor girdileri ve harita üzerinde konum

Program çıktıları ise $S_S=0.346$, $S_1=0.124$, $PGA=0.150$, $PGV=10.397$, $S_{DS}=0.527$, $S_{D1}=0.292$ olarak elde edilmiştir.



Şekil 10.10 Yatay ve düşey elastik dizayn spektrum grafikleri

Bina Kullanım Sınıfı (BKS) ve Bina Önem Katsayısı (I), bina kullanım amacına göre Çizelge 10.1 ile belirlenmektedir.

Çizelge 10.1 Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları (TBDY,2018)

| Bina Kullanım Sınıfı | Binanın Kullanım Amacı | Bina Önem Katsayısı (<i>I</i>) |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| BKS = 1 | <p>Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar</p> <p>a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları)</p> <p>b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb.</p> <p>c) Müzeler</p> <p>d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar</p> | 1.5 |
| BKS = 2 | <p>İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar</p> <p>Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.</p> | 1.2 |
| BKS = 3 | <p>Diğer binalar</p> <p>BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)</p> | 1.0 |

Analizi yapılan bina modelinin kullanım amacı konut olduğundan, Bina Kullanım Sınıfı (BKS) 3, Bina Önem Katsayısı (*I*) = 1.0 olarak elde edilir.

Deprem etkisi altında tasarımı yapılacak olan yapıların deprem tasarım sınıfları Çizelge 10.2 ile belirlenmektedir. Bina Kullanım Sınıfı ve Tasarım Spektral İvme Katsayısına bağlı olarak belirlenen DTS katsayıları DD-2 deprem düzeyi için tanımlanmıştır.

Çizelge 10.2 Deprem tasarım sınıfları (TBDY, 2018)

| DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS}) | Bina Kullanım Sınıfı | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------|
| | BKS = 1 | BKS = 2, 3 |
| $S_{DS} < 0.33$ | DTS = 4a | DTS = 4 |
| $0.33 \leq S_{DS} < 0.50$ | DTS = 3a | DTS = 3 |
| $0.50 \leq S_{DS} < 0.75$ | DTS = 2a | DTS = 2 |
| $0.75 \leq S_{DS}$ | DTS = 1a | DTS = 1 |

Bina modeli için deprem tasarım spektral ivme katsayısı DD2 deprem düzeyi için 0.527 olarak bulunmuştur. Çizelge 10.2 incelendiğinde $0.50 \leq S_{DS} \leq 0.75$ Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)=2 olarak belirlenmiştir. Bina Yükseklik Sınıfı (BYS), bina yüksekliği ve DTS'ye göre Çizelge 10.3 ile belirlenmektedir. Bina yüksekliği (H_N), bina tabanı ile en üst katın döşeme seviyesi arasındaki mesafe olduğundan, 3 katlı bina modelinin toplam yüksekliği $H_N=8.7$ m, 5 katlı bina modelinin toplam yüksekliği $H_N=14.5$ m, 10 katlı bina modelinin toplam yüksekliği $H_N = 29$ m'dir.

Çizelge 10.3 Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları (TBDY 2018)

| Bina Yükseklik Sınıfı | Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m] | | |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------|
| | DTS = 1, 1a, 2, 2a | DTS = 3, 3a | DTS = 4, 4a |
| BYS = 1 | $H_N > 70$ | $H_N > 91$ | $H_N > 105$ |
| BYS = 2 | $56 < H_N \leq 70$ | $70 < H_N \leq 91$ | $91 < H_N \leq 105$ |
| BYS = 3 | $42 < H_N \leq 56$ | $56 < H_N \leq 70$ | $56 < H_N \leq 91$ |
| BYS = 4 | $28 < H_N \leq 42$ | $42 < H_N \leq 56$ | |
| BYS = 5 | $17.5 < H_N \leq 28$ | $28 < H_N \leq 42$ | |
| BYS = 6 | $10.5 < H_N \leq 17.5$ | $17.5 < H_N \leq 28$ | |
| BYS = 7 | $7 < H_N \leq 10.5$ | $10.5 < H_N \leq 17.5$ | |
| BYS = 8 | $H_N \leq 7$ | $H_N \leq 10.5$ | |

Buna göre, 3 katlı bina modeli için bina yükseklik sınıfı $BYS=7$, 5 katlı bina için $BYS=6$, 10 katlı bina için $BYS=4$ olarak elde edilmektedir.

Binalar için Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) ve Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D), taşıyıcı sistemin süneklik düzeyi dikkate alınarak TBDY (2018) Tablo 4.1 ile belirlenmektedir. Bu tabloda ÇLA panellerden oluşan binalarla ilgili değerler bulunmadığından burada sadece bina modeli için izin verilen bina yükseklik sınıfı kontrolü yapılmıştır.

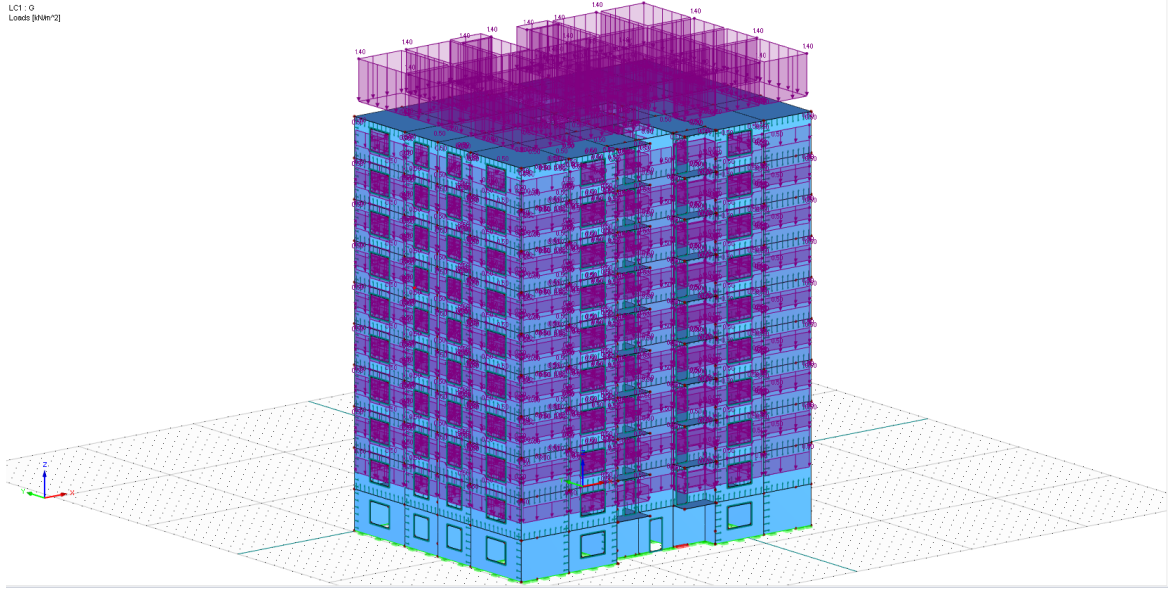
Çizelge 10.4 Taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısı (TBDY 2018)

| Bina Taşıyıcı Sistemi | Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R | Dayanım Fazlalığı Katsayısı D | İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------|
| A. YERİNDE DÖKME BETONARME BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ | | | |
| A1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler | | | |
| A11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar | 8 | 3 | $BYS \geq 3$ |
| A12. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle karşılandığı binalar | 7 | 2.5 | $BYS \geq 2$ |
| A13. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar | 6 | 2.5 | $BYS \geq 2$ |
| A14. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5) | 8 | 2.5 | $BYS \geq 2$ |
| A15. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5) | 7 | 2.5 | $BYS \geq 2$ |
| A16. Deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsallı olan ve yüksekliği 12 m'yi geçmeyen <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı binalar | 3 | 2 | - |

İncelenen bina modellerinin taşıyıcı sistemleri ÇLA paneller ve betonarme perde duvarlardan oluştuğu için deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek boşluksuz perdelerle karşılandığı binalar olarak dikkate alınmıştır. Bu taşıyıcı sistem için izin verilen bina yükseklik sınıfı (BYS) ≥ 2 'dir. İncelenen bina modellerinin BYS değeri 4, 6 ve 7 olduğu için binanın taşıyıcı sistemi, izin verilen bina yükseklik sınıfını sağlamaktadır.

10.1.1. Sabit Yükler (G)

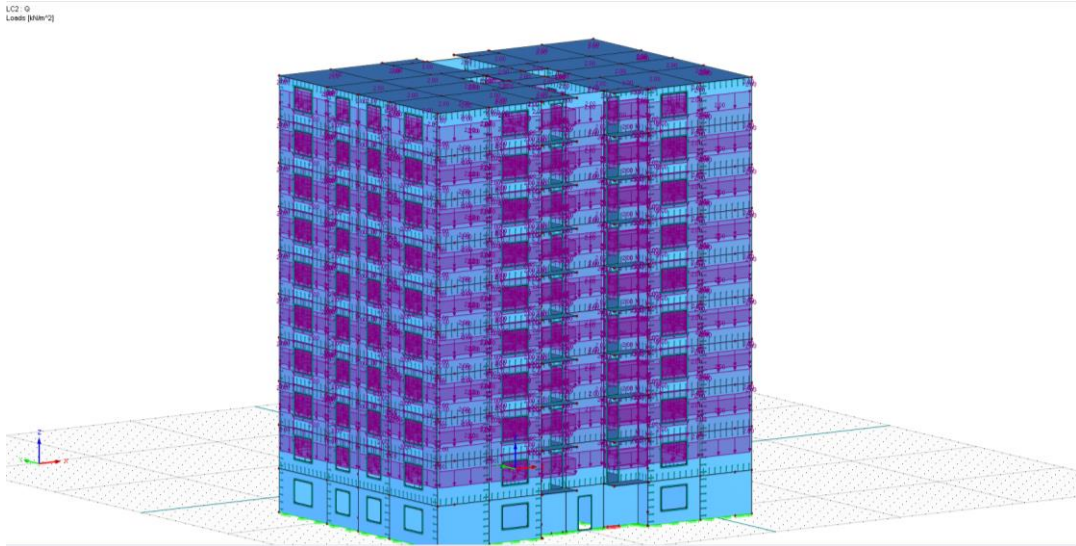
Betonarme döşeme, betonarme duvar, ÇLA döşeme ve ÇLA duvar ağırlıkları seçilen malzeme özellikleri için RFEM programından otomatik olarak alınmaktadır. Ayrıca döşemelerde 0.5 kN/m^2 kaplama yükü ve çatıda 1.4 kN/m^2 çatı kaplaması yükü gözönüne alınmıştır (Şekil 10.11).



Şekil 10.11 Yapı üzerindeki sabit yükler

10.1.2. Hareketli Yükler (Q)

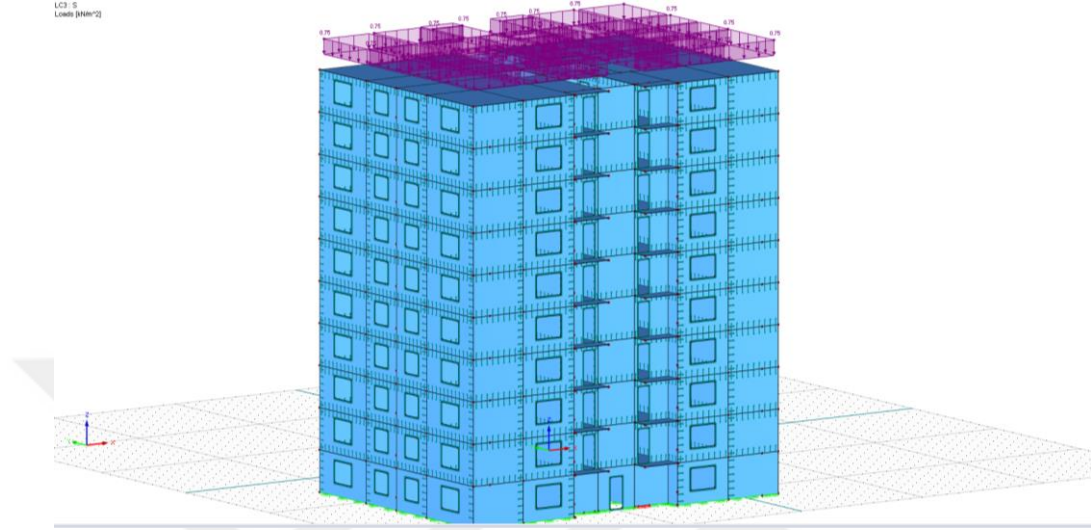
Hareketli yükler TS 498-1997 Çizelge 7'ye göre belirlenmiştir. Konut, teras oda ve koridorlar, bürolar, konutlardaki 50 m²'ye kadar olan dükkanlar, hastane odaları için belirtilen 2 kN/m² hareketli yük değeri gözönüne alınmıştır (Şekil 10.12).



Şekil 10.12 Yapı üzerindeki hareketli yükler

10.1.3. Kar Yüğü (S)

Yapı bölgesi olarak Ankara ili dikkate alındığı için TS498-1997'deki kar yağış yüksekliği haritasında 2. bölgede olduğundan TS498-1997 Çizelge 4'e göre $S=0,75$ kN/m^2 olarak elde edilmiştir (Şekil 10.13).



Şekil 10.13 Yapı üzerindeki kar yükü

10.1.4. Rüzgâr Yüğü (W_x, W_y)

ÇLA yapılarında rüzgâr yükü önemli etkiler meydana getirebilmektedir. Burada rüzgâr yükü TS 498-1997'ye göre yapı cephelerine etkiyen yük olarak hesaplanmıştır. Bina modellerine etkiyen rüzgâr yükleri yapı yüksekliğine bağlı olarak TS 498-1997-Çizelge 5'ten belirlenmiştir (Çizelge 10.5). Bu tabloya göre yükseklik arttıkça yapı cephesine etkiyen rüzgâr yükü değeri artmakta belirli yükseklikten sonra sabit kalmaktadır. Yapı cephelerine etkiyen rüzgâr yüklerinden kaynaklanan statik kuvvet W değeri Denklem 10.1 ile elde edilmektedir.

$$W = c_p \cdot q \quad (10.1)$$

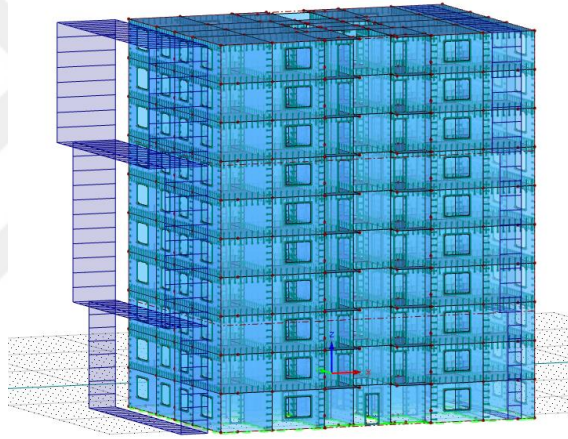
Çizelge 10.5 Yüksekliğe bağlı olarak rüzgâr hızı ve emme (TS498-1997)

| Yapı yüksekliğince q 'nun sabit alındığı yükseklik bölgesi (m) | V (rüzgâr hızı) m/s (km/saat) | q (Basınç veya emme) kN/m^2 |
|------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| 0-8 | 28 (100) | 0.5 |
| 8-20 | 36 (130) | 0.8 |
| 20-100 | 42 (150) | 1.1 |
| 100 ve yukarısı | 46 (165) | 1.3 |

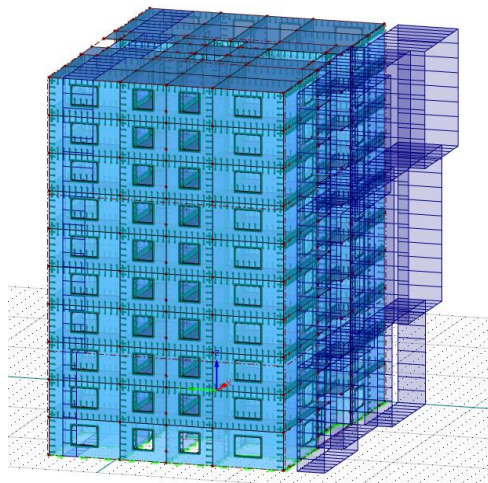
TS 498-1997'ye göre c_p katsayısı normal yapılarda esiş yönüne dik duran ve rüzgârın çarptığı yüzeylerde yani basınç durumunda 0.8 olarak alınmaktadır. Rüzgârın terk ettiği veya yalayıp geçtiği yüzeylerde yani emme durumunda ise 0.4 olarak alınmaktadır. Yapılan hesaplamalar sonucunda basınç ve emme durumu için göz önüne alınan rüzgar yükleri Çizelge 10.6'da görülmektedir. Şekil 10.14 ve Şekil 10.15'te sırasıyla x ve y doğrultuları için rüzgar yükü değerleri görülmektedir.

Çizelge 10.6 Yüksekliğe bağlı olarak cepheye gelen rüzgar yükleri

| Yükseklik (m) | Kuvvet Tipi | Kuvvet (kN/m^2) | Kuvvet Tipi | Kuvvet (kN/m^2) |
|---------------|-------------|----------------------------|-------------|----------------------------|
| 0-8 m | Basınç | 0,4 kN/m^2 | Emme | 0,2 kN/m^2 |
| 8-20 m | Basınç | 0,64 kN/m^2 | Emme | 0,32 kN/m^2 |
| 20-100 m | Basınç | 0,88 kN/m^2 | Emme | 0,44 kN/m^2 |



Şekil 10.14 Yapı üzerindeki W_x rüzgar yükü



Şekil 10.15 Yapı üzerindeki W_y rüzgar yükü

10.2. Yük Birleşimleri

Tasarımda ÇLA paneller kullanıldığı için RFEM programında hesaplamalar ve analizler ASCE 7 (Wood)-NDS 2018 yönetmelikleri dikkate alınarak yapılmıştır. Yük birleşimleri, seçilen yönetmeliğe göre program tarafından otomatik olarak atanmaktadır. Tasarım iki yöntem seçilerek yapılabilmektedir. Bu çalışmada, tasarım yöntemi olarak Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım, YDKT (LFRD) yöntemi kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Burada G: sabit yük, Q: hareketli yük, S: kar yükü, W_x ve W_y sırasıyla x ve y yönündeki rüzgâr yükünü göstermektedir. Çizelge 10.7 ve Çizelge 10.8'de YDKT (LFRD) ve GKT (ASD) tasarım yöntemleri için yük birleşimleri görülmektedir. Burada RF-Laminate modülünde bahsedilen YDKT (LFRD) yük birleşimleri ÇLA malzeme boyutlarının ve katmanlarının kontrolü için kullanılmıştır.

Çizelge 10.7 YDKT (LFRD) yöntemi için yük birleşimleri (ASCE 7-NDS 2018 yönetmeliği)

| | | | |
|-------------|---------------------|-------------|--------------------|
| CO1 | 1.4G | CO11 | 1.2G+Q+0.5S+ W_x |
| CO2 | 1.2G+1.6Q | CO12 | 1.2G+Q+0.5S+ W_y |
| CO3 | 1.2G+1.6Q+0.5S | CO13 | 1.2G+Q+ W_x |
| CO4 | 1.2G+0.5S | CO14 | 1.2G+Q+ W_y |
| CO5 | 1.2G+Q+1.6S | CO15 | 1.2G+0.5S+ W_x |
| CO6 | 1.2G+1.6S | CO16 | 1.2G+0.5S+ W_y |
| CO7 | 1.2G+1.6S+0.5 W_x | CO17 | 1.2G+ W_x |
| CO8 | 1.2G+1.6S+0.5 W_y | CO18 | 1.2G+ W_y |
| CO9 | 1.2G+0.5 W_x | CO19 | 0.9G+ W_x |
| CO10 | 1.2G+0.5 W_y | CO20 | 0.9G+ W_y |

Çizelge 10.8 GKT (ASD) için yük birleşimleri (ASCE 7-NDS 2018 yönetmeliği)

| | | | |
|------------|--------------------------|-------------|--------------------------|
| CO1 | G | CO8 | G+0.75Q+0.75S+0.45 W_y |
| CO2 | G+Q | CO9 | G+0.75Q+0.45 W_x |
| CO3 | G+S | CO10 | G+0.75Q+0.45 W_y |
| CO4 | G+0.75Q+0.75S | CO11 | G+0.75S+0.45 W_x |
| CO5 | G+0.6 W_x | CO12 | G+0.75S+0.45 W_x |
| CO6 | G+0.6 W_y | CO13 | 0.6G+0.6 W_x |
| CO7 | G+0.75Q+0.75S+0.45 W_x | CO14 | 0.6G+0.6 W_y |

10.3. Deprem Etkisinin Tanımlanması ve Diğer Etkilerle Birleştirilmesi

Yatay deprem etkisi altında taşıyıcı sistemin deprem hesabı TBDY (2018)'de denklem 4.9 ile tanımlanarak birleştirilmiştir (Denklem 10.2 ve 10.3). Burada $E_d^{(X)}$ ve $E_d^{(Y)}$ birbirlerine dik X ve Y doğrultularında oluşan deprem etkileridir.

$$E_d^{(H)} = \pm E_d^{(X)} \pm 0.3E_d^{(Y)} \quad (10.2)$$

$$E_d^{(H)} = \pm 0.3E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)} \quad (10.3)$$

Düşey deprem etkisi $E_d^{(Z)}$, TBDY (2018) denklem 4.10'dan belirlenmiştir (Denklem 10.4). Burada G sabit yük etkisini S_{DS} ise kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısını göstermektedir. S_{DS} değeri 0.292 olarak belirlenmiştir.

$$E_d^{(Z)} \approx (2/3)S_{DS}G = (2/3) * 0.292 * G = 0.19 * G \quad (10.4)$$

Sistem elemanlarının tasarımında esas alınmak üzere deprem etkisini içeren yük birleşimleri TBDY (2018)'den elde edilmektedir.

$$G + Q + 0.2S + E_d^{(H)} + 0.3E_d^{(Z)} \quad (10.5)$$

$$0.9G + H + E_d^{(H)} - 0.3E_d^{(Z)} \quad (10.6)$$

Bina modelleri zemin kattan başladığı için yatay zemin etkisi gözönüne alınmamıştır. Yük durumları kombine edilerek 16 farklı analiz yapılmıştır.

$$G + Q + 0.2S \pm E_d^{(X)} \pm 0.3E_d^{(Y)} + 0.3E_d^{(Z)} \quad (10.7)$$

$$G + Q + 0.2S \pm 0.3E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)} + 0.3E_d^{(Z)} \quad (10.8)$$

$$0.9G \pm E_d^{(X)} \pm 0.3E_d^{(Y)} - 0.3E_d^{(Z)} \quad (10.9)$$

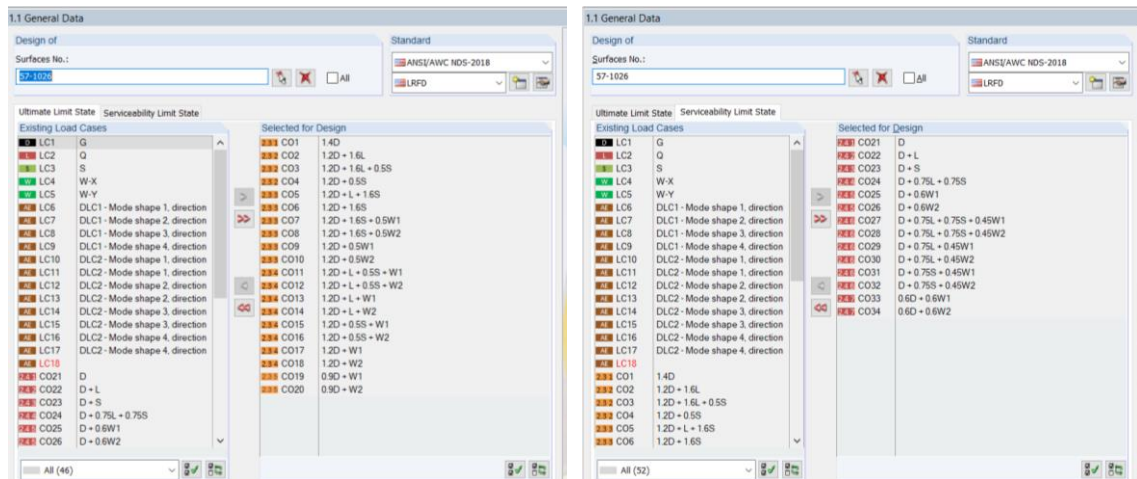
$$0.9G \pm 0.3E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)} - 0.3E_d^{(Z)} \quad (10.10)$$

10.4. RFEM Programı ile Çapraz Lamine Ahşap Malzeme Tasarımı

10.4.1. Program Girdileri

RFEM programında tasarım modüller aracılığıyla yapılmaktadır. Bu tez çalışmasında RF-Laminate ve RF-DYNAM Pro olmak üzere iki modül kullanılmış ve yönetmelik olarak ANSİ/AWC NDS (2018) seçilmiştir. Taşıma gücü sınır durumu (ULS: Ultimate Limit State) kontrolleri için YDKT (LRFD) yük birleşimleri kullanılmıştır. Kullanılabilirlik sınır durumu (SLS: Serviceability Limit State) kontrolleri için ise GKT (ASD) yük birleşimleri dikkate alınmıştır.

Taşıma gücü sınır durumundaki (ULS) hesaplamalarda kesitler nihai yükler (düşük olasılıklı) altında kontrol edilmektedir. Kullanılabilirlik sınır durumu (SLS) için yapılan hesaplamalarda ise kullanım yükleri altında deplasman kontrolü yapılmaktadır. RF-Laminate modülünde kullanılabilirlik sınır durumu kontrolü ile döşemelerde oluşacak deplasmanlar hesaplanacağı için beklenen kalıcı yükler altındaki deplasman bu yöntem ile belirlenecektir. Bu bölümde RFEM programında analiz için gereken detaylar aşama aşama gösterilmiştir. Dayanım ve kullanılabilirlik sınır durumu için gözönüne alınan yük birleşimleri Şekil 10.16'da görülmektedir. Ayrıca depremlili yük birleşimleri de Şekil 10.29'da programın sonuç kombinasyonlarına eklenerek yapının iç kuvvetleri elde edilecektir.



Şekil 10.16 ULS ve SLS tahkikleri için ÇLA malzeme tasarımında kullanılan yük bileşimleri

10.4.1.1. Malzeme seçimi ve rijitlik değerleri

Tasarımı yapılan 7 farklı bina modeli içerisinde kesitleri en çok zorlanan ve en yüksek kapasite oranı değerinin (kapasite oranı=0.76) elde edildiği model 10 katlı tamamen ÇLA panellerden oluşan 6 numaralı model olarak belirlenmiştir. Programda tasarım yapılırken kesitler gerilme kapasite oranına göre belirlenmektedir.

Malzeme olarak ANSI/APA PRG-320 yönetmeliğinden 5 katmanlı E1 Kanada paneli seçilmiştir. Çizelge 10.9'da seçilen panelin karakteristik özellikleri, Çizelge 10.10'da ise dayanım özellikleri görülmektedir. Döşeme ve duvar için aynı paneller kullanılmıştır.

Çizelge 10.9 Seçilen panelin karakteristik özellikleri

| Katman No. | Malzeme | Kalınlık t [mm] | Yön b [°] | Elastisite Modülü [N/mm ²] | | Kesme Modülü [N/mm ²] | | | Birim Hacim Ağırlık g [kN/m ³] | Malzeme |
|------------|---------------------------------------|-----------------|-----------|----------------------------------------|----------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| | | | | E _x | E _y | G _{xz} | G _{yz} | G _{xy} | | |
| 1 | 1950f-1.7E Spruce-pine-fir MSR lumber | 35,0 | 0,00 | 11700,0 | 390,0 | 731,3 | 73,1 | 731,3 | 4,20 | 175mm, CLT Grade E1, ANSI/APA PRG 320 CLT - CAN |
| 2 | No. 3 Spruce-pine-fir lumber | 35,0 | 90,00 | 9000,0 | 300,0 | 562,5 | 56,3 | 562,5 | 4,20 | 175mm, CLT Grade E1, ANSI/APA PRG 320 CLT - CAN |
| 3 | 1950f-1.7E Spruce-pine-fir MSR lumber | 35,0 | 0,00 | 11700,0 | 390,0 | 731,3 | 73,1 | 731,3 | 4,20 | 175mm, CLT Grade E1, ANSI/APA PRG 320 CLT - CAN |
| 4 | No. 3 Spruce-pine-fir lumber | 35,0 | 90,00 | 9000,0 | 300,0 | 562,5 | 56,3 | 562,5 | 4,20 | 175mm, CLT Grade E1, ANSI/APA PRG 320 CLT - CAN |
| 5 | 1950f-1.7E Spruce-pine-fir MSR lumber | 35,0 | 0,00 | 11700,0 | 390,0 | 731,3 | 73,1 | 731,3 | 4,20 | 175mm, CLT Grade E1, ANSI/APA PRG 320 CLT - CAN |

Çizelge 10.10 Seçilen panelin dayanım özellikleri

| Katman No. | Malzeme | Dayanımlar Eğilme/ Çekme/ Basınç [N/mm ²] | | | | | | Kesme Dayanımı [N/mm ²] | | | | Burulma [N/mm ²] |
|------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------------------------|----------------|----------------|--------------------|------------------------------|
| | | F _{b,0} | F _{b,90} | F _{t,0} | F _{t,90} | F _{c,0} | F _{c,90} | F _{xv} | F _v | F _s | F _{v,net} | F _{v,tor} |
| 1 | 1950f-1.7E Spruce-pine-fir MSR lumber | 28,2 | 28,2 | 15,4 | 0,5 | 19,3 | 5,3 | 1,5 | 1,5 | 0,5 | 5,5 | 2,5 |
| 2 | No. 3 Spruce-pine-fir lumber | 7,0 | 7,0 | 3,2 | 0,5 | 9,0 | 5,3 | 1,5 | 1,5 | 0,5 | 5,5 | 2,5 |
| 3 | 1950f-1.7E Spruce-pine-fir MSR lumber | 28,2 | 28,2 | 15,4 | 0,5 | 19,3 | 5,3 | 1,5 | 1,5 | 0,5 | 5,5 | 2,5 |
| 4 | No. 3 Spruce-pine-fir lumber | 7,0 | 7,0 | 3,2 | 0,5 | 9,0 | 5,3 | 1,5 | 1,5 | 0,5 | 5,5 | 2,5 |
| 5 | 1950f-1.7E Spruce-pine-fir MSR lumber | 28,2 | 28,2 | 15,4 | 0,5 | 19,3 | 5,3 | 1,5 | 1,5 | 0,5 | 5,5 | 2,5 |

Duvar panellerinde NDS (2018) yönetmeliği dikkate alınarak güvenli tarafta kalmak için rijitliklerde azaltmalar yapılmıştır. Şekil 10.17’de rijitlik azaltma katsayılarının değerleri görülmektedir.

Details of Composition No. 2

Calculation / Modeling

Calculation Options

Consider coupling

Cross laminated timber without glue at narrow sides

Membrane design (design of torsion and shear of net cross-section)

Plank width

b : 100.0 [mm]

Stiffness Reduction Factors

For torsional stiffness elements

k₃₃ : 0.49 [-]

For shear stiffness elements

k₄₄ : 1.00 [-]

k₅₅ : 1.00 [-]

For membrane stiffness elements

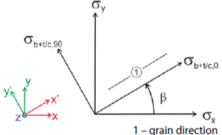
k₈₈ : 0.59 [-]

Şekil 10.17 Rijitlik azaltma katsayılarının girilmesi

10.4.1.2. RFEM programında yönetmelikten alınan değerler

Programda yönetmeliklere göre gerilme analizi yapılmaktadır. Analizi yapılan gerilme değerleri Çizelge 10.11’de, gerilme oranlarının hesabı Çizelge 10.12’de görülmektedir (RF-Laminate program description guide, 2016).

Çizelge 10.11 Gerilme tipleri ve sınır gerilme hesapları (RF-Laminate program description guide, 2016)

| | |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\sigma_{b+t/c,0}$ | Lifler boyunca normal gerilme $\sigma_{b+t/c,0} = \sigma_x \cos^2(\beta) + \sigma_y \sin^2(\beta) + \tau_{xy} \sin(2\beta)$  |
| $\sigma_{b+t/c,90}$ | Liflere dik normal gerilme $\sigma_{b+t/c,90} = \sigma_x \sin^2(\beta) + \sigma_y \cos^2(\beta) - \tau_{xy} \sin(2\beta)$ |
| $\sigma_{t/c,0}$ | Lifler boyunca normal gerilmenin çekme/basınç gerilmesiyle birleşimi $\sigma_{t/c,0} = \frac{\sigma_{b+t/c,0}(\text{üst}) + \sigma_{b+t/c,0}(\text{orta}) + \sigma_{b+t/c,0}(\text{alt})}{3}$ |
| $\sigma_{t/c,90}$ | Liflere dik normal gerilmenin çekme/basınç gerilmesiyle birleşimi $\sigma_{t/c,90} = \frac{\sigma_{b+t/c,90}(\text{üst}) + \sigma_{b+t/c,90}(\text{orta}) + \sigma_{b+t/c,90}(\text{alt})}{3}$ |
| $\sigma_{b,0}$ | Lifler boyunca gerilmenin eğilme ile birleşimi $\sigma_{b,0} = \sigma_{b+t/c,0} - \sigma_{t/c,0}$ |
| $\sigma_{b,90}$ | Liflere dik gerilmenin eğilme ile birleşimi $\sigma_{b,90} = \sigma_{b+t/c,90} - \sigma_{t/c,90}$ |

Çizelge 10.12 Gerilme oranlarının hesabı (RF-Laminate program description guide, 2016)

| Gerilmeler (Pa) | Oranlar (-) |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\sigma_{b,0}$ | $\frac{ \sigma_{b,0} }{f_{b,0,d}}$ |
| $\sigma_{b,90}$ | $\frac{ \sigma_{b,90} }{f_{b,90,d}}$ |
| $\sigma_{t/c,0}$ | $= \begin{cases} \frac{\sigma_{t/c,0}}{f_{t,0,d}} & \text{if } \sigma_{t/c,0} > 0 \\ \frac{ \sigma_{t/c,0} }{f_{c,0,d}} & \text{if } \sigma_{t/c,0} \leq 0 \end{cases}$ |
| $\sigma_{t/c,90}$ | $= \begin{cases} \frac{\sigma_{t/c,90}}{f_{t,90,d}} & \text{if } \sigma_{t/c,90} > 0 \\ \frac{ \sigma_{t/c,90} }{f_{c,90,d}} & \text{if } \sigma_{t/c,90} \leq 0 \end{cases}$ |
| $\sigma_{b+t/c,0}$ | $= \begin{cases} \frac{\sigma_{t/c,0}}{f_{t,0,d}} + \frac{ \sigma_{b,0} }{f_{b,0,d}} & \text{if } \sigma_{t/c,0} > 0 \\ \frac{ \sigma_{t/c,0} }{f_{c,0,d}} + \frac{ \sigma_{b,0} }{f_{b,0,d}} & \text{if } \sigma_{t/c,0} \leq 0 \end{cases}$ |
| $\sigma_{b+t/c,90}$ | $= \begin{cases} \frac{\sigma_{t/c,90}}{f_{t,90,d}} + \frac{ \sigma_{b,90} }{f_{b,90,d}} & \text{if } \sigma_{t/c,90} > 0 \\ \frac{ \sigma_{t/c,90} }{f_{c,90,d}} + \frac{ \sigma_{b,90} }{f_{b,90,d}} & \text{if } \sigma_{t/c,90} \leq 0 \end{cases}$ |
| τ_{xy} | $\frac{ \tau_{xy} }{f_{xy,d}}$ |
| τ_R | $\frac{ \tau_R }{f_{R,d}}$ |
| $\text{int}(\tau_d + \tau_{xy})$ | $\frac{\tau_d^2 + \tau_{xy}^2}{f_{v,d}^2 + f_{xy,d}^2}, \tau_d = \tau_{xz} \cos \beta + \tau_{yz} \sin \beta$ |
| $\text{int}(\sigma_{t/c,90} + \tau_R)$ | $= \begin{cases} \frac{\sigma_{t/c,90}}{f_{t,90,d}} + \frac{ \tau_R }{f_{R,d}} & \text{if } \sigma_{t/c,90} > 0 \\ \frac{ \sigma_{t/c,90} }{f_{c,90,d}} + \frac{ \tau_R }{f_{R,d}} & \text{if } \sigma_{t/c,90} \leq 0 \end{cases}$ |

Paneller için zaman katsayısı, sıcaklık katsayısı, nem katsayısı ve direnç katsayısı değerleri NDS (2018) yönetmeliğinden otomatik olarak alınmaktadır (Şekil 10.18). Gerekli katsayılar YDKT (LRFD) tasarım yöntemi için yönetmelikten elde edilmektedir.

The screenshot shows the 'Serviceability Limits' dialog box. It is organized into four panels:

- Time Effect Factor:** Lists load durations with corresponding lambda values: Permanent (0.60), Ten years (0.70), Two months (0.80), Seven days (0.90), Ten minutes (1.00), and Impact (1.25).
- Temperature Factor Acc. to Table 2.3.3:** A table for moisture conditions (Wet/Dry) across different temperature ranges (T ≤ 100°F, 100°F < T ≤ 125°F, 125°F < T ≤ 150°F). It includes design values (F_{t,0}, F_b, F_{t,90}, F_{c,0}, F_{c,90}, F_v, F_s) and moisture conditions (Dry, Wet) with C_t factors.
- Wet Service Factors Acc. to 10.3.3:** Lists material properties (F_b, F_{t,0}, F_{t,90}, F_{c,0}, F_{c,90}, F_v, F_s) with C_M factors set to 1.00.
- Format Conv. and Resist. Factors Acc. to 2.3.5 and 2.3.6:** Lists material properties (F_b, F_{c,0}, F_{c,90}, F_{t,0}, F_{t,90}, F_v, F_s) with K_F and Φ factors. Values include K_F (2.54, 2.40, 1.67, 2.70, 2.88, 2.00) and Φ (0.85, 0.90, 0.90, 0.80, 0.75, 0.75).

Şekil 10.18 YDKT (LRFD) yöntemi ile tasarım için NDS (2018) yönetmeliğinden alınan katsayılar

Çapraz lamine ahşap paneller için NDS (2018) yönetmeliğinde yükleme süreleri tasarımda önem arz etmektedir. Bu değerler programda NDS (2018) yönetmeliğinden otomatik olarak alınmaktadır (Şekil 10.19).

1.4 Load Duration

Assigning of Load Duration Classes to Load Cases / Combinations

| Load- ing | A | B | C |
|--------------|----------------------------|--------------|-------------|
| | Description | Loading Type | Factor z |
| LC1 | G | Dead | 0.600 |
| LC2 | Q | Live | 0.700 |
| LC3 | S | Snow | 0.800 |
| LC4 | W-X | Wind | 1.000 |
| LC5 | W-Y | Wind | 1.000 |
| CO1 | 1.4D | | 0.600 |
| CO2 | 1.2D + 1.6L | | 0.700 |
| CO3 | 1.2D + 1.6L + 0.5S | | 0.700 |
| CO4 | 1.2D + 0.5S | | 0.700 |
| CO5 | 1.2D + L + 1.6S | | 0.800 |
| CO6 | 1.2D + 1.6S | | 0.800 |
| CO7 | 1.2D + 1.6S + 0.5W1 | | 0.800 |
| CO8 | 1.2D + 1.6S + 0.5W2 | | 0.800 |
| CO9 | 1.2D + 0.5W1 | | 0.800 |
| CO10 | 1.2D + 0.5W2 | | 0.800 |
| CO11 | 1.2D + L + 0.5S + W1 | | 1.000 |
| CO12 | 1.2D + L + 0.5S + W2 | | 1.000 |
| CO13 | 1.2D + L + W1 | | 1.000 |
| CO14 | 1.2D + L + W2 | | 1.000 |
| CO15 | 1.2D + 0.5S + W1 | | 1.000 |
| CO16 | 1.2D + 0.5S + W2 | | 1.000 |
| CO17 | 1.2D + W1 | | 1.000 |
| CO18 | 1.2D + W2 | | 1.000 |
| CO19 | 0.9D + W1 | | 1.000 |
| CO20 | 0.9D + W2 | | 1.000 |
| CO21 | D | | 0.600 |
| CO22 | D + L | | 0.700 |
| CO23 | D + S | | 0.800 |
| CO24 | D + 0.75L + 0.75S | | 0.800 |
| CO25 | D + 0.6W1 | | 1.000 |
| CO26 | D + 0.6W2 | | 1.000 |
| CO27 | D + 0.75L + 0.75S + 0.45W1 | | 1.000 |

Apply time effect factor z, according to: Design situation or shortest load duration in a combination User-defined settings

Şekil 10.19 Yük birleşimlerinin yükleme süresi katsayıları

Döşemelerdeki sehimleri hesaplayabilmek için modeldeki bütün ÇLA döşemeler seçilmiştir (Şekil 10.20). RFEM programında en büyük döşeme açıklığı 5.525 m olarak bulunmuştur. Döşeme sehim değerleri, seçilen GKT (ASD) yük birleşimleri için L/360 sınır değeri ile kıyaslanacaktır (Şekil 10.21).

1.6 Serviceability Data

Assigning of Reference Lengths to Surfaces

| No. | A | B | C | D | E |
|-----|---------------------------------------|--------------------------|-------|--------------------------|-------------------------|
| | List of Surfaces | Reference Length Type | L [m] | Canti- lever | Deformation Relative to |
| 1 | 125-148.214-225.245-248.264-279.29... | Maximum boundary line | 5.525 | <input type="checkbox"/> | Undeformed system |
| 2 | | | | | |

Şekil 10.20 Yapıdaki tüm döşemeler için L/360 sehim sınırına göre kullanılacak döşeme uzunluğunun belirlenmesi

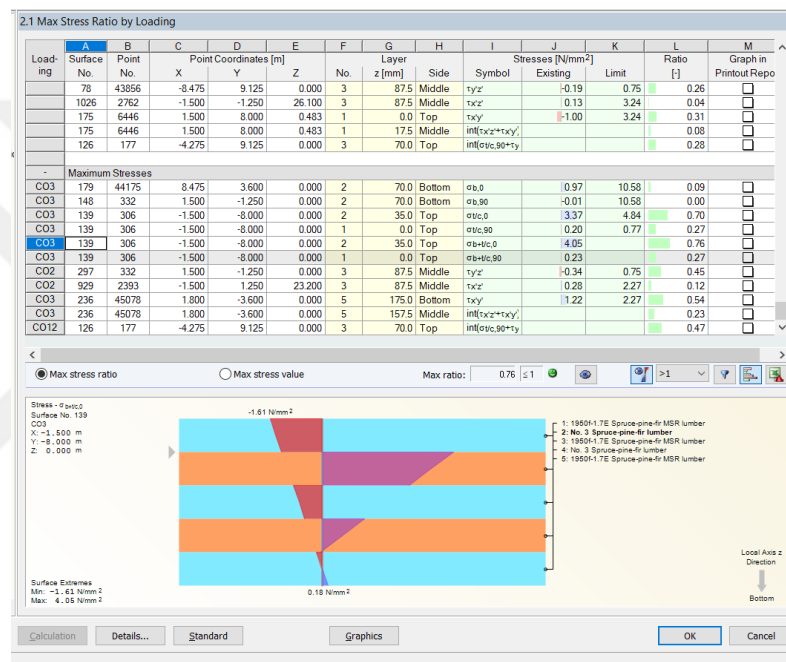
Serviceability (Deflections)

Limiting deflection: L / Cantilevers L_c /

Şekil 10.21 Yönetmelikten elde edilen sehim sınırı limit değerleri

10.4.2. Program Çıktıları

Yapılan analiz sonucunda NDS (2018) yönetmeliğine göre en yüksek gerilme kapasite oranı, tamamı ÇLA panellerden oluşan 6. modelde $0,76 \leq 1$ değeri olarak elde edilmiştir (Şekil 10.22). Buna göre seçilen kesitler yeterlidir. RFEM programında en büyük gerilmelerin hangi yük birleşimlerinde elde edildiği verilmektedir. Ayrıca tasarımda seçilen 5 katmanlı panel üzerinde her bir katmandaki gerilmeler ayrı ayrı grafik olarak gösterilmektedir. Bu bölümde kritik olan 6. model için analiz detayları verilmiştir.



Şekil 10.22 RF-Laminate analizi sonucu elde edilen katmanlardaki gerilme değerleri

10.4.2.1 Gerilme değerleri

RFEM programında yapılan analizler sonucunda RF-Laminate modülü için elde edilen gerilme değerleri Çizelge 10.13'te görülmektedir. Elde edilen gerilme değerleri 5 katmanlı panelin katmanlarına bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca bu değerler seçilen katman için o katmanın üstü, ortası ve altı içinde ayrı ayrı elde edilebilmektedir.

Çizelge 10.13 Kritik yük birleşimlerinden elde edilen maksimum gerilme oranları

| Gerilme No. | Yükleme | Katman | | | Gerilme [N/mm ²] | | | Oran [-] |
|-------------|---------|--------|--------|-------|--------------------------------------|--------------|-------------|-------------|
| | | No. | z [mm] | Kenar | Gerilme tipi | Mevcut değer | Sınır değer | |
| 1 | CO11 | 1 | 0 | Üst | σ_x | 4.54 | | |
| 2 | CO12 | 2 | 35.0 | Üst | σ_y | -8.55 | | |
| 3 | CO13 | 5 | 175.0 | Alt | τ_{xy} | 1.22 | 2.27 | 0.54 |
| 4 | CO3 | 2 | 70.0 | Alt | $\sigma_{b,0}$ | 0.97 | 10.58 | 0.09 |
| 5 | CO3 | 2 | 70.0 | Alt | $\sigma_{b,90}$ | -0.01 | 10.58 | 0 |
| 6 | CO3 | 2 | 35.0 | Üst | $\sigma_{t/c,0}$ | 3.37 | 4.84 | 0.70 |
| 7 | CO3 | 1 | 0 | Üst | $\sigma_{t/c,90}$ | 0.20 | 0.77 | 0.27 |
| 8 | CO3 | 2 | 35.0 | Üst | $\sigma_{b+t/c,0}$ | 4.05 | | 0.76 |
| 9 | CO3 | 1 | 0 | Üst | $\sigma_{b+t/c,90}$ | 0.23 | | 0.27 |
| 10 | CO2 | 3 | 87.5 | Orta | $t_y'z'$ | -0.34 | 0.75 | 0.45 |
| 11 | CO2 | 3 | 87.5 | Orta | $t_x'z'$ | 0.28 | 2.27 | 0.12 |
| 12 | CO3 | 1 | 0 | Alt | $t_x'y'$ | 1.22 | 2.27 | 0.54 |
| 13 | CO3 | 1 | 17.5 | Orta | $\text{int}(t_x'z'+t_x'y')$ | | | 0.23 |
| 14 | CO12 | 3 | 70.0 | Üst | $\text{int}(\sigma_{t/c,90}+t_y'z')$ | | | 0.47 |

Katmanlarda sınır değerler hesaplanırken program, Çizelge 10.11'deki gerilmeleri kullanarak sonuçları elde etmektedir. Lifler boyunca normal gerilmenin, çekme/basınç gerilmesiyle oluşturduğu kritik durumdaki CO3 yük birleşimi için $\sigma_{b+t/c,0}$ gerilmesinin sınır değerini bulurken öncelikle katmanlardaki σ_x , σ_y ve τ_{xy} değeri hesaplanmaktadır. Katman 2'nin üst gerilmeleri için elde edilen değerler Çizelge 10.14'te görülmektedir.

Çizelge 10.14 CO3 yük birleşimi için 2. katman gerilme oranları

| Yükleme | Katman | | Gerilme [N/mm ²] | | | Oran [-] |
|---------|--------|-------|------------------------------|--------|-------|----------|
| | z [mm] | Kenar | Gerilme tipi | Mevcut | Sınır | |
| CO3 | 35,0 | Üst | σ_x | -0.03 | | |
| CO3 | 35,0 | Üst | σ_y | 4.05 | | |
| CO3 | 35,0 | Üst | τ_{xy} | 0.25 | 2.27 | 0.11 |
| CO3 | 70,0 | Üst | $\sigma_{b,0}$ | 0.68 | 10.58 | 0.06 |
| CO3 | 70,0 | Üst | $\sigma_{b,90}$ | 0.01 | 10.58 | 0.00 |
| CO3 | 35.0 | Üst | $\sigma_{t/c,0}$ | 3.37 | 4.84 | 0.70 |
| CO3 | 0 | Üst | $\sigma_{t/c,90}$ | 0.20 | 0.77 | 0.27 |
| CO3 | 35,0 | Üst | $\sigma_{b+t/c,0}$ | 4.05 | | 0.76 |
| CO3 | 35,0 | Üst | $\sigma_{b+t/c,90}$ | 0.02 | | 0.03 |

Bu gerilmeler Çizelge 10.11'de verilen denklemlerde yerine koyulduğunda $\sigma_{b+t/c,0}$ değeri elde edilmektedir. Burada β , 2. katmanın yönünü ifade etmektedir. Bu katman Çizelge 10.9 ve Çizelge 10.10'da görüldüğü üzere en zayıf katman özelliğini taşımaktadır. Ana katmana 90 derecelik açıyla yapıştırılan katmandır.

$$\sigma_{b+t/c,0} = \sigma_x \cos^2(\beta) + \sigma_y \sin^2(\beta) + \tau_{xy} \sin(2\beta) \quad (10.11)$$

$$\sigma_{b+t/c,0} = -0.03 * \cos^2(90) + 4.05 * \sin^2(90) + 0.25 * \sin(2 * 90) \quad (10.12)$$

$$\sigma_{b+t/c,0} = 4.05 \text{ N/mm}^2 \quad (10.13)$$

Malzemenin eğilme ve çekme/basınç sınır durumları ise Bölüm 6'da Çizelge 6.1'de bulunan katsayılar ile malzemenin dayanım özellikleri çarpılarak Denklem 10.14 ve Denklem 10.16 ile elde edilmektedir.

$$\sigma_{b0} = K_F \cdot \varphi_b \cdot C_t \cdot f_{b0,k} \quad (10.14)$$

$$\sigma_{b0} = 2.54 * 0.7 * 0.85 * 7 = 10.58 \text{ N/mm}^2 \quad (10.15)$$

$$\sigma_{t/c,0} = K_F \cdot \varphi_b \cdot C_t \cdot f_{t,0,k} \quad (10.16)$$

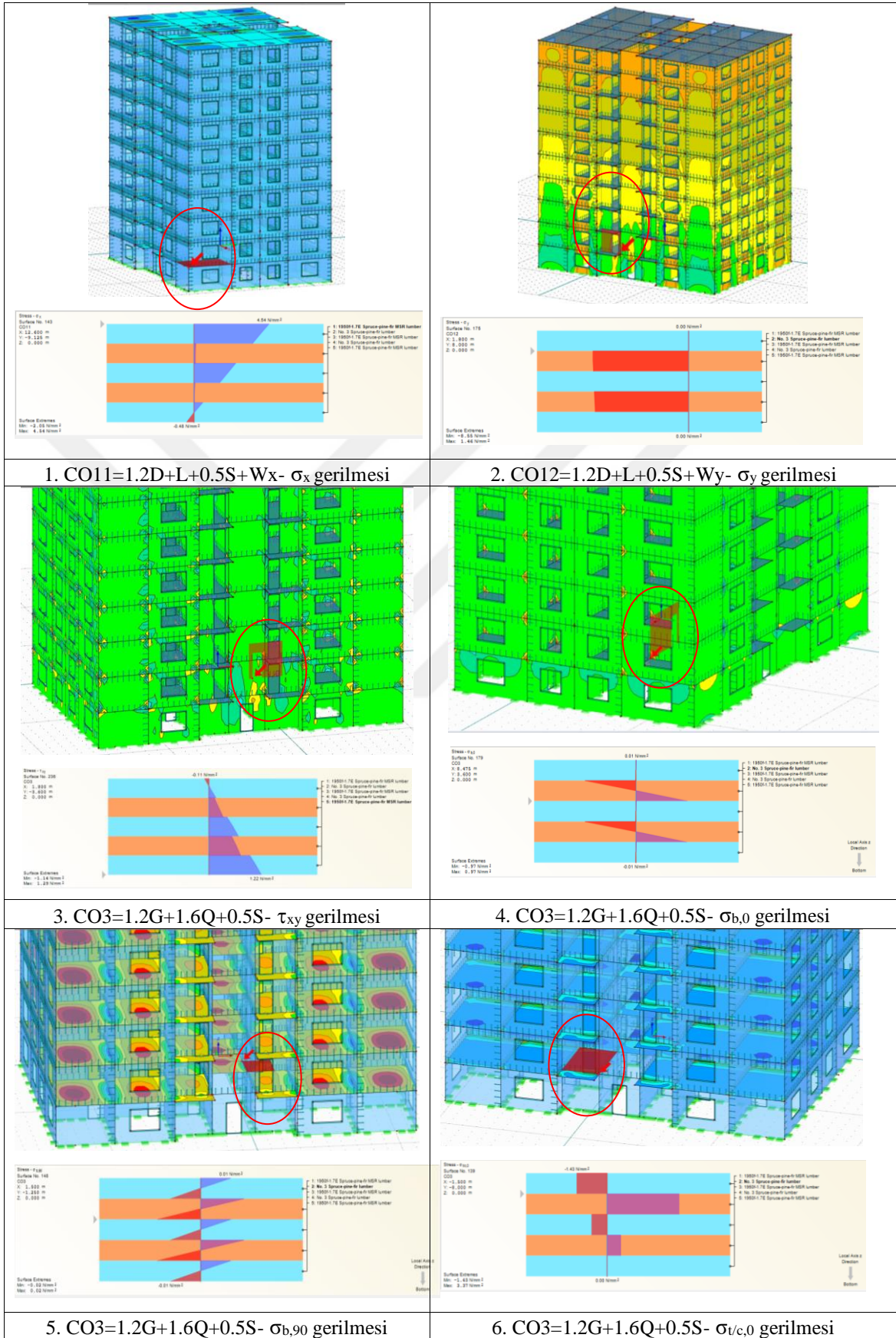
$$\sigma_{t/c,0} = 2.7 * 0.8 * 0.7 * 3.2 = 4.84 \text{ N/mm}^2 \quad (10.17)$$

Sonuç olarak Çizelge 10.13'te elde edilen $0.76 < 1$ kritik oranı Çizelge 10.14 kullanılarak çekme/basınç gerilmesi oranı ve eğilme gerilmesi oranları toplamıyla elde edilmektedir (Denklem 10.18).

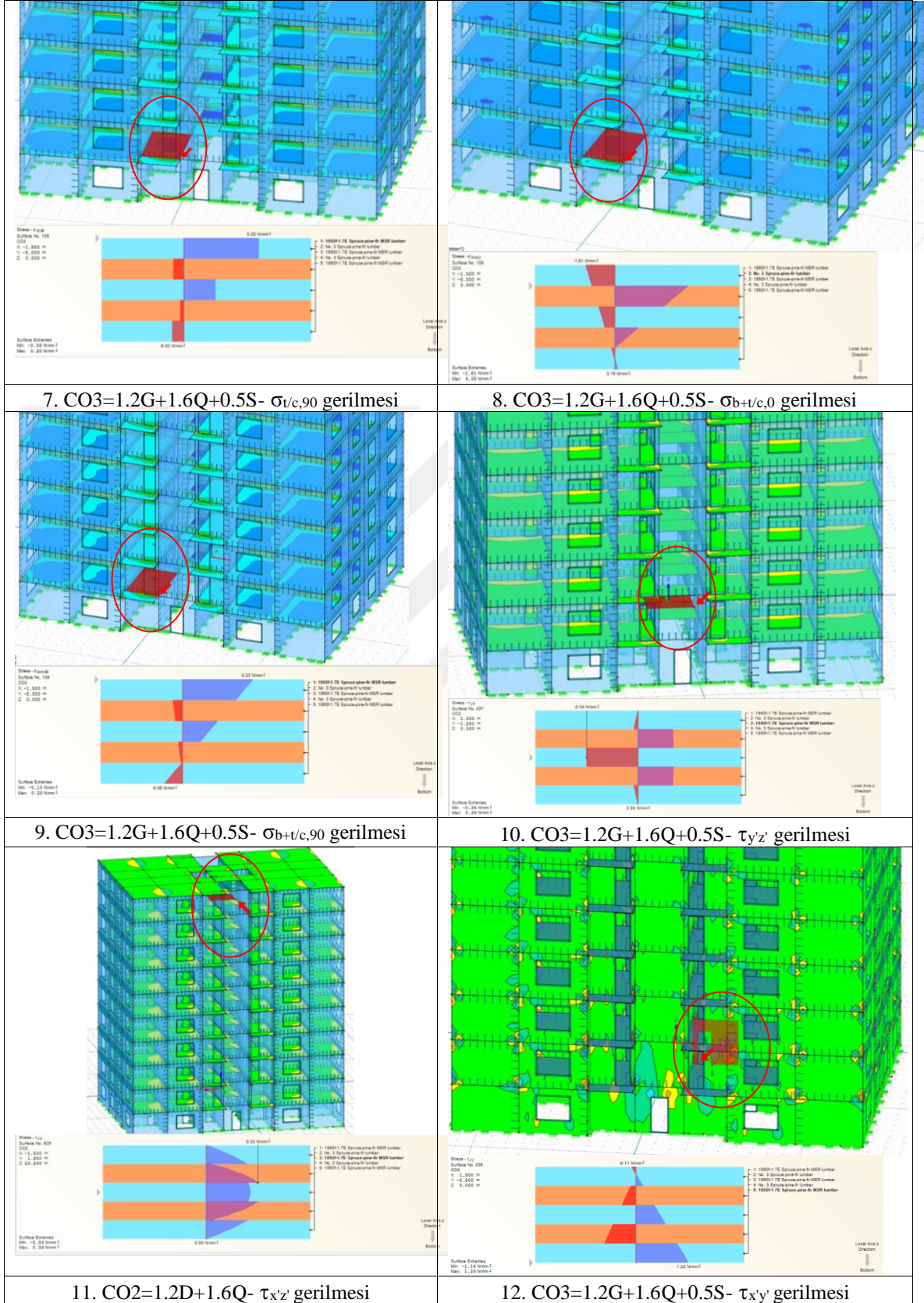
$$\frac{\sigma_{t/c,0}}{f_{t,0,d}} + \frac{|\sigma_{b0}|}{f_{b,0,d}} = 0.70 + 0.06 = 0.76 \quad (10.18)$$

Çizelge 10.13'te verilen kritik yük birleşimlerinde yüklerin katmanlarda oluşturduğu gerilmeler, bu gerilmelerin bulunduğu katlar ve kritik gerilmelerin olduğu paneller Çizelge 10.15'te görülmektedir.

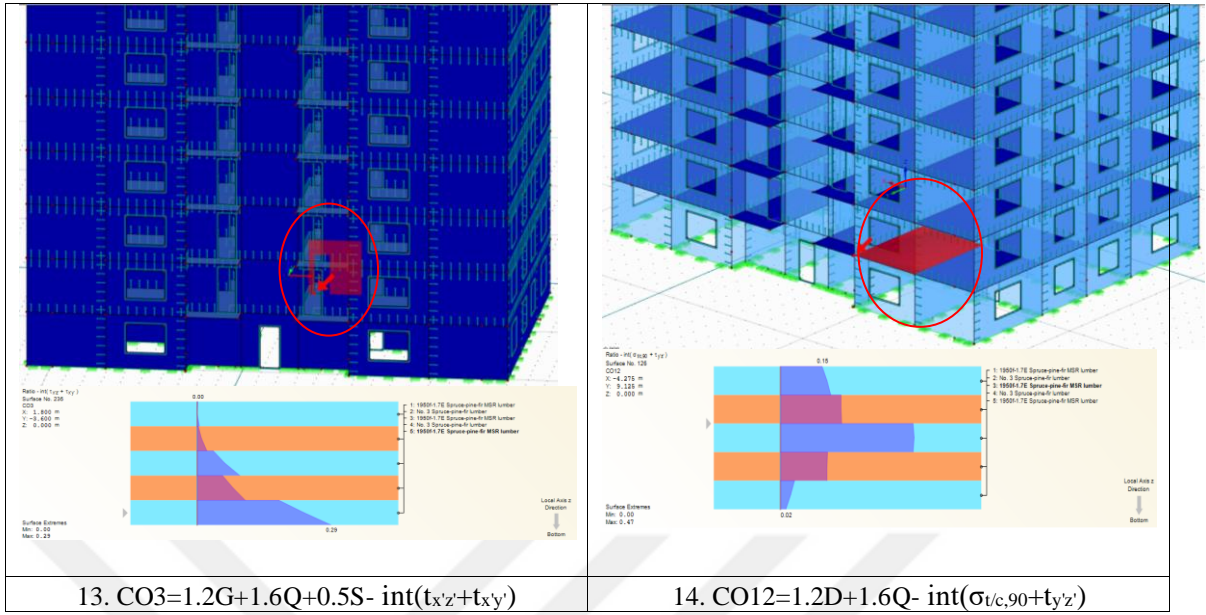
Çizelge 10.15 Kritik yük birleşimlerinin katmanlarda oluşturduğu gerilme grafikleri ve bulunduğu katlar



Çizelge 10.15-devamı Kritik yük birleşimlerinin katmanlarda oluşturduğu gerilme grafikleri ve bulunduğu katlar

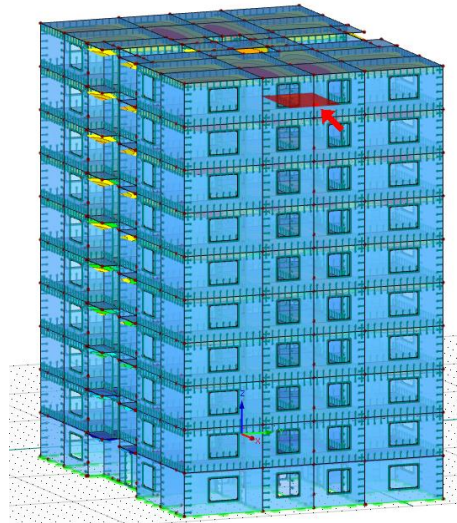


Çizelge 10.15-devamı. Kritik yük birleşimlerinin katmanlarda oluşturduğu gerilme grafikleri ve bulunduğu katlar

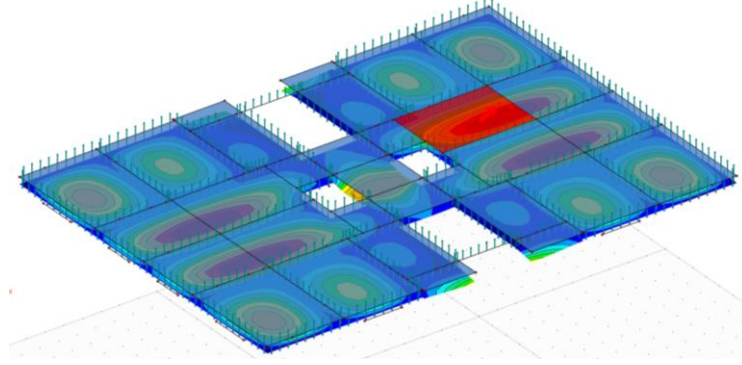


10.4.2.2. Döşeme deplasmanları

Analiz sonucunda ÇLA panellerden oluşan döşemelerde en yüksek düşey deplasman u_z değeri 6.2 mm olarak elde edilmiştir. Bu değer $L/360$ değeri $5525/360 = 15.3$ mm değerinden küçük olmalıdır. Maksimum deplasman değeri/deplasman sınır değeri oranı $6.2/15.3 = 0,4 \leq 1$ olduğu için kullanılabilirlik sınır durumunda bu sınır koşul sağlanmıştır. Çizelge 10.16'da programdan elde edilen değerler görülmektedir. Şekil 10.23 ve Şekil 10.24'te en büyük deplasmanın olduğu döşeme bölümü verilmiştir.



Şekil 10.23 $CO22=D+L$ yük birleşiminde en büyük sehmin belirlendiği 9. kat



Şekil 10.24 CO2=D+L yük birleşiminde en büyük sehimin gerçekleştiği döşeme parçası (5.525m uzunluğundaki döşeme)

Çizelge 10.16 Döşemeler için elde edilen maksimum düşey deplasman/sınır deplasman oranı

| Yüzey No | Yük birleşimi | Deplasman [mm] | | Oran u_z [-] |
|----------|---------------|----------------|-------------|----------------|
| | | u_z | Sınır u_z | |
| 892 | CO22 | 6.2 | 15.3 | 0.40 |

10.4.2.3. Tasarımda kullanılan panellerin ağırlığı

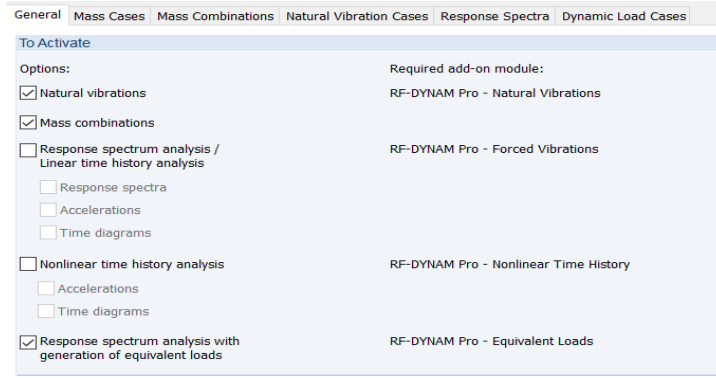
Yapılan analiz sonucunda çapraz lamine ahşap malzemenin alanı cila yapılacak toplam yüzey alanı, hacmi ve ağırlıkları elde edilmiştir. Bu değerler maliyet hesabı için önem arz etmektedir. Çizelge 10.17’de programdan elde edilen değerler verilmektedir.

Çizelge 10.17 Kullanılan panellerin toplam özellikleri

| Alan [m ²] | Toplam Yüzey Alanı [m ²] | Hacim [m ³] | Ağırlık [t] |
|------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------|
| 10258.675 | 20517.350 | 1795.268 | 754.013 |

10.5. Modelin Dinamik Tasarımı

Dinamik sonuçlar için, doğal titreşim periyodu, kütle birleşimleri, x ve y yönlerine gelen yüklerin hesaplanmasıyla tepki spektrum analizi elde edilecektir. Kütle katsayıları program tarafından otomatik olarak alınmıştır (Şekil 10.25).



Şekil 10.25 RFEM programında dinamik analiz ile ilgili seçenekler

10.5.1. Kütlelerin Modellenmesi

TBDY (2018)'e göre taşıyıcı sistem elemanlarının çubuk, levha (membran) veya kabuk sonlu eleman olarak modellenmeleri durumunda tekil düğüm noktası kütleleri, bağlı sonlu elemanların kapsama alanlarındaki yayılı kütlelerin bileşkeleri olarak atanırlar. Sonlu eleman düğüm noktalarındaki tekil kütleler, sadece iki yatay veya ek olarak düşey öteleme serbestlik derecelerine karşı gelecek şekilde tanımlanırlar. Tipik sonlu eleman düğüm noktası j 'ye etkileyen tekil kütle $m_j^{(s)}$ denklem 10.11 ile hesaplanmaktadır. Bu denklemde yer alan $w_{G,j}^{(s)}$ ve $w_{Q,j}^{(s)}$ sonlu eleman düğüm noktası j 'ye etkileyen sırasıyla sabit ve hareketli yüklemeleri ifade ederken; hareketli yük kütle katılım katsayısı "n", Çizelge 10.18'de yer alan bina kullanım amacına göre belirlenebilmektedir (TBDY, 2018).

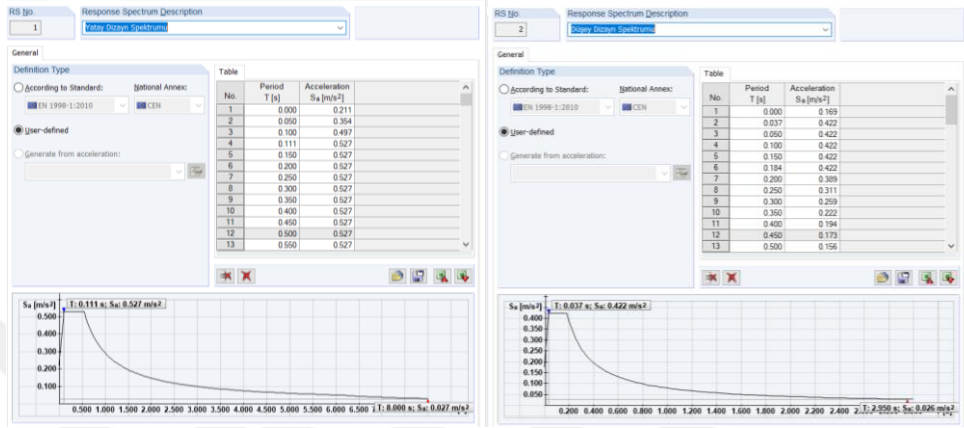
$$w_j^{(s)} = w_{G,j}^{(s)} + n \cdot w_{Q,j}^{(s)} \quad (10.11)$$

Çizelge 10.18 Hareketli yük kütle katılım katsayıları (TBDY, 2018)

| Binanın Kullanım Amacı | Hareketli Yük Kütle Katılım Katsayısı (n) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Depo, antrepo, vb | 0.80 |
| Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, ibadethane, lokanta, mağaza vb. | 0.60 |
| Konut, işyeri, otel, hastane, otopark, vb. | 0.30 |

10.5.2. RFEM Programında Tasarım Spektrum Değerlerinin Girilmesi

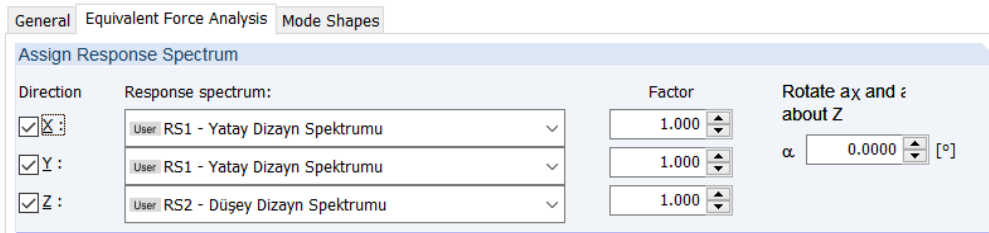
RFEM programında doğal titreşim periyotları için Denklem 10.11'deki kütle kombinasyonu kullanılmaktadır. Yatay dizayn spektrumu ve düşey dizayn spektrum değerleri AFAD raporundan alınmıştır (Şekil 10.26).



Şekil 10.26 Yatay ve düşey dizayn spektrum grafikleri

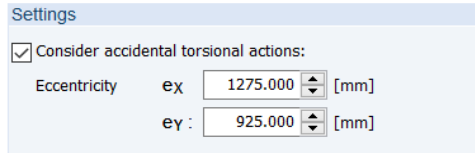
10.5.3. RFEM Programında Deprem Yüklerinin Tanımlanması

Deprem yüklerinin tanımlanması için RFEM programının RF-Dynam Pro modülünde yatay ve düşey dizayn spektrum grafikleri manuel olarak atanmaktadır. X ve Y yönleri için yatay dizayn spektrumları, Z yönü için düşey dizayn spektrumu tanımlanmıştır (Şekil 10.27).



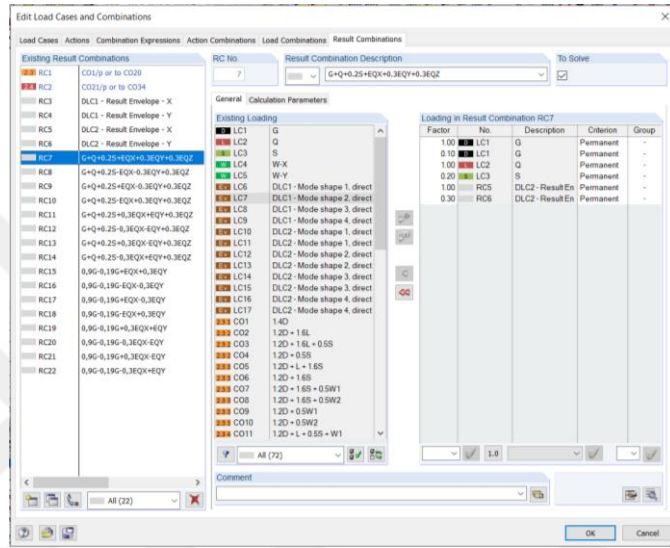
Şekil 10.27 Yatay ve düşey dizayn spektrum değerlerinin eşdeğer yük analizi için X ve Y yönlerine atanması

Bina modelinde, X ve Y doğrultularında kütle merkezine $\pm\%5$ eksantrisite uygulanarak eşdeğer kuvvetler etki ettirilmiştir (Şekil 10.28). Bu girdiler $E_d^{(X)}$ ve $E_d^{(Y)}$ yüklerinin elde edilmesini sağlamaktadır.



Şekil 10.28 Bina modeline eşdeğer yükler için x ve y yönlerinde verilen eksantrisite

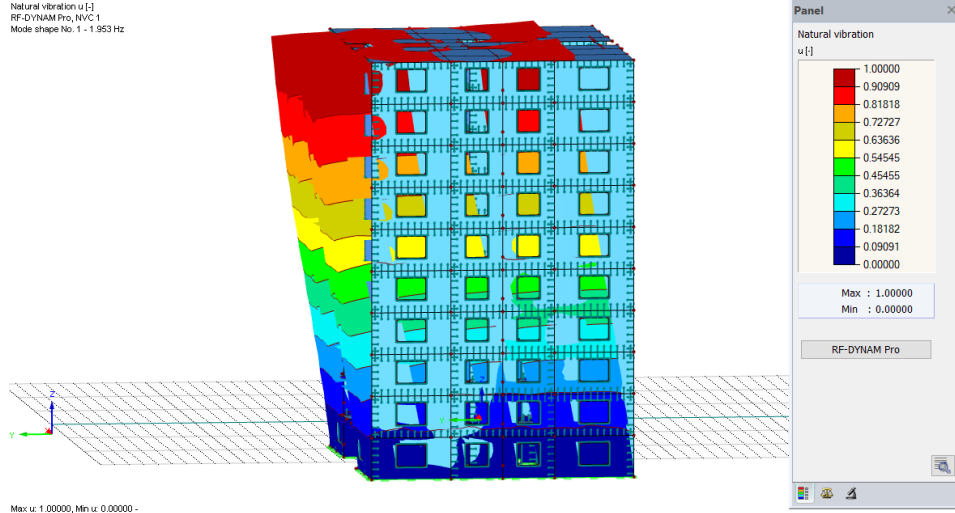
Bölüm 10.3'te verilen yük birleşimleri RFEM programına girilerek tüm bina modellerine etki ettirilmektedir (Şekil 10.29).



Şekil 10.29 Bina modellerinde gözönüne alınan birleştirilmiş deprem yük etkileri

10.5.4. Analiz Sonuçları

Yapılan analizler sonucunda 6 nolu tamamen ÇLA panellerden oluşan yapının doğal titreşim periyodu y ekseninde Mod 1 için $T=0.512$ s olarak elde edilmiştir (Şekil 10.30). Bu değer, bina modelinin taşıyıcı dış duvarlardan oluşması, simetrik olması ve küçük balkonlardan oluşması gibi etkenlerden dolayı düşük elde edilmiştir.



Şekil 10.30 1. Mod şekli, periyot $T_y=0.512$ s

Analiz sırasında ilk 4 mod şekli için elde edilen periyot değerleri Çizelge 10.19’da, kütle katılım oranları ise Çizelge 10.20’de verilmektedir.

Çizelge 10.19 Farklı mod şekilleri için frekans ve periyotlar

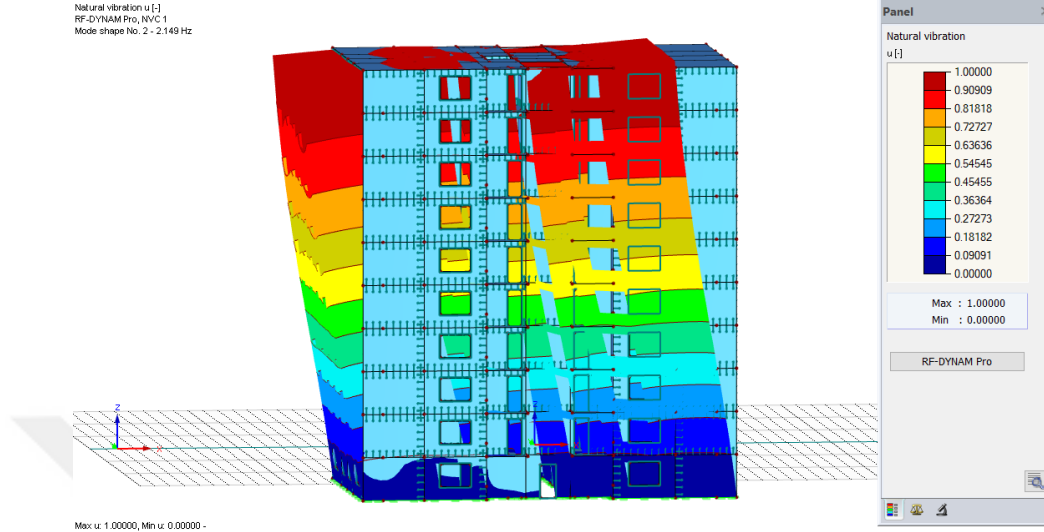
| Mod No | Özdeğer λ [1/s ²] | Açısal Frekans ν [rad/s] | Doğal Frekans f [Hz] | Doğal Periyot T [s] |
|--------|---------------------------------------|------------------------------|------------------------|-----------------------|
| 1 | 150.652 | 12.274 | 1.953 | 0.512 |
| 2 | 182.402 | 13.506 | 2.149 | 0.465 |
| 3 | 226.820 | 15.061 | 2.397 | 0.417 |
| 4 | 1488.424 | 38.580 | 6.140 | 0.163 |

Çizelge 10.20 Kütle katılım oranları

| Mod No | Kütle Katılım M_i [kg] | Efektif Kütle Katılım | | | | | | Efektif Kütle Katılım | | |
|--------|--------------------------|-----------------------|---------------|---------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------|---------------|---------------|
| | | m_{eX} [kg] | m_{eY} [kg] | m_{eZ} [kg] | m_{eJX} [kg.m ²] | m_{eJY} [kg.m ²] | m_{eJZ} [kg.m ²] | f_{meX} [-] | f_{meY} [-] | f_{meZ} [-] |
| 1 | 660432 | 44 | 1352030 | 0.03 | 28611634 | 702 | 437 | 0 | 0.769 | 0 |
| 2 | 706244 | 1388645 | 39 | 0 | 1010 | 27310060 | 51420 | 0.790 | 0,000 | 0 |
| 3 | 307858 | 492 | 4 | 0 | 180 | 12950 | 131301182 | 0 | 0,000 | 0 |
| 4 | 462368 | 4 | 261149 | 0.02 | 70173905 | 2159 | 3 | 0 | 0.149 | 0 |
| TOP. | 2136904 | 1389186 | 1613222 | 0.05 | 98786729 | 27325872 | 131353043 | 0.791 | 0.918 | 0 |

Çizelge 10.19’da bulunan 4 mod şekli içerisinde en yüksek periyot 1. modda $T=0.512$ s olarak bulunmaktadır. Bu periyotların hangi eksenlerde olduğu Çizelge 10.20’deki kütle katılım oranlarının incelenmesinden görülmektedir. En yüksek periyot olan $T=0.512$ s değeri 1. mod şeklinde ortaya çıkmış olup efektif kütle katılım oranı

mod 1’de y ekseninde 0.769 olarak en yüksek değeri almıştır. Ayrıca x eksenindeki en yüksek periyot, kütle katılım oranının x ekseninde en yüksek olduğu mod 2 için $T=0.465$ s olarak elde edilmiştir (Şekil 10.31).

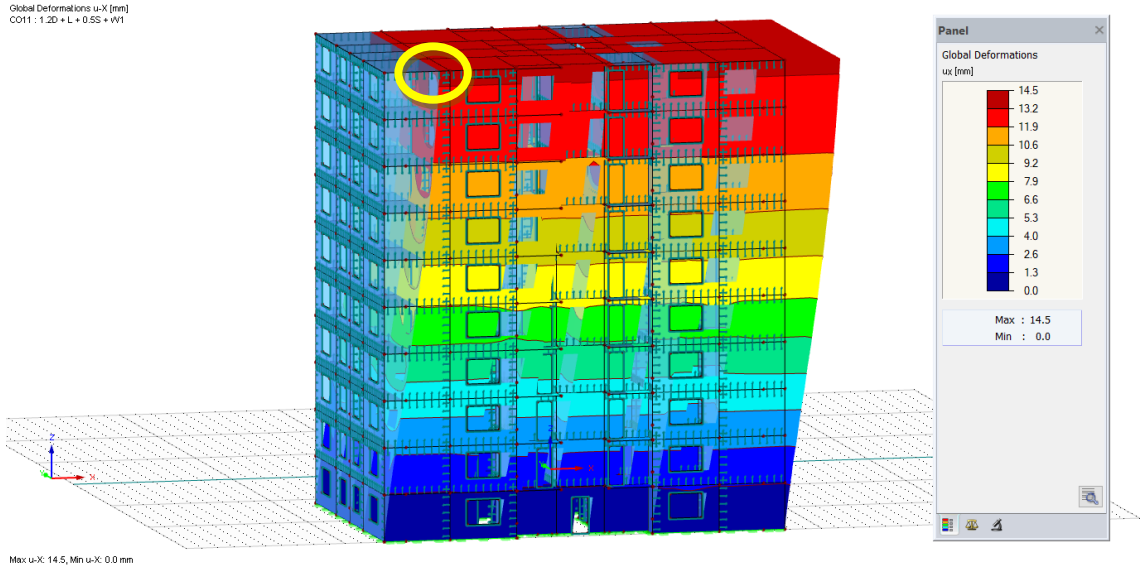


Şekil 10.31 2. Mod şekli, periyot $T_x=0.465$ s

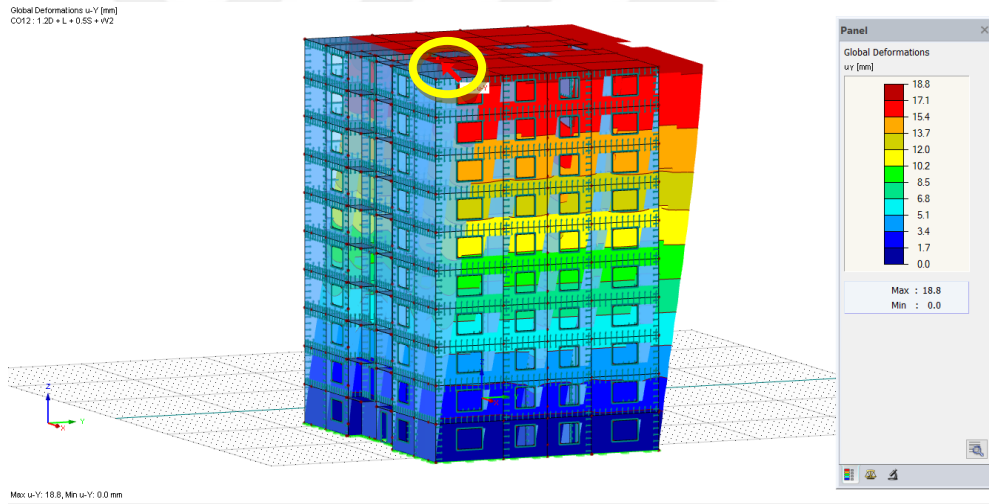
Yük birleşimleri altında en çok zorlanan kesitler ve bu durumun hangi yük birleşimi etkisinde elde edildiği RFEM programında detaylı olarak verilmektedir. Bu değerlerin hangi yük birleşimlerinde elde edildiği Çizelge 10.21’de görülmektedir. Yapı üzerinde kuvvetlerin etkimesi sonucu x ve y eksenlerinde gerçekleşen maksimum deplasmanlar, x yönü için 14.5 mm, y yönü için ise 18.8 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 10.32 ve Şekil 10.33). Kuvvetli eksenlerine dik perde duvarların daha çok bulunduğu x ekseninde, periyot ve deplasmanlar y eksenine göre daha düşük değerlerde elde edilmiştir. Şekil 10.34’de düşey doğrultudaki deplasman değeri görülmektedir.

Çizelge 10.21 Maksimum deplasman değerleri ve oluştuğu YDKT (LRFD) yük birleşimleri

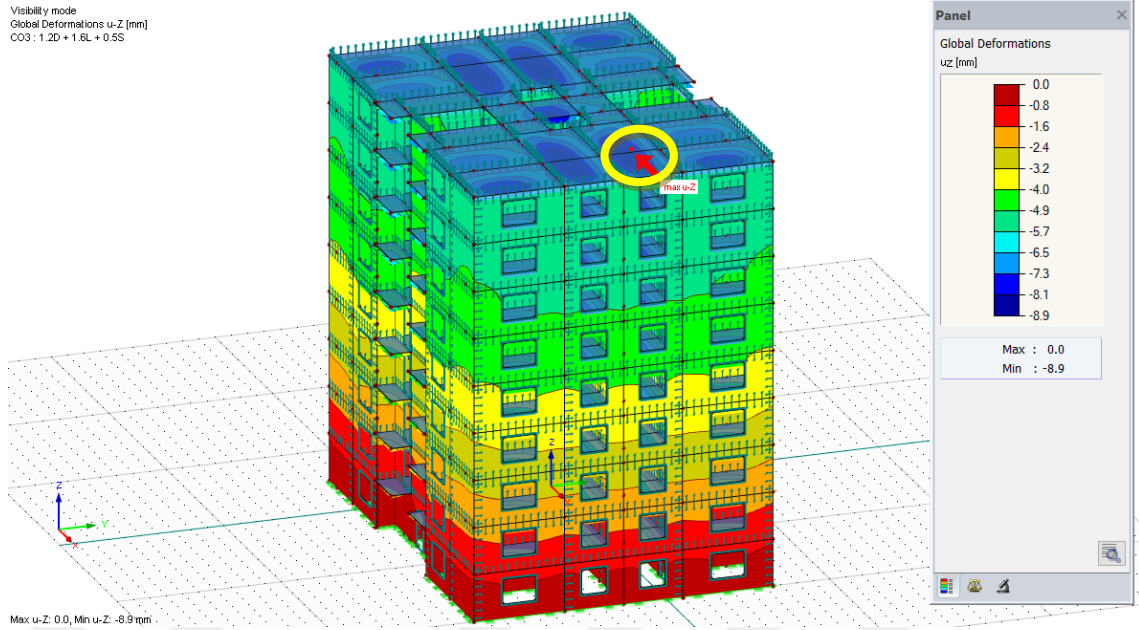
| | Açıklama | Değer | Birim | YDKT (LRFD) yük birleşimleri |
|---|--------------------------------|-------|-------|------------------------------|
| 1 | X yönünde maksimum deplasman | 14.5 | mm | CO11 |
| 2 | Y yönünde maksimum deplasman | 18.8 | mm | CO12 |
| 3 | Z yönündeki maksimum deplasman | -8.9 | mm | CO3 |
| 4 | Maksimum vektörel deplasman | 19.3 | mm | CO12 |
| 5 | X yönündeki maksimum dönme | 5.0 | mrاد | CO3 |
| 6 | Y yönündeki maksimum dönme | 3.9 | mrاد | CO3 |
| 7 | Z yönündeki maksimum dönme | 0.9 | mrاد | CO11 |



Şekil 10.32 CO11=1,2G+Q+0,5S+W_x kombinasyonu için $u_x=14.5$ mm

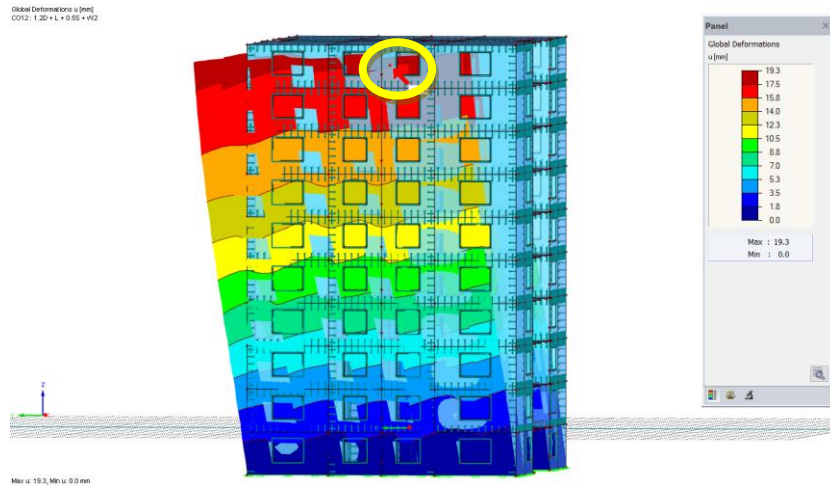


Şekil 10.33 CO12=1,2G+Q+0,5S+W_y kombinasyonu için $u_y=18.8$ mm



Şekil 10.34 CO3=1.2G+1.6Q+0.5S yük birleşimi için $u_z=8.9$ mm

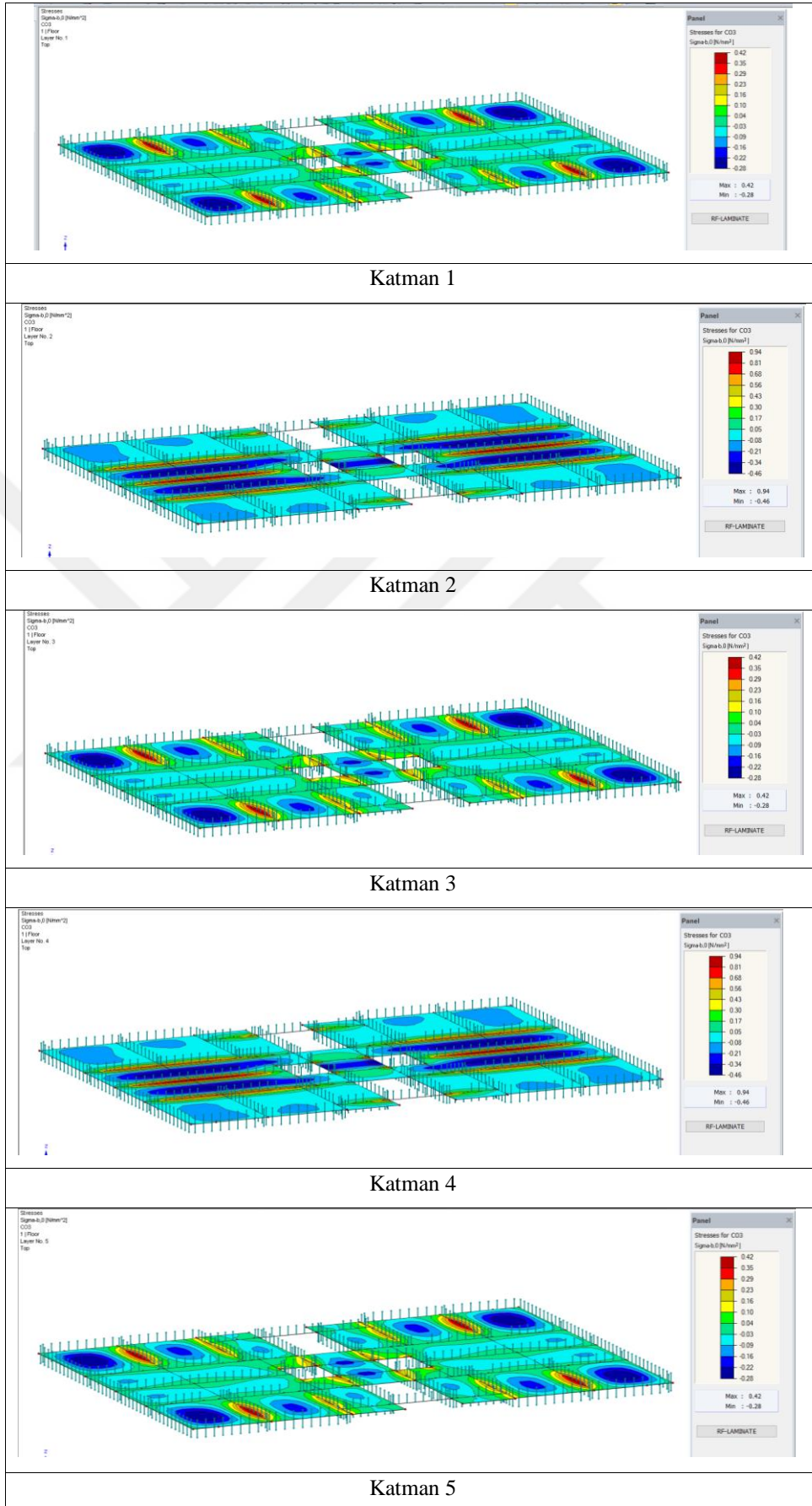
Z yönündeki en büyük deplasman iki döşemenin birleşim bölgesinde CO3 yük birleşiminde meydana gelmiştir. Bu değer daha önce ÇLA döşeme panellerinde bulunan sehim değerinden farklı olmaktadır. Şekil 10.34’de sistemin z ekseninde meydana gelen en büyük deplasman, Şekil 10.35’te en büyük vektörel deplasman değeri görülmektedir.



Şekil 10.35 CO12=1.2G+Q+0.5S+Wy yük birleşimi için $u=19.3$ mm

Çapraz lamine ahşap paneller her katmanda ayrı gerilmelere maruz kalmaktadır. Panellerin katmanları birbirine zıt olarak yerleştirildiği için Çizelge 10.22’de bu gerilme tipleri net olarak görülmektedir.

Çizelge 10.22 ÇLA panelin farklı katmanlarındaki eğilme gerilmeleri (9. Kat döşemesi)



10.6. Tüm Bina Modellerine ait Sonuçların Karşılaştırması

Analizi yapılan bina modelleri zati ağırlıkları, 1. mod şekilleri için periyotları, yatay ve düşey dizayn spektrumları ile belirlenen kütle katılım oranları bakımından karşılaştırılmıştır. Çizelge 10.23'te bina modellerinin ağırlıkları görülmektedir. Zemin katı betonarme olan modellerin ağırlığı, tamamı ÇLA olan modellerden daha fazladır. Kat sayısının artması ile iki farklı taşıyıcı sistemin ağırlıklarının birbirine yaklaştığı görülmektedir. Tamamen ÇLA malzemeden oluşan modeller referans alınarak belirlenen oranlar Çizelge 10.23'te verilmektedir.

Çizelge 10.23 Modellerin zati ağırlıkları

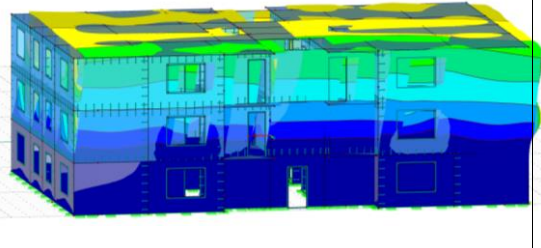
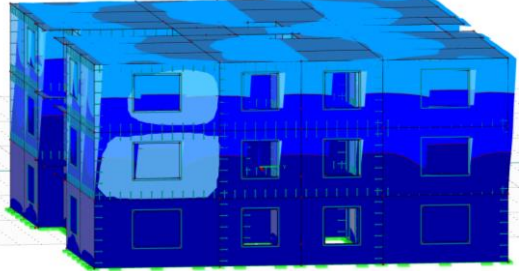
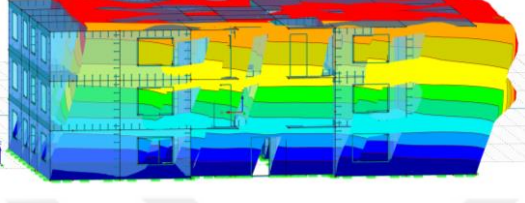
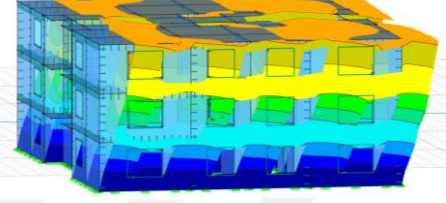
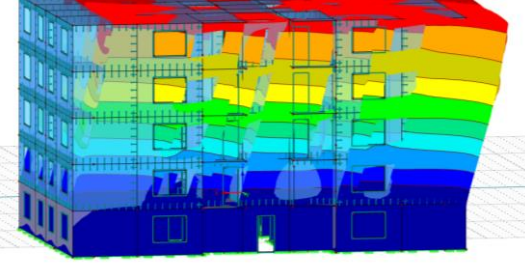
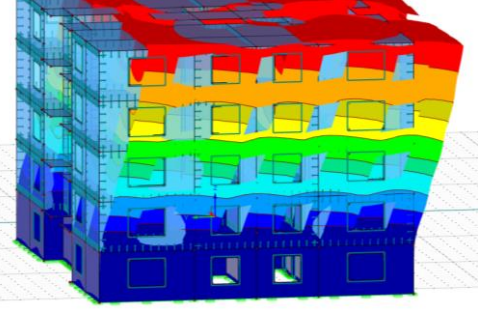
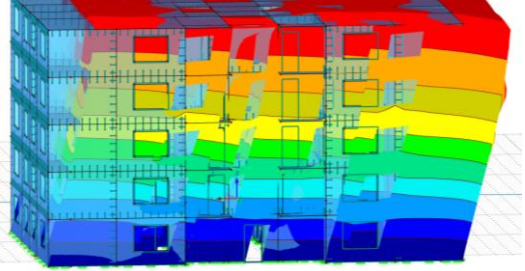
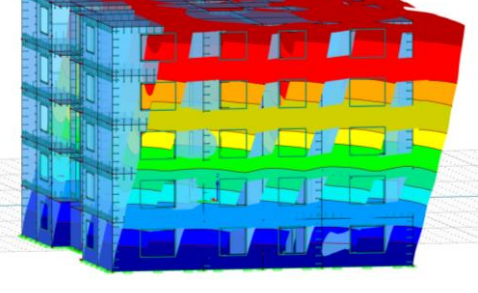
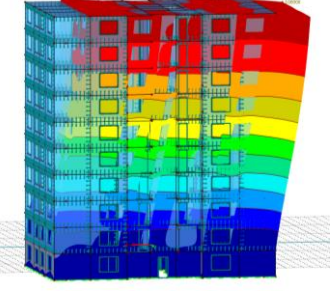
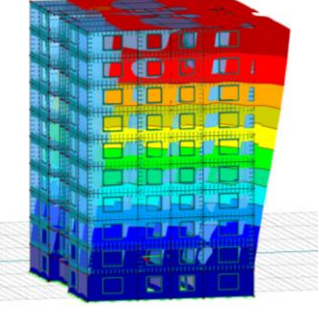
| Bina modeli | Kat sayısı | Yapı malzemesi | | Zati ağırlık-G (kg) | Oran |
|-------------|------------|---------------------|---------------------|---------------------|------|
| | | Zemin kat | Diğer katlar | | |
| 1 | 3 | Betonarme | Çapraz lamine ahşap | 682336.45 | 1.91 |
| 2* | | Çapraz lamine ahşap | Çapraz lamine ahşap | 357396.06 | 1.00 |
| 3 | 5 | Betonarme | Çapraz lamine ahşap | 966017.65 | 1.58 |
| 4* | | Çapraz lamine ahşap | Çapraz lamine ahşap | 610627.26 | 1.00 |
| 5 | 10 | Betonarme | Çapraz lamine ahşap | 1504330.86 | 1.21 |
| 6* | | Çapraz lamine ahşap | Çapraz lamine ahşap | 1243705.24 | 1.00 |
| 7 | | Betonarme | Betonarme | 4762307.75 | 3.82 |

*Referans model

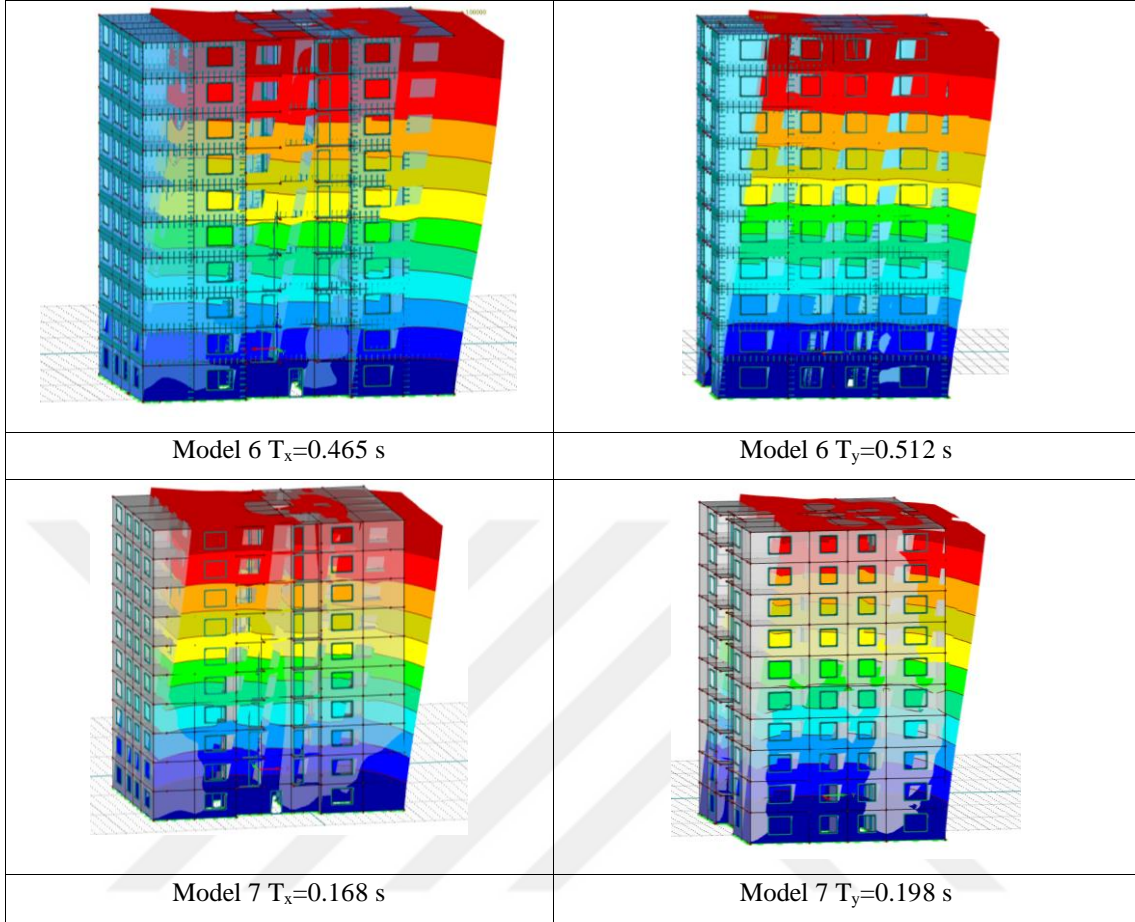
Modellerin zati ağırlıkları tanımlanan malzeme özellikleri için program tarafından otomatik olarak hesaplanmaktadır. Zemin katı betonarme olan 3 katlı modellerde, betonarme kat toplam ağırlığı büyük oranda artırırken, kat sayısı arttıkça oluşan fark azalmaktadır. Fakat tamamı betonarme taşıyıcı sistemden oluşan binanın zati ağırlığı, tamamı ÇLA panellerden oluşan yapıdan çok büyük bulunmuştur.

Yapılan analizler sonucunda x ekseninde 25.5 m uzunluğunda y ekseninde ise 18.5 m uzunluğunda olan bina modellerinin tamamında en yüksek periyot y ekseninde elde edilmiştir. Çizelge 10.24'te tüm bina modellerinin x ve y doğrultusundaki en yüksek periyotları verilmektedir.

Çizelge 10.24 Tasarımı yapılan bina modellerinin x ve y doğrultusundaki doğal titreşim periyotları

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |
| Model 1 $T_x=0.083$ s | Model 1 $T_y=0.085$ s |
|  |  |
| Model 2 $T_x=0.118$ s | Model 2 $T_y=0.121$ s |
|  |  |
| Model 3 $T_x=0.171$ s | Model 3 $T_y=0.177$ s |
|  |  |
| Model 4 $T_x=0.207$ s | Model 4 $T_y=0.217$ s |
|  |  |
| Model 5 $T_x=0.418$ s | Model 5 $T_y=0.455$ s |

Çizelge 10.24-devamı Tasarımı yapılan bina modellerinin x ve y doğrultusundaki doğal titreşim periyotları



Modellerin kat sayısının artması periyodun artmasına sebep olmaktadır. Zemin katı betonarme olan yapılarda periyot daha düşük çıkmaktadır. Katlarının tamamı ÇLA panellerden oluşan yapının periyodu, tamamen betonarme duvarlardan oluşan 7 numaralı modeldeki yapıyla karşılaştırıldığında bu modeldeki değerden %61 daha fazla olduğu görülmektedir (Çizelge 10.25). Buna göre ÇLA'dan imal edilecek yüksek katlı binalarda, betonarme taşıyıcı sistemlerin ÇLA panellerle birlikte kullanılmasının avantajlı olduğu sonucuna varılmaktadır.

Tamamen ÇLA panellerinden oluşan modellerde kütle katılım oranları daha yüksek elde edilmiştir (Çizelge 10.26). Deprem durumlarında x ve y doğrultularında yerdeğiştirme yapacak yapının kütesinin toplam kütleyle oranı ÇLA malzemeli modellerde yüksek bulunmuştur.

Çizelge 10.25 1. Mod için bina modellerine ait periyot değerleri

| Bina modeli | Kat sayısı | Yapı malzemesi | | Periyot (s) | Oran |
|-------------|------------|---------------------|---------------------|-------------|------|
| | | Zemin kat | Diğer katlar | | |
| 1* | 3 | Betonarme | Çapraz lamine ahşap | 0.083 | 1.00 |
| 2 | | Çapraz lamine ahşap | Çapraz lamine ahşap | 0.121 | 1.46 |
| 3* | 5 | Betonarme | Çapraz lamine ahşap | 0.177 | 1.00 |
| 4 | | Çapraz lamine ahşap | Çapraz lamine ahşap | 0.217 | 1.23 |
| 5* | 10 | Betonarme | Çapraz lamine ahşap | 0.455 | 1.00 |
| 6 | | Çapraz lamine ahşap | Çapraz lamine ahşap | 0.512 | 1.13 |
| 7 | | Betonarme | Betonarme | 0.198 | 0.44 |

*Referans model

Çizelge 10.26 Efektif kütle katılım oranları

| Bina modeli | Kat sayısı | Yapı malzemesi | | f_{meX} | Oran | f_{meY} | Oran |
|-------------|------------|---------------------|---------------------|-----------|------|-----------|------|
| | | Zemin kat | Diğer katlar | | | | |
| 1* | 3 | Betonarme | Çapraz lamine ahşap | 0.38 | 1.00 | 0.38 | 1.00 |
| 2 | | Çapraz lamine ahşap | Çapraz lamine ahşap | 0.87 | 2.29 | 0.80 | 2.1 |
| 3* | 5 | Betonarme | Çapraz lamine ahşap | 0.45 | 1.00 | 0.45 | 1.00 |
| 4 | | Çapraz lamine ahşap | Çapraz lamine ahşap | 0.84 | 1.87 | 0.83 | 1.84 |
| 5* | 10 | Betonarme | Çapraz lamine ahşap | 0.64 | 1.00 | 0.74 | 1.00 |
| 6 | | Çapraz lamine ahşap | Çapraz lamine ahşap | 0.79 | 1.23 | 0.92 | 1.24 |
| 7 | | Betonarme | Betonarme | 0.73 | 1.14 | 0.73 | 0.99 |

*Referans model

Deprem etkilerine göre analiz TBDY (2018)'e göre Bölüm 10.3'te verilen birleştirilmiş yük birleşimleri gözönüne alınarak yapılmıştır. Analizi yapılan 16 yük birleşimi içerisinde maksimum deformasyonun olduğu kombinasyonlar Çizelge 10.28'de verilmektedir. Bu değerler en kritik model olan 10 katlı tamamen ÇLA panellerden oluşan 6 numaralı modelden elde edilmektedir. Çizelge 10.27'de elde edilen sonuçlar güvenli tarafta kalarak sınır durum şartlarını sağlamaktadır.

Çizelge 10.27 Birleştirilmiş deprem etkilerinin sonucunda oluşan maksimum deformasyonlar

| Yük birleşimi | u (mm) | u_x (mm) | u_y (mm) | u_z (mm) |
|----------------------------------------------------------|--------|------------|------------|------------|
| $G + Q + 0.2S - E_d^{(X)} - 0.3E_d^{(Y)} + 0.3E_d^{(Z)}$ | 8.1 | 4.5 | 2.2 | -6.9 |
| $G + Q + 0.2S + 0.3E_d^{(X)} + E_d^{(Y)} + 0.3E_d^{(Z)}$ | 8.7 | 1.8 | -5.7 | -6.9 |
| $0.9G \pm E_d^{(X)} \pm 0.3E_d^{(Y)} - 0.3E_d^{(Z)}$ | 5.4 | 4.5 | 2.2 | -2.5 |
| $0.9G \pm 0.3E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)} - 0.3E_d^{(Z)}$ | 6.2 | 1.8 | 5.6 | -2.5 |

11. SONUÇLAR

Çapraz lamine ahşap yapı elemanları yüksek dayanım, stabilite ve rijitliği ile çok katlı yapılarda ahşap taşıyıcı sistemlerin kullanılmasına imkân tanımıştır. Çok katlı yapılarda hafif olması sebebiyle yapıya etkiyen deprem yükleri azalmaktadır. Çapraz laminasyon, yapısal olarak ahşabın zayıf yönlerini ortadan kaldırmaktadır. Ahşap yapı elemanlarında malzeme büyüme halkalarına paralel taşımada yüksek değerler alırken büyüme halkalarına dikey yüklerde zayıf değerler almaktadır. İki yönde taşıma gücü sağlamak için malzemeler birbirlerine dikey yönde yerleştirilerek çapraz lamine ahşap paneller oluşturulmaktadır.

Türkiye’de henüz kullanımı yaygın olmayan çapraz lamine ahşap malzemesi hakkında yapılan bu çalışmada ANSI/APA PRG-320 (2018), AWC-NDS (2018) ve ICC-IBC (2018) yönetmelikleri ve TBDY (2018) koşulları gözönünde bulundurularak 3, 5 ve 10 katlı tamamen çapraz lamine ahşap, zemin katı betonarme diğer katları çapraz lamine ahşap ve tamamı betonarme taşıyıcı sistemden oluşturulan 7 farklı bina modelinin tasarımı ve RFEM programında analizi yapılmıştır. 10 katlı tamamen çapraz lamine ahşap ve 10 katlı tamamen betonarmeden oluşan yapılar kıyaslandığında betonarme yapı çapraz lamine ahşap yapıya oranla %284 daha ağır olmaktadır. Bu durum, çapraz lamine ahşap yapıların ağırlıklarının betonarme yapılara göre daha az olmasından dolayı ortaya çıkmıştır.

Yapılan analizler sonucunda seçilen kesit boyutları gözönüne alınan yükler için yeterli olmuştur. Analizleri yapılan bina modellerinin doğal titreşim periyotları nispeten düşük değerlerde bulunmuştur. Ancak, tamamen çapraz lamine ahşap panellerden oluşan yapılarda periyot, zemin katı betonarme perde duvarlardan oluşan çapraz lamine ahşap bina modellerinden daha yüksek bulunmuştur. Çerçeve sistem olarak yapılan tasarımlarda periyot değerleri, çapraz lamine ahşap panellerden oluşan sistemlerden genel olarak daha yüksek çıkmaktadır. Zemin katın betonarme duvarlardan oluşması periyodu düşürmüştür. Tamamen çapraz lamine ahşap panellerden oluşan yapıların kütle katılım oranları daha yüksek bulunmuştur. Zemin katların betonarme yapılması kesit zorlamalarını değiştirmeyip bina ağırlığını arttırmıştır. Ayrıca yıl boyu yağış alan bölgelerde betonarme temel kullanılması sağlıklı bir çözüm olabilmektedir.

Bu tez çalışmasında, çapraz lamine ahşap panellerin çok katlı yapılarda kullanılabilirliği analitik olarak incelenmiştir. Burada zemin katta betonarmenin kullanım amacı ahşap bir malzemenin çok katlı yapılarda tek başına taşıyıcı olarak

kullanılması durumu ile betonarme ile birlikte kullanılması durumunda hangi taşıyıcı sistem türünün yapısal olarak avantajlı olduğunun belirlenmesidir. Tasarımı yapılan çok katlı bina modelleri için yapının tamamen çapraz lamine ahşap taşıyıcı sistemlerden oluşması durumunda bile rahatlıkla gerekli dayanımları sağlamaktadır. Betonarme zemin kat kullanmadan da çapraz lamine ahşap paneller başarılı bir şekilde kendisine etki eden yükleri taşımaktadır.

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 odaklanması bu yapısal malzemenin popülerliğini arttırmaya devam edecektir. Türkiye’de çapraz lamine ahşap kullanılarak yapılmış tek katlı bazı yapılar mevcuttur. Çapraz lamine ahşap üretimi amacıyla yapılacak ağaç yetiştiriciliği ve üretim fabrikalarının kurulması ile gelecekte bu malzemenin ülkemizde de daha yaygın kullanılabileceği düşünülmektedir.

12. KAYNAKLAR

- Abbado, S., Prodi, F., Zucconi, M., 2015, Social Housing via Cenni, *Mies van der Roha Award 2015*, Milan
- AFAD, 2020 Türkiye Deprem Tehlike Haritaları. Erişim Adresi: www.tdth.afad.gov.tr
- Aicher, S., Reinhardt, H. W., 2007, Delamination properties and shear strength of glued beech wood laminations with red heartwood, *Holz als Roh –und Werkstoff*, 65(2), 131.
- Anonymous, 2019, Brock Commons Tallwood House [online], British Columbia, <https://www.naturallywood.com/emerging-trends/tall-wood/brock-commons-tallwood-house>[Ziyaret Tarihi: 28.05.2019]
- ANSI/APA PRG320-2018, 2018, “Standard for performance-rated cross-laminated timber”, American National Standards Institute, Washington, DC.
- Basaglia, B., Crews, K., Lewis, K., Shrestha, R., 2016, The Use of Cross Laminated Timber For Long Span Flooring in Commercial Buildings, *World Conference on Timber Engineering*, Vienna, Australia.
- Bilek, E. M. T., Cresspell, P., Gagnon, S., Padesto, L., 2013, Chapter 1: Introduction to cross-laminated timber, Karacabeyli, E., Douglas, B., *Pointe-Claire*, QC, 1-26.
- Bilgin, H., 2009, “Ahşap Yapıların Tarihsel Süreç İçindeki Gelişimi ve Günümüzde Ahşap Yapıların Kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 107.
- Bostancıoğlu E., Düzgün Birer E., 2004, “Ekoloji ve Ahşap- Türkiye’de Ahşap Malzemenin Geleceği”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Bursa, Cilt 9, Sayı 2
- Brenemann, S., 2016, “Cross- Laminated Timber Structural Floor and Roof Design”, *Structure Magazine*, June, 2-14.
- Burback, B., 2016, Potential of Cross Laminated Timber in Single Family Residential Construction, Msc thesis, *Colorado School of Mines Environmental and Civil Engineering Faculty*, Golden, CO.
- Cresspell, P., Gagnon, S., 2010, “Cross Laminated Timber: a Primer”, *Special Publication 52*, FPInnovations, Canada, 1-2.
- Dagenais, C., Sumathipala, K., White, R. H., 2013, Chapter 8: Fire performance of cross-laminated timber assemblies, Karacabeyli, E., Douglas, B., *Pointe-Claire*, QC, 1-25

- Douglas, B., Mohammed, M., Pryor, S. E., Rammer D., 2013, Chapter 5: Connections in Cross-laminated Timber Buildings, Karacabeyli, E., Douglas, B., *Pointe-Claire*, QC, 1-34
- Dujic, B., Strus, K., Zarnic, R. Ceccotti, A., 2010, Prediction of Dynamic Response of a 7-storey Massive Xlam Wooden Building tested on a Shaking Table, WCTE World Conference of Timber Engineering, Italy.
- Dujic, B., Klobcar, S., Zarnic, R., 2016, Shear Capacity of Cross Laminated Wooden Walls, Ljubljana University, Slovenia.
- Espinoza, O., Laguarda, M., 2016, Cross-Laminated Timber vs. Concrete/Steel: Cost Comparison Using A Case Study, *World Conference on Timber Engineering*, Vienna, Australia.
- Francis, S., Gagnon, S., Stockton, B. M., 2013, Chapter 12: Lifting and handling cross-laminated timber elements, Karacabeyli, E., Douglas, B., *Pointe-Claire*, QC, 1-23
- Follesa, M., Fragiacomma, M., Vassallo D., 2016, Seismic Design of a Six-Storey CLT Building in Florence Italy, *World Conference on Timber Engineering*, Vienna, Australia.
- Gagnon, S., Keith, E., Ross, L. A., 2013, Chapter 3: Structural design of cross-laminated timber elements, Karacabeyli, E., Douglas, B., *Pointe-Claire*, QC, 1-18.
- Gagnon, S., Pirvu, C., 2011, CLT Handbook Canadian, Karacabeyli, E., Douglas, B., *Quebec*, QC, 1-18.
- 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), 258.
- Goremikins, V., Serdjuks, D., Vilguts, A., 2015, Design Methods For Load-Bearing Elements From Cross Laminated Timber, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 96.
- Gijzen, R., 2017, Modular Cross-Laminated Timber Buildings, Msc thesis, *Delft University of Technology Civil Engineering and Geosciences Faculty*, Delft, Holland.
- Gustafsson, A., 2019, The CLT Handbook-CLT structures-facts and planning, Stockholm, Sweden, 17
- Güzel N., Yesügey S., 2015, “Çapraz Lamine Ahşap (CLT) Malzeme ile Çok Katlı Ahşap Yapılar”, *Mimarlık Dergisi*, Ankara, Sayı 382
- Kopczynski, C., Company Seattle, 2018, Cross Laminated Timber Feasibility Study, San Francisco, Chicago, 1-10.

- Koppelhuber, J., Pock, K., Wallner, M., 2014, Cross-Laminated Timber Structural Design, *proHolz Austria*, 12-60
- Kretschmann, D., Wang, B., 2013, Chapter 2: Cross laminated timber manufacturing, Karacabeyli, E., Douglas, B., *Pointe-Claire*, QC, 2-17.
- Landreman A., 2017, “Introducing Cross Laminated Timber”, The Wood Products Council, *Wisconsin*, United States, 38
- 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., 2016, “Design and Behavior of a Mid-Rise Cross-Laminated Timber in Russia”, Msc thesis, *Colorado School of Mines Environmental and Civil Engineering Faculty*, Golden, CO.
- Lindt, S., Pei, S., Popovski, M., 2013, Approximate R-Factor for Cross-Laminated Timber Walls in Multistory Buildings, *Journal of Architectural Engineering*, 19(4), 246.
- Mohammed, M., 2011, Connections in CLT Assemblies, *UMass Wood Structures Symposium Amherst*, Massachusetts.
- NDS-2018, 2018 “National Design Specification for Wood Construction ASD/LFRD” American Wood Council, Lesburg, VA.
- Nolan, G., 2010, "Opportunities and constraints for timber in non-residential construction in Australia." World Conference Timber Engineering (WCTE), Italy.
- Patterson, D., 2014, “Completed 10-Storey Apartment in Australia: Forte from an Owner/Developer Perspective”, *Wood Works or the Softwood Lumber Board*, Washington, DC.
- Pavlyukovskiy, A., 2012, “Using of Cross Laminated Timber in Russia”, Undergraduate thesis, *Lappeenranta Double Degree Programme in Civil and Construction Engineering*, Saimaa University of Applied Sciences Technology, Russia, (2-50)
- Poirier, A., 2017, Étude des panneaux CLT en utilisation murs-planchers et modélisation aux éléments finis, Msc thesis, *Institut National Des Sciences Appliquées*, Rennes, Fransa.
- Popovski, M., Schneider, J., Schweinsteiger, M., 2010, Lateral Load Resistance of Cross-Laminated Wood Panels, World Conference on Timber Engineering, Trentino, Italy.
- RF-Laminate Program Description guide, 2016.
- Stora Enso, 2015, Wood Products Building Solutions, Helsinki, Finland.

TBDY, 2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı için Esaslar, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.

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/en/latest/blog/cross-laminated-collaboration>[Ziyaret Tarihi: 12.02.2019]

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, <http://www.klhuk.com/portfolio/education/open-academy,-norwich.aspx#>[Ziyaret Tarihi: 08.03.2019]

URL- 8, <http://www.schankula.com/projekte.html>[Ziyaret Tarihi: 13.04.2019]

URL- 9, <http://www.eurban.co.uk/project/bridport-house/>[Ziyaret Tarihi: 13.04.2019]

URL- 10, <http://www.rossiprodi.it/?project=social-housing-via-cenni-2>[Ziyaret Tarihi: 15.05.2019]

URL- 11, <https://www.naturallywood.com/resources/introduction-brock-commons-ubc-tall-wood-building>[Ziyaret Tarihi: 18.04.2019]

URL- 12, <http://thewoodcreative.com/about--the-wood-creative.html>[Ziyaret Tarihi: 05.02.2019]

Waugh Thistleton Architects, 2018, 100 Projects UK CLT, *Canada*, 68-70

Zumbrunnen, P., 2013, Multi-Story residential CLT-Buildings – the UK's experience and future potenal, 3. *Internationales Forum*, 6-8.