



## Ahşap Yeşil Ev Konsepti Tasarımına Özgün Yaklaşımlar

Yeliz ÖZTÜRK<sup>1\*</sup> , Mustafa ALTUNOK<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Hittit Üniversitesi, İskilip Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü, İç Mekân Tasarımı Programı, Çorum, Türkiye

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği, Ankara, Türkiye

### Makale Bilgisi

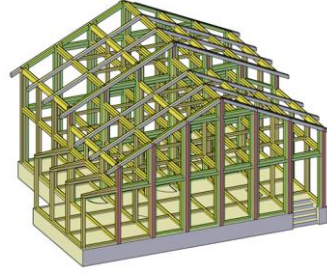
Araştırma makalesi  
Başvuru: 05/06/2024  
Düzeltilme: 20/06/2024  
Kabul: 01/07/2024

### Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract)

Bu çalışmada Ahşap Yeşil Ev Konsepti tasarımına özgün yaklaşımlar geliştirilmeye çalışılmıştır. / In this study, an attempt was made to develop original approaches to the Wooden Green Home Concept design.

### Anahtar Kelimeler

Ahşap Yeşil Ev Konsepti,  
Kertme Birleştirme,  
Kertme Gövdeli Kolon-  
Kiriş,  
Yaşamsal Modül Hücre,  
Modüler Tasarım.



### Article Info

Research article  
Received: 05/06/2024  
Revision: 20/06/2024  
Accepted: 01/07/2024

### Keywords

Wooden Green Home  
Concept,  
Notched Jointing,  
Notched Body Column-  
Beam,  
Vital Module Cell,  
Modular Design

Şekil A: Ahşap yeşil ev konstrüksiyonu / Figure A: Wooden green home construction

### Highlights (Önemli noktalar)

- İklim değişikliğinin etkilerinin azaltılmasına yönelik sürdürülebilir ahşap yeşil ev tasarımı geliştirilmesi. / Developing a sustainable wooden green home design to reduce the effects of climate change.
- Ahşap yeşil evin taşıyıcı düzlem çerçeve sistem elemanlarında ortaya çıkan zorlanmalar. / Strains occurring in the load-bearing plane frame system elements of a wooden green home.
- Modüler bir prototip tasarımı ile Ahşap Yeşil Evin kolay uygulanabilirliğinin ortaya koyulması. / Demonstrating the easy applicability of the wooden green home with a modular prototype design.

**Amaç (Aim):** Bu çalışmada, yerli ağaç türü Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) lamine kereste kullanılarak bir Ahşap Yeşil Ev Konseptinde prototip tasarımına modüler yaklaşımlar ve imalat konstrüksiyonuna özgün teknikler geliştirmeye çalışılmıştır. / In this research, an attempt was made to develop modular approaches to prototype design and unique techniques for manufacturing construction in a wooden green home concept using the native tree species Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) laminated timber.

**Özgünlük (Originality):** Çalışma ahşap malzemenin, ahşap yeşil ev tasarımında ve üretiminde güvenilirlik, sürdürülebilirlik, ekolojik, verimlilik, kolaylık, düşük temel yükü ve maliyetler gibi avantajlar sunduğunu göstermiştir. / The study showed that wood material offers advantages such as reliability, sustainability, ecology, efficiency, convenience, low foundation load and costs in the design and production of wooden green home.

**Bulgular (Results):** Tasarım yaklaşımları ve konstrüksiyon tekniklerinin sağladığı avantajlar ile ahşap, özellikle yatay mimarinin yapı konstrüksiyonunda en uygun malzemeler listesinin önde geleni olarak önerilebileceği saptanmıştır. / It has been determined that wood can be recommended as the leading material in the list of the most suitable materials, especially in horizontal architecture, with the advantages provided by design approaches and construction techniques.

**Sonuç (Conclusion):** Deneysel taşıma kuvvetleri, dirençleri ve ankastrel momentleri, ön kabul ile belirlenmiş en-kesitli kolon-kiriş elemanlarına gelen ahşap yapı tasarım gerekli yüklerine göre 1,7 ila 7,4 kat daha güçlü ve yeterli olduğu belirlenmiştir. Böylece, yatay mimaride ahşap ev, materyal olarak ahşabın güvenli bir şekilde kullanımın önerilebileceği tespit edilmiştir. / It has been determined that these experimental bearing forces, resistances and anchoring moments are 1.7 to 7.4 times stronger and more sufficient than the wooden structure design required loads on the cross-sectional column-beam elements determined by the assumption. Thus, it has been determined that the safe use of wood as a material can be recommended for wooden building uses in horizontal architecture.



## Ahşap Yeşil Ev Konsepti Tasarımına Özgün Yaklaşımlar

Yeliz ÖZTÜRK<sup>1\*</sup>, Mustafa ALTUNOK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hitit Üniversitesi, İskilip Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü, İç Mekan Tasarımı Programı, Çorum, Türkiye

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği, Ankara, Türkiye

### Makale Bilgisi

Araştırma makalesi  
Başvuru: 05/06/2024  
Düzeltilme: 20/06/2024  
Kabul: 01/07/2024

### Anahtar Kelimeler

Ahşap Yeşil Ev Konsepti,  
Kertme Birleştirme,  
Kertme Gövdeli Kolon-  
Kiriş,  
Yaşamsal Modül Hücre,  
Modüler Tasarım.

### Özet

Bu çalışmada, yerli ağaç türü sarıçam (*Pinus Sylvestris L.*) lamine kereste kullanılarak bir Ahşap Yeşil Ev Konseptinde prototip tasarımına modüler yaklaşımlar ve imalat konstrüksiyonuna özgün teknikler geliştirmeye çalışılmıştır. Bu maksatla, önce önkabul ile belirlenen 15 x 30 cm en-kesitli iki katmanlı lamine kolon ve kirişlerden düzlem çerçeve taşıyıcılı, ahşap zemin-tavan örtü ve duvar panelli dubleks bir prototip ev tasarlanmıştır. Tasarımda uluslararası M10 modülü ve onun katları olan 18M ile optimum yerleşim planı (modül yaşam hücrelerinden oluşan), 18M x 27M ile ideal bir mekân yüksekliği kurgulanmıştır. Bu prototipin temel taşıyıcıları düzlem çerçevelerden düşünülmüş ve inşaat mühendisliği teknik ve teknolojik kurallarına göre yapı yükü, kolon-kiriş elemanlarının ve bunların düğüm noktalarının yeterliliği teorik olarak hesaplanmıştır. Daha sonra taşıyıcı düzlem çerçeve elemanlarının 1/5 ölçeğinde örnekler hazırlanarak, gerçek yapıdaki zorlanmaları temsil edecek testler uygulanarak, bu örneklerde maksimum taşıma kuvveti, maksimum dirençler ve düğüm noktalarında ankastrilik momentler belirlenmiştir. Bu deneysel taşıma kuvvetleri, dirençleri ve ankastrilik momentleri, ön kabul ile belirlenmiş en-kesitli kolon-kiriş elemanlarına gelen ahşap yapı tasarım gerekli yüklerine göre 1,7 ila 7,4 kat daha güçlü ve yeterli olduğu belirlenmiştir. Böylece, yatay mimaride ahşap ev, materyal olarak ahşabın güvenli bir şekilde kullanımın önerilebileceği tespit edilmiştir.

## Unique Approaches to Wooden Green Home Concept Design

### Article Info

Research article  
Received: 05/06/2024  
Revision: 20/06/2024  
Accepted: 01/07/2024

### Keywords

Wooden Green Home  
Concept,  
Notched Jointing,  
Notched Body Column-  
Beam,  
Vital Module Cell,  
Modular Design

### Abstract

In this research, an attempt was made to develop modular approaches to prototype design and unique techniques for manufacturing construction in a wooden green home concept using the native tree species scots pine (*Pinus Sylvestris L.*) laminated timber. For this purpose, a duplex prototype building was first designed with a 15 x 30 cm cross-section, two-layer laminated columns and beams, a plane frame carrier, wooden floor-ceiling covering and wall panels. In the design, an optimum layout plan (consisting of module living cells) with the international M10 module and its multiples 18M, and an ideal space height of 18M x 27M was created. The foundation carriers of this prototype were considered as plane frames, and the structure load, the adequacy of the column-beam elements and their nodes were calculated theoretically according to the technical and technological rules of civil engineering. Then, 1/5 scale samples of the load-bearing plane frame elements were prepared and tested to represent the strains in the real structure, and the maximum bearing force, maximum resistances and anchored moments at the nodes were determined in these samples. It has been determined that these experimental bearing forces, resistances and anchoring moments are 1.7 to 7.4 times stronger and more sufficient than the wooden structure design required loads on the cross-sectional column-beam elements determined by the assumption. Thus, it has been determined that the safe use of wood as a material can be recommended for wooden building in horizontal architecture.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünyada yaşanan çevre sorunları karşısında çözüm arayışları ve yeni yönelimler yoğun bir biçimde tartışılmaktadır. Çevre kirliliğini en aza indirecek, insan sağlığına uygun ortam şartlarını sağlayacak ve ekolojik dengeyi koruyan yapılara yönelik eleman ve malzeme seçimi mimarinin temel hedefleri

arasında yer almaktadır [1]. Sürdürülebilirlik, bir kaynağın sonsuza kadar tüketilmemesi, bitmemesi veya yok edilmemesi için işlenme veya kullanılma şeklidir [2]. Çevresel sürdürülebilirlik; kaynakların kullanım düzeyini, bu kaynakların kendini yenileme hızını; salınan kirleticilerin oranını, doğal kaynakların bu kirleticileri işleme tabii tutma hızını

aşması ve doğal kaynakların sürekliliğinin sağlanmasıdır [3].

Ahşap, ekolojik tasarım kriterleri ile uyuşan bir malzemedir [1]. Ahşap malzeme; doğal, yenilenebilir, estetik, maliyet etkin, geri dönüşümü kolay, düşük karbon emisyonu ve karbonu depolayabilme gibi özelliklerinden dolayı sıklıkla tercih edilmektedir [4]. Yapılan ekolojik tasarımlar ile kaynak kullanımının tükenmemesi, oluşacak atıkların doğaya zarar vermeden kaybolması, malzemelerin ulaşımında ve uygulanmasında gürültü ve hava kirliliğine sebep olmadan sürdürülebilir mekanlar oluşturulması temel önceliktir [5].

Sürdürülebilir mekanlar olan yeşil binalar, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelen, atık suların geri kazanımını sağlayan, gün ışığından olabildiğince faydalanan, etkin ısı yalıtımı olan ve yapının gerekli enerjiyi kendisinin ürettiği binalardır [6]. Yeşil binalar, yapının arazi seçiminden başlayarak yaşam döngüsü çerçevesinde değerlendirilerek, bütüncül bir anlayışla, sosyal ve çevresel sorumluluk anlayışıyla tasarlanan, iklim verilerine ve o yere özgü koşullara uygun, ihtiyacı kadar tüketen, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiş, doğal ve atık üretmeyen malzemelerin kullanıldığı, ekosistemlere duyarlı ve sürdürülebilir yapılar olarak tanımlanmaktadır [7]. Yeşil binalar, çevresel etkileri büyük ölçüde enerji ve su tasarrufu önlemleri yoluyla ve inşaat alanına yönelik yerel etkileri sınırlandırarak en aza indirir [8].

Ahşap yeşil ev, yapı malzemesi olarak ahşabın kullanıldığı, doğal kaynakları verimli kullanabilecek şekilde tasarlanan, inşa edilen, yenilenen ve işletilen yapılardır [9]. Ahşabın diğer yapı malzemelerinin yerine kullanılması, iklim değişikliğini azaltmaya yönelik ileriye dönük olarak giderek daha fazla kabul görmektedir [10]. Ahşap ürünlerin daha az yenilenemeyen yakıt gerektirdiğini ve yaşam döngüleri boyunca alternatif malzemelere göre daha az sera gazı yaydığını gösteren araştırmalar sonucunda ahşap yeşil ev kullanımına yönelik ilgi giderek artmaktadır [11].

Bu çalışma ile yatay mimarinin en yaygın uygulaması olan müstakil iki katlı konut yapısının doğal ve ekolojik yapı malzemesi olan ahşaptan "yeşil ev" konsepti ilke ve esaslarına göre tasarlanması, planda ve yapı elemanlarında modüler bir prototip tasarımının geliştirilmesiyle konstrüksiyon ve mekanik analizleri yapılarak yapının uygulanabilirliği ortaya konacaktır.

Böylece ahşabı tercih edilebilir bir yeşil yapı malzemesi unsuru haline getiren ahşap yeşil ev konsepti tasarımına özgün yaklaşımların ortaya koyulması amaçlanmıştır.

Mimari yapılarda ahşap malzemelerin kullanımının artması enerji verimliliği oluşturarak ülke ekonomisine ek bir katkı sağlanmasına neden olacaktır. Ahşap malzemelerle yapılan ahşap yeşil ev tasarımları; yapıların enerji tüketimi, çevre sağlığı, küresel ısınmanın etkilerinin azaltılması, doğal kaynakların korunması ve kullanımı açısından önemli bir yer tutmaktadır. Günümüzde küresel ısınmanın giderek arttığı ve kaynakların hızla azaldığı bir dünyada ahşap yeşil ev mimarisinin yaygınlaşması çevresel sorunların azalmasına, çevre ve toplum sağlığının korunmasına önemli bir katkı sunacaktır. Bu nedenle bu çalışmanın, bu alana yeni bir boyut getirerek ileride yapılacak mesleki çalışmalara ve uygulamalara önemli bilimsel katkı sağlayabileceği öngörülmektedir.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI (LITERATURE REVIEW)

İnşaat sektörü, nihai enerji tüketiminin %42'sini, toplam sera gazı emisyonlarının %35'ini, çıkarılan malzemelerin %50'sini ve su tüketiminin %30'unu etkilemektedir. Ahşap yapılar özellikle fosil bazlı yakıt ve malzeme tüketimini azaltarak veya ortadan kaldırarak CO<sub>2</sub> emisyonunu azaltma potansiyeline sahiptir [12]. Literatürde bu konuda birçok çalışma mevcuttur. Lippke ve ark. (2010) çalışmasında, tamamlanmış, beton duvar çerçeveli evden kaynaklanan emisyonlar, ahşap ürünlerde depolanan karbon dikkate alınmadan ahşap duvarlı evden %31 daha fazla olduğu, karbon depoları dahil edilmesiyle birlikte bu oranın %156 ulaştığı belirtilmiştir [13]. Salazar ve Meil'in (2009) çalışmasında, ahşabın yoğunlukla kullanıldığı evin üretiminde %52 daha az fosil yakıt tüketildiği ve tipik bir eve göre %33 daha az sera gazı salındığı saptanmıştır [11]. Duan'ın (2023) çalışmasında, çapraz lamine ahşap binaların daha düşük sera gazı emisyonları iklim etkisi dikkate alındığında, betonarme binaların termal kütesinden elde edilen sera gazı salınımına göre daha az olduğu bildirilmiştir [14]. Sütçü ve Cambazoğlu (2023) tarafından yapılan çalışmada, metal veya plastik esaslı prefabrik yapı elemanları yerine ahşap karkas yapılar kullanılarak kısa çözüm barınma ihtiyacına acil çözüm sunabilen modüler tasarıma sahip barınma alanlarının üretilebileceği belirtilmiştir [15].

Öztürk ve Aşkın'ın (2023) çalışmasında, sertifikasyon sistemlerinde yeşil bina olarak belgelenecek yapıların değerlendirilmesinde yer alan kriterlerle oluşturulan yapının istenen özelliklere uygun olarak inşa edildiğinde projelere maliyet, güneş ışınları, çevre ve insan sağlığı gibi diğer olanakların verimli kullanımı, daha iyi erişilebilirlik ve konforda artış gibi birçok olumlu katkısı olduğu bildirilmiştir [16]. Tavşan ve ark. (2022) çalışmasında endüstriyel ahşabın çok katlı ve geniş açıklıklı yapılarda kullanımı giderek yaygınlaştığı belirtilmiştir. Endüstriyel ahşapla inşa edilen yapıların karbon salınımı ve enerji tüketimini azaltması bakımından ekolojik olduğu bildirilmiştir [17]. Gül ve Güzelçoban'ın (2019) yapıldığı dönemin en yüksek ahşap yapısı olarak bilinen Norveç'teki "The Tree" yapısını incelediği çalışmada, yapısal ahşabın, beton ya da çelik gibi malzemelerden daha hafif olması, yüksek bir kütle-ağırlık oranına sahip olması, daha az karbon ayak izine sahip olması ve hızlı üretilebilme yeteneğinden dolayı tercih edildiği bildirilmiştir [18].

Bayar ve Atılgan (2015) tarafından yapılan çalışmada, yeşil ev tasarımında bina yapımı esnasında kullanılan malzemelerin doğa dostu ve geri dönüştürülebilir malzemelerden oluşması ve enerji analizi için yenilenebilir enerji kaynakları olarak elektrik için fotovoltaik güneş panellerinden, ısıtma ve soğutma için ısı pompası ve güneş kolektörü desteğinden, kullanım suyu için ise yağmur suyu depolama sisteminden faydalanılması gerektiği belirtilmiştir [19]. Bostancıoğlu ve Birer'in (2004) çalışmasında ahşap malzemenin, hafif ve farklı iklim koşullarına dayanıklı olması, özel boyalarla artırılan yangın direnci empenye edilerek çürüme ve böcek tahribatına karşı korunması, yapı söküldüğünde yeniden kurulabilmesi, onarım ve plan değişikliğinin kolay olması, enerji dostu ve depreme dayanıklı olması, çelik, beton, taş ve kerpiçle mükemmel bir uyum içerisinde kullanılabilmesi gibi özelliklerinin tüm ekolojik tasarım kriterleri ile uyduğu ifade edilmiştir [1]. Petersen ve Solberg (2002) tarafından yapılan çalışmada, çelik kirişlerin üretimindeki toplam enerji tüketimi, lamine ahşap kirişlerin imalatına göre iki ila üç kat, fosil yakıt kullanımı ise altı ila 12 kat daha fazla olduğu ve lamine ahşap kiriş üretiminin, çelik kiriş üretiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının beşte biri olduğu belirtilmiştir [20]. Khamsını ve ark. (2019) tarafından yapılan araştırmada ahşap kirişlerin 1/3 oranındaki örneklerde kalıcı sehim miktarı incelenmiş, lamine ahşap kirişler ile kертme gövdeli kirişlerde kalıcı sehim daha az görüldüğünden bina yapımında tercih edilebileceği bildirilmiştir [21].

Kütükcü (2019) tarafından yapılan yüksek lisans tezinde, meşe ve çam olmak üzere iki farklı türde ahşap kullanılmış, 1/5 ölçekli olarak ahşap çerçeve sistemli iki katlı ev modeli tasarlanmış ve dört grup ahşap çerçeveli ev numunesi üretilmiştir. Her grup çerçeve ahşap ev numuneye önden ve yandan olmak üzere yanal yükleme deneyi yapılmıştır. Deneyler sonucunda ahşap taşıyıcı düzlem çerçevelerin yüksek mukavemete sahip olduğu ve deneyler sırasında çerçevelerin tamamen göçüğe uğramayıp taşıma özelliğini devam ettirdiğinden, ahşap çerçeve sistemlerin yapı tasarımında ve imalatında kullanılabileceği önerilmiştir [22].

### 3. MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

#### 3.1. Materyal (Materials)

Bu çalışmada, yapısal ahşap sanayisinde ve ağaçları endüstrisinde yaygın olarak kullanılan iğne yapraklı ağaç türlerinden sarıçam (*Pinus Sylvestris L.*) odunları, lamine edilerek kullanılmıştır. Kerestelerin I. sınıf, düzgün lifli, ardaksız, budaksız ve diri odundan olmasına özen gösterilmiştir. Ahşap malzemenin laminasyonunda nem kürlenmeli DIN/EN 204 standartlarında D4 özellikli poliüretan tutkalı (PUR) tutkalı kullanılarak 30 x 60 mm en kesitinde ve tasarımda yer aldığı kolon kiriş ölçülerinde TS 386'ya göre lamine edilmiştir [23].

#### 3.2. Deney Örneklerinin Hazırlanması (Preparation of Test Samples)

Deney numunelerinin hazırlanmasında Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Ağaçları Endüstri Mühendisliğinin atölyeleri kullanılmıştır. Deney örnekleri rastgele yöntemle temin edilen 1. sınıf Sarıçam keresteden çatksız, budaksız, ardaksız, düzgün lifli, yoğunluk ve renk farkı olmayan şekilde diri odun kısımlarından TS ISO 3129 [24] ve TS 53 [25] standartlarına göre hazırlanmıştır. Lamine işlemi yapılırken her bir 30 mm kalınlıktaki tabakaya suya ve neme karşı dayanıklı, poliüretan esaslı PUR tutkalı metrekaeye 150 gram hesabına göre sürülmüştür.

Piyasada standart kereste olarak bulunan 15 x 15 cm en kesitindeki çeşitli boylarda üretilen sarıçam keresteleri temsil eden iki katmanlı 3 x 6 cm en kesitli lamine kolon ve kiriş elemanları elde edildi. Bu elemanlardan ahşap evin taşıyıcı çerçeve sistemleri geliştirildi. Standart kerestelerin boyları en fazla 5,5 m ya da 6 m'dir. 8 m'lik düşey kolon elemanlarını boy ekleyerek oluşturuldu. Kiriş elemanları ise eksiz tek parçadır. Deney örneklerinin boyutları 1/5 ölçekli olarak

küçültülmüştür. Numuneler standartların ön gördüğü ölçüde kesilmiştir. Hazırlanan deney örnekleri iklimlendirme odasında 20°C sıcaklık ve %65 nispi nem şartında değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiş, her bir deney örneği teker teker kabinden alınarak üniversal test cihazında tüm test ve ölçümler uygulanmıştır.

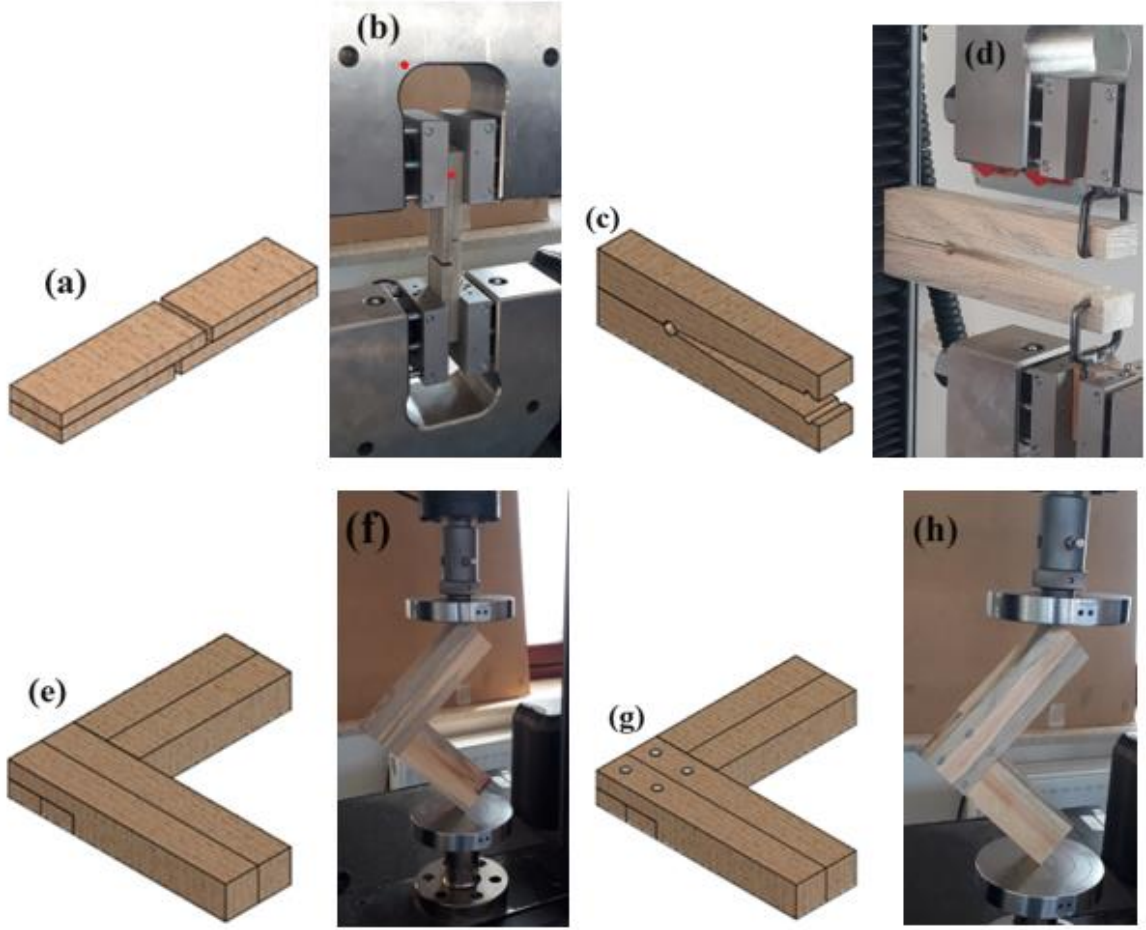
### 3.3. Deney ve Ölçümler (Experiments and Measurements)

Ahşap ev konstrüksiyonunda, taşıyıcı olarak düzlem çerçeve sistemi biçiminde öngörülerek

taşıyıcı çerçeveler 18M modül (18 x 10 = 180 cm) sistemi esas alınarak tasarlanmıştır (Şekil 4). Yapının yük hesaplamalarında, düzlem taşıyıcı çerçeve elemanları ve elemanların birleşim yerlerindeki zorlanmaları temsil eden deney örnekleri bu çerçeve sistemin belli kısımları dikkate alınarak hazırlanmıştır. Deney örneklerine, Tablo 1’de verilen testler TS EN 205 [26], TS 2595 [27], TS 647 [28], TS ISO 13061-3 [29], TS ISO 13061-4 [30] ve TS 2478’e [31] uyularak (Şekil 1, Şekil 2, Şekil 3) uygulanmıştır.

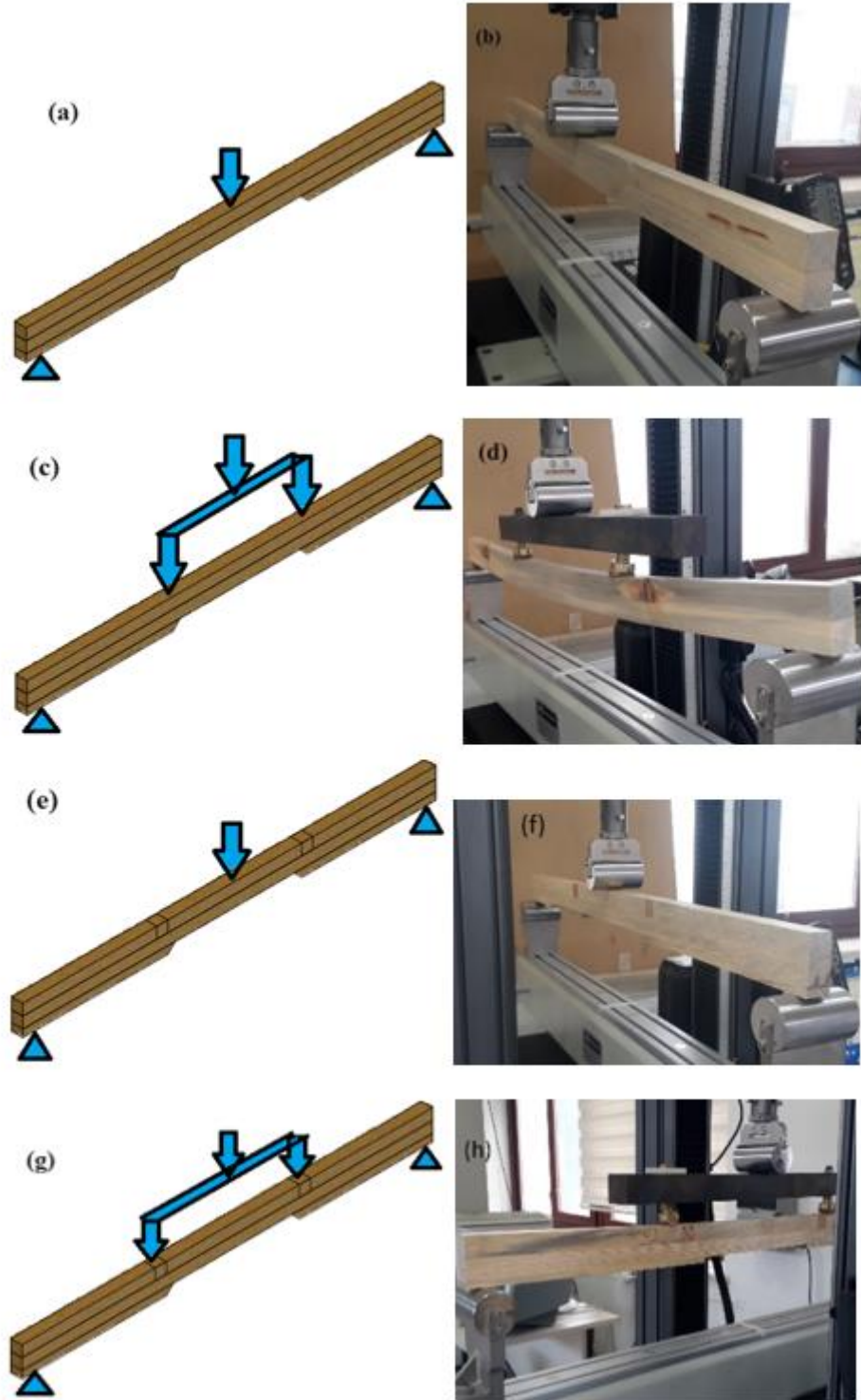
**Tablo 1.** Taşıyıcı ahşap düzlem çerçeve elemanlarına uygulanan testler (Tests applied to load-bearing wooden plane frame elements)

Mekanik Özellikler	Örnek Ölçüleri (mm)	Örnek Sayısı (n)	Standart Numarası
<b>Yapışma Direnci</b>			
Yapışma derzine paralel çekme direnci	15 x 30 x 150	10	TS EN 205
Yapışma derzinde ayırma çekmesi direnci	20 x 60 x 200	10	TS EN 205
Yapışma derzinde makaslama direnci	L tip 20 x 50 x 200	10	TS EN 205
<b>Eğilme Direnci</b>			
Dolu gövdeli 3 noktadan eğilme direnci	30 x 60 x 1140	10	TS ISO 13061-3,4 TS 2478
Dolu gövdeli 4 noktadan eğilme direnci	30 x 60 x 1140	10	TS ISO 13061-3,4 TS 2478
Kertme gövdeli 3 noktadan eğilme direnci	30 x 60 x 1140	10	TS ISO 13061-3,4 TS 2478
Kertme gövdeli 4 noktadan eğilme direnci	30 x 60 x 1140	10	TS ISO 13061-3,4 TS 2478
<b>Sütun Direnci</b>			
Dolu gövdeli sütun direnci	30 x 60 x 1230	10	TS 2595, TS 647
Kertme gövdeli sütun direnci	30 x 60 x 1230	10	TS 2595, TS 647

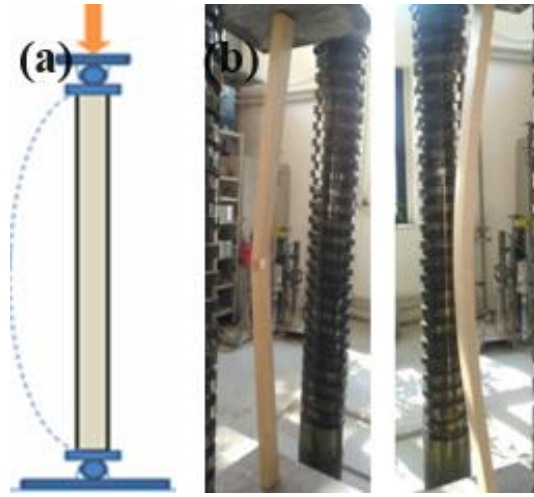


**Şekil 1.** Liflerine paralel çekme zorlamasında yapışma direnci tespiti: (a) Deneş numunesi, (b) Deneş düzeneği. Ayırma çekme zorlamasında yapışma direnci tespiti: (c) Deneş numunesi, (d) Deneş düzeneği. Diyagonal basınç zorlamasında yapışma (*makaslama*) direnci tespiti: (e) Metal bağlantısız deneş numunesi, (f) Deneş düzeneği ve (g) Metal bağlantılı deneş numunesi, (h) Deneş düzeneği (Determination of adhesion resistance under tensile stress parallel to its fibers: (a) Test sample, (b) Test setup. Determination of adhesion resistance under separation tensile stress: (c) Test sample, (d) Test setup. Determination of adhesion (*shear*) resistance under diagonal compressive stress: (e) Test sample without metal connection, (f) Test setup and (g) Test sample with metal connection, (h) Test setup)





**Şekil 2.** Dolu gövdeli kirişlere üç noktadan eğilme direnci tespiti: (a) Deneysel numune, (b) Deneysel düzeneği. Dolu gövdeli kirişlere dört noktadan eğilme direnci tespiti: (c) Deneysel numune, (d) Deneysel düzeneği. Kertme gövdeli kirişlere üç noktadan eğilme direnci tespiti: (e) Deneysel numune, (f) Deneysel düzeneği. Kertme Gövdeli Kirişlere Dört Noktadan Eğilme Direnci Tespiti: (g) Deneysel numune, (h) Deneysel düzeneği (Three point bending strength determination of solid beams: (a) Test sample, (b) Test setup. Four point bending strength determination of solid beams: (c) Test sample, (d) Test setup. Three-point flexural strength determination of notched web beams: (e) Test sample, (f) Test setup. Four-point bending strength determination of notched web beams: (g) Test sample, (h) Test setup)



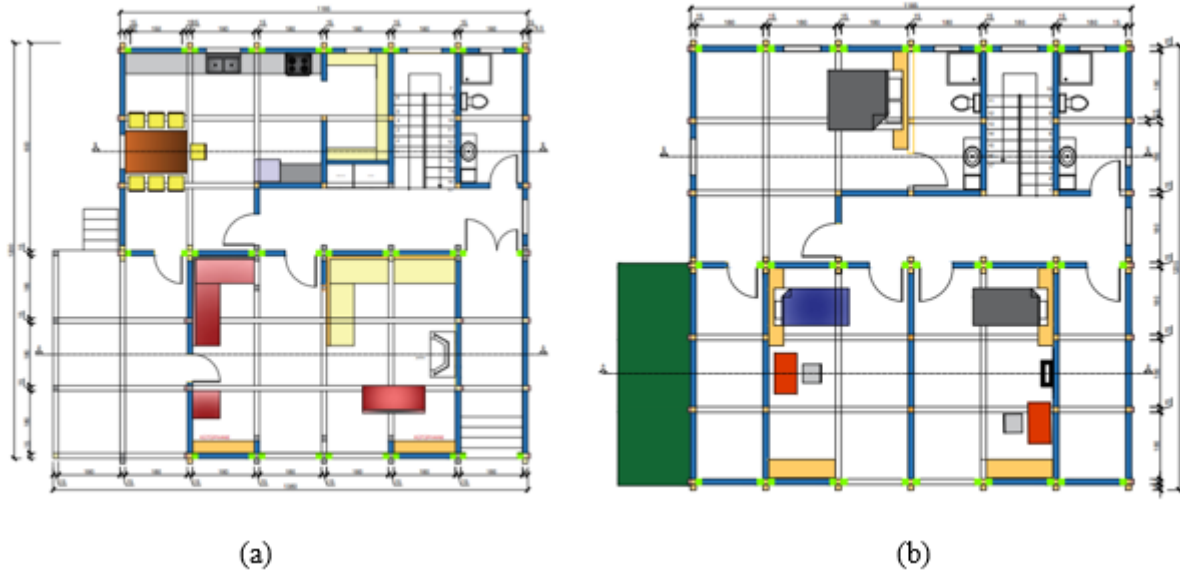
Şekil 3. Sütun direnci tespiti: (a) Deney numunesi, (b) Deney düzeneği (Column resistance determination: (a) Test sample, (b) Test setup)

#### 4. AHŞAP YEŞİL EV KONSEPTİ TASARIM SÜRECİ (WOODEN GREEN HOUSE CONCEPT DESIGN PROCESS)

Günümüz dünyasında çevreci yaklaşım kavramları ile anlamlandırılan yaşamın konforlu mekânı Ahşap Yeşil Evler olarak ifade edilmektedir. Bu tanımlamanın birçok haklı gerekçeleri vardır. Bu haklı gerekçelerin bazıları; ahşap materyalin doğal, sürdürülebilir, ucuz, kolay işlenebilen ve geri dönüşümlü olması, yatay mimariye en uygun örnek olması, temele gelen özyük bakımından en hafif olması nedeniyle düşük maliyet gerektirmesi, düşük karbon salınımı gibi birçok fayda ve avantaj sıralanabilmektedir. Bu noktalardan hareketle, çekirdek bir ailenin konforlu bir yaşam

sürdürebileceği, iki katlı yatay bir yapı tasarlanarak araştırma çalışması başlatılmıştır.

Ahşap Yeşil Ev tasarımında, zemin katın yaşam alanlarından, üst katın (birinci kat) yatak ve yardımcı servis alanlarından oluşması esas alınmıştır. Bu alanların tasarımında ise günlük yaşam faaliyetleri esas alınarak, alan – fonksiyon – ölçü gereklilikleri ilişkisi kurulmuştur. Bu noktada, yerleşim planı modüler bir sisteme oturtulup, en küçük yaşamsal modül hücre uluslararası M10 modülün 18 katı olan 180 x 180 cm'lik bir modül alan olarak kabul edilmiştir. Bu kurgu ile aşağıda yer alan zemin kat ve birinci kat yerleşim planları tasarlanmıştır (Şekil 4).

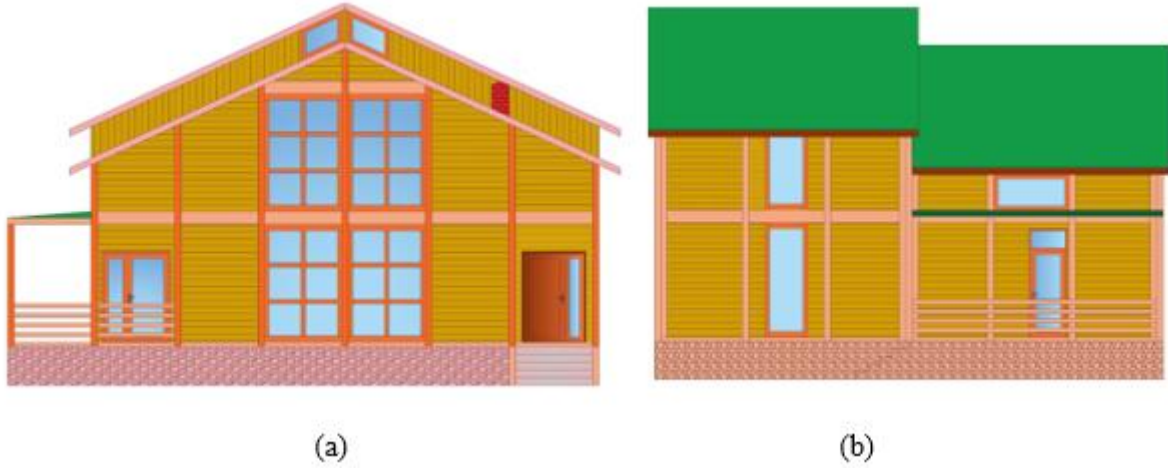


Şekil 4. (a) Zemin kat yerleşim planı, (b) Birinci (üst) kat planı ((a) Ground floor layout plan, (b) First (upper) floor plan)



En küçük yaşamsal modül hücre (180x180 cm), merdiven boşlukları, banyo ve tuvalet gibi dar alanlarda hem ilgili aksesuarların yerleştirilmesi hem de sirkülasyon rahatlığı sağlayacak kadar yeterli olması istenmiştir. En küçük yaşamsal modül hücrenin oluşturulmasında tasarımın el kitabı kabul edilen Neufert'te [32] bildirilen en az 3M bir insan genişliği 1M taşınan eşya genişliği, bir bu kadar da karşılaşan kişi için mesafe ihtiyacı ve 1M de ara boşluk ihtiyacı olmak üzere toplam  $3M+1M+1M+3M+1M=9M$  ( $180 / 2 = 90$  cm) bir merdiven kolu ölçüsü olarak esas alınmıştır. Aynı gereksinim banyo ve tuvalet gibi dar mekânlar için de geçerli olacağı düşünülmüştür.

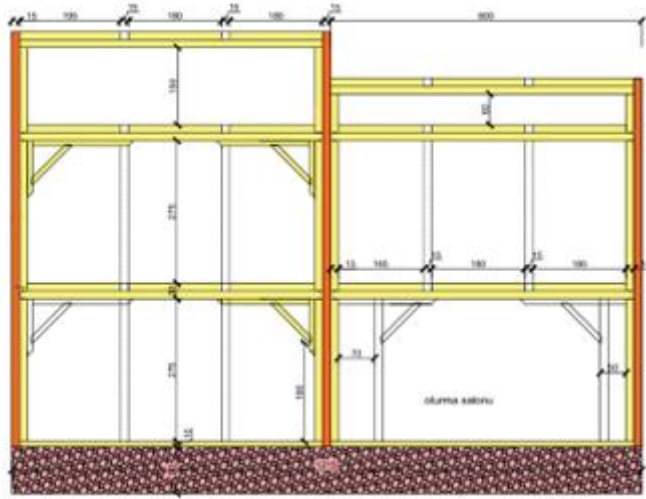
En küçük yaşamsal modül hücre (180 x 180 cm), alan ve mekanların tasarımında esas alındığı gibi, Ahşap Yeşil Evin üretiminde de modül oluşturması kurgulanmıştır. Ahşap yapının tüm taşıyıcı düzlem çerçeveleri, zemin ve tavan örtü panelleri 18M'lik modül hücreye göre şekillendirilmiştir. Tüm duvar panelleri ve pencere açıklıkları 18M x 27M'lik modüle göre oluşturulmuştur (Şekil 5). Ahşap Yeşil Evin bu haliyle, üretim birimlerinde modül halinde üretilebilirliği, elemanlar halinde sahaya taşınabilirliği ve vida, somun-cıvata ve tutkallı unsurlarla sahada montajı sağlanabilirliği bir tasarım (proje) olarak kurgulanmıştır. Tüm yapı elemanları ahşaptan düşünülmüştür. Farklı malzeme olarak sadece vida-somun-cıvata gibi bağlantı unsurları (metal) projede yer almaktadır.



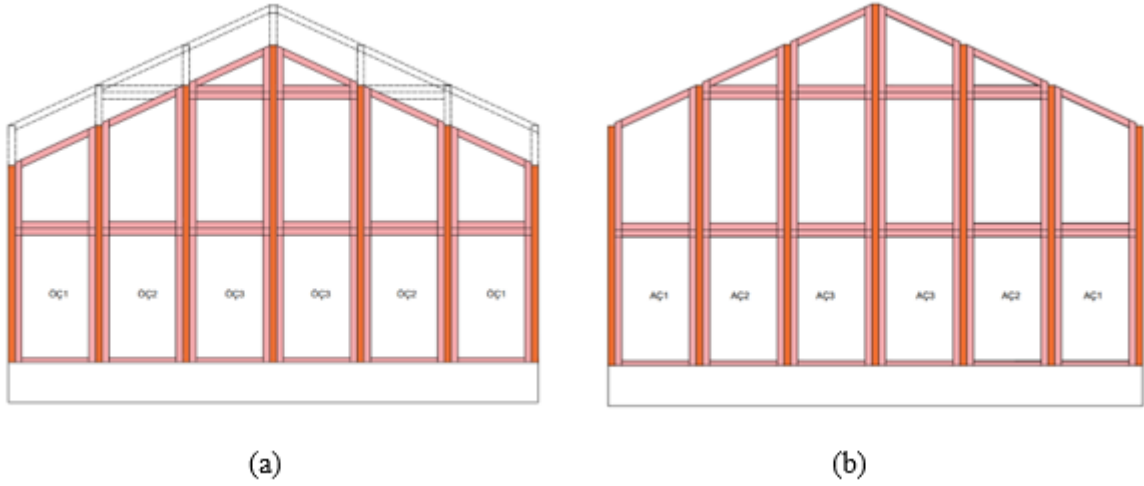
Şekil 5. (a) Ahşap yeşil ev ön cephe görünüşü, (b) Ahşap yeşil ev sol yan cephe görünüşü ((a) Wooden green house front elevation view, (b) Wooden green house left side elevation view)

Yapının ana taşıyıcı düzlem çerçeveleri ve ara çerçevelerinde de bir modülasyon kurgu mevcuttur. Yapının ön ve arka kısmını oluşturan ana taşıyıcı ve bunların ara bağlantılarını sağlayan ara çerçevelerde yatay elemanlar (kirişler) aynı ölçü ve şekillendirmeye sahip, sadece kolon elemanların uzunluğu (yüksekliği) yapıda bulunduğu yere göre farklılık göstermektedir. Tüm kolonların zemin başlangıçları ve katlardaki ölçü ve şekillendirmesi birbiri ile aynıdır. Sadece üst bitiş uç ölçüleri çatı eğimini oluşturmak üzere farklıdır. Çerçeveyi oluşturan düşey ve yatay elemanların en-kesit ölçüleri 15 x 30 cm olarak öngörülmüştür. Bu

elemanlar da iki adet 15 x 15 cm'lik en-kesite ve yeterli uzunluğa sahip standart kerestenin tutkal ile birbirlerine laminasyon yöntemiyle yapıştırılarak elde edilmesi düşünülmüştür. Standart ölçülü kereste piyasada daha düşük fiyattan bulunabilirken, 15 x 30 cm en-kesitli kalas kereste özel imalat kabul edilip daha yüksek fiyata temin edilebilmektedir. Laminasyon tekniği ile tutkallı ahşap eleman oluşturma mukavemet bakımından yüksek avantajı olduğu gibi, çeşitli üretim kolaylıkları da bilinmektedir. Tasarımda lamine ahşap eleman tercihi bu avantaj ve kolaylıklar nedeni ile esas alınmıştır (Şekil 6, Şekil 7).



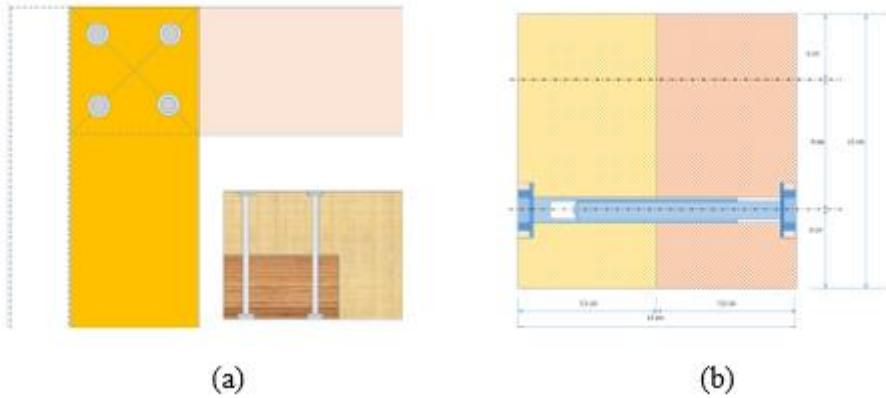
Şekil 6. Taşıyıcı düzlem çerçeveler (4 nolu ana taşıyıcı çerçeve) (Load-bearing plane frames (main bearing frame no. 4))



Şekil 7. (a) Ön plan ara çerçeveler (ÖÇ), (b) Arka plan ara çerçeveler (AÇ) ((a) Foreground intermediate frames, (b) Background intermediate frames)

Tüm çerçeveler modül elemanlardan meydana gelmekte ve çerçeve birleşim yerleri (düğüm

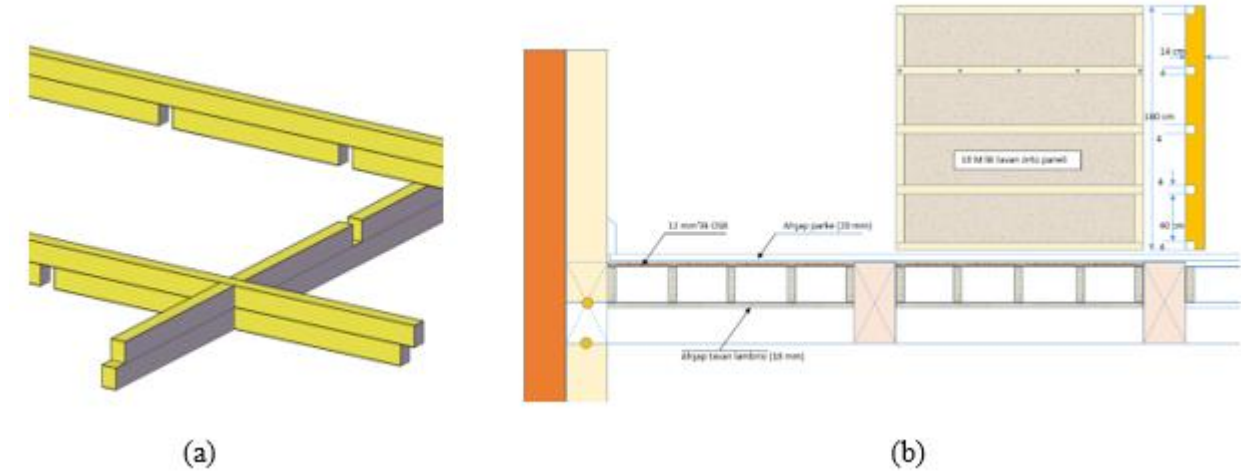
noktaları) kertme tutkallı ve cıvatalı birleştirme yöntemiyle oluşturulmaktadır (Şekil 8).



Şekil 8. (a), (b) Çerçeve kolon ve kiriş elemanları birleşim yeri (düğüm noktası) ((a), (b) Joint of frame column and beam elements (nodal point))

Ana taşıyıcı düzlem çerçevelerin kiriş elemanlarına açılan 15 x 15 cm'lik iki kertme kirişi yüksekliğin yarısına kadar üç eşit parçaya bölmekte ve kertmeler arası 180 cm mesafe ters kertmeli kontra

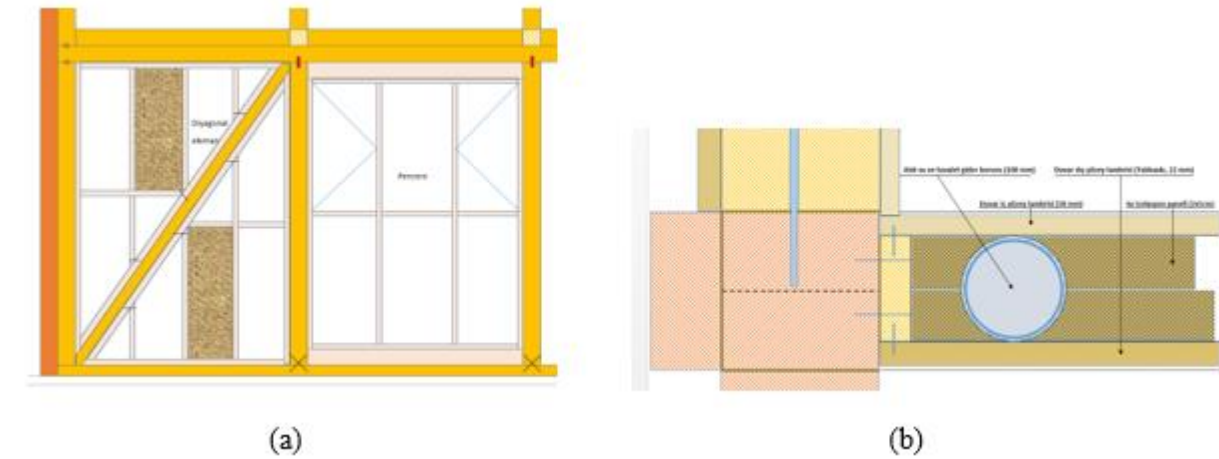
kirişler ile bölünerek modüler tavan, çatı örtü boşlukları oluşturulmaktadır (Şekil 9). Kirişlerdeki kertme birleştirme yapının yatay yöndeki rijitliğine katkı sağlayacaktır.



**Şekil 9.** (a) Kertmeli kontra kirişler, (b) Tavan örtü paneli uygulaması ((a) Notched counter beams, (b) Ceiling cover panel application)

Bu boşluklara işletmede modüler olarak üretilmiş örtü panelleri, elektrik vb. tesisat yönleri dikkate alınarak çerçeve dış kenar yüzeylerine tutkal uygulanarak vidalı yöntemle monte edilebilirliği öngörülmüştür. Zemin kat ve üst kattaki örtü panellerinin yerine montajından sonra (tüm su, gaz, elektrik, internet vb. sistem tesisatları yerleştirildikten sonra) yüzeye yapıştırma yöntemiyle ahşap parke uygulanacağı

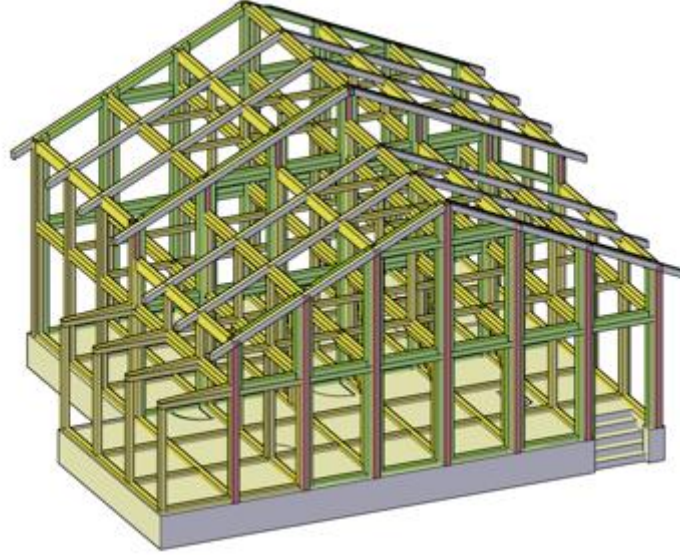
tasarlanmıştır. Yapının duvar panelleri 18M x 27M modül ölçülerinde (180 x 270 cm) işletmede imal edilip sahaya taşınabilir ve yerinde montajlanabilir özelliklerdedir. Her bir duvar ve tavan-çatı paneli projede işaretli pozisyon numarası ile kodlanması öngörülmektedir. Pozisyon numarası panellerin iç donatıları, tesisat sistemi ve diyagonal eleman içerme durumuna göre belirlenmiş olacaktır (Şekil 10).



**Şekil 10.** (a) Dış Duvar Izgarası ve İzolasyon Detayı, (b) Düzlem çerçevelerin birleşim detayı ve duvar ve örtü panelinde tesisat uygulaması ((a) Exterior Wall Grille and Insulation Detail, (b) Joint detail of plane frames and installation application on the wall and covering panel)

Ana taşıyıcı çerçeveler ile ara çerçevelerin birbirleri ile bağlantısının tutkallı birleşme ile gerçekleşmesi düşünülmüştür. Bu birleşmenin düzgün olması ve iş kancalar ile basınç uygulanması sırasında

çerçevelerin yapışma yüzeylerinin birbirinden kaymaması ve montaja kılavuzluk görevi yapmak üzere metal kavelalar yerleştirilmesi tasarlanmıştır.



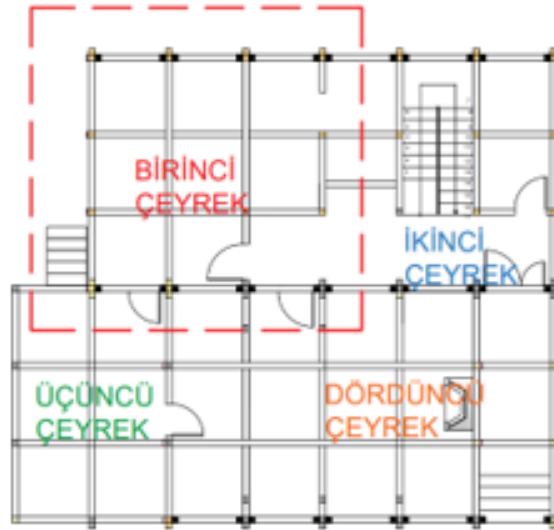
Şekil 11. Ahşap yeşil evin konstrüksiyonu (Wooden green home construction)

Yatay düzlemde modül ölçülerdeki zemin, tavan ve çatı örtü panelleri (180 x 180 cm), düşey düzlemde modül ölçülerdeki ana taşıyıcı düzlem çerçeveler, ara çerçeveler ve duvar panellerinin birleşim yerlerinde birbirleri ile uyum içerisinde olmaları işletmede imalat ve sahada montaj kolaylığı sağlaması, tasarım sürecinde temel ilke olarak hedeflenmiştir (Şekil 11). Ahşap Yeşil Ev Konsepti'nin bu kurgu üzerine tasarımı araştırmanın ilk aşamasını oluşturmuştur. Bu aşamadan sonra, tasarımı tamamlanmış olan ana taşıyıcı çerçevelerin, ara çerçevelerin, bunların elemanlarının en-kesitlerinin ve birleşim yerlerinin

yeterli sağlamlık sunup sunmadığı irdelenmiştir. Bu maksatla önce yapı yükü hesaplanmıştır.

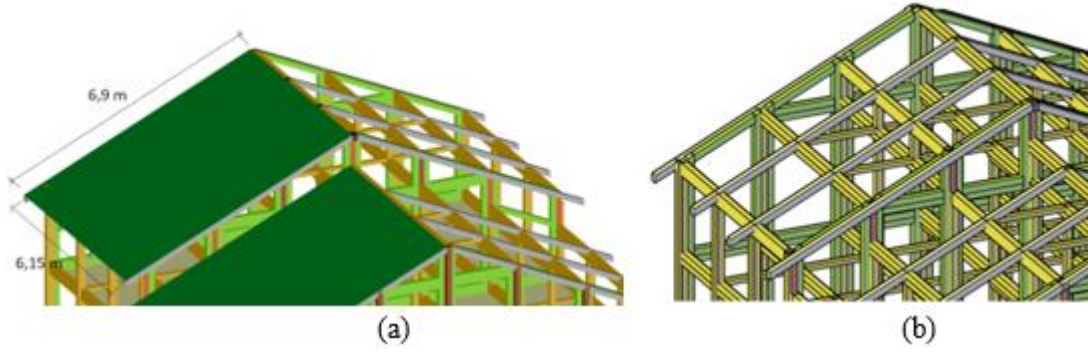
#### 5. TASARIM YÜKÜNÜN TEORİK HESABI (THEORETICAL CALCULATION)

Yapının çeyrekliliğini belirlemek için planda ön ve arka ana çerçevelerin birleştiği yatay eksen ve planın arka kısmında mutfak ve ıslak mekânların birleştiği düşey eksen esas alındığında simetrik yapı planının birinci çeyreği belirlenmiştir (Şekil 12).



Şekil 12. Ahşap yapının plandaki birinci çeyreği (First quarter of the wooden structure in plan)





**Şekil 13.** (a) Arka plan bir yan eğik çatı yüzeyi, (b) Strüktürü ((a) Background of a side-slope roof surface, (b) Structure)

Şekil 13'te yer alan arka plan bir yan eğik çatı yüzey alanı:  $A_1 = 6,15 \times 6,9 = 42,43 \text{ m}^2$  olarak hesaplanmıştır. Tablo 2'de ahşap çatı yükü ve

Tablo 3'te ise birim eğik çatı yükü hesap sonuçları yer almaktadır.

**Tablo 2.** Ahşap çatı yükü (ÇY) hesap sonuçları (Wooden roof load calculation results)

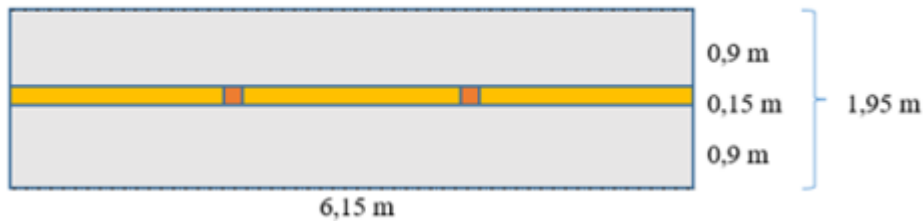
Ahşap Çatı Yükü (ÇY) Hesabı	
6 adet eğik kiriş yükü	513,00 kg
9 adet ızgara yükü	552,00 kg
OSB (kavak, 11mm, çift yüz)	280,00 kg
Cam yünü (8 cm)	51,00 kg
Şingil	764,00 kg
Membran (3 mm)	552,00 kg
İnsan (bakım – onarım)	365,00 kg
<b>Toplam Yük</b>	<b>3077,00 kg</b>

**Tablo 3.** Birim eğik çatı yükü hesap sonuçları (Unit inclined roof load calculation results)

Birim Eğik Çatı Yükü Hesabı	
Ahşap çatı birim yükü	73,00 kg/m <sup>2</sup>
Kar birim yükü	75,00 kg/m <sup>2</sup>
Rüzgâr birim yükü	60,00 kg/m <sup>2</sup>
<b>Toplam</b>	<b>208,00 kg/m<sup>2</sup></b>

Çatı eğimi ( $\beta$ ) = 20 derece (%34 eğim)  
Birim çatı yükü yatay etkisi hesabı:  $208,00 / 0,937$   
( $\cos 20$ ) = 222 kg / m<sup>2</sup>

4 numaralı orta çerçevede çatı yükünün eğilme etkisi ve kiriş yeterliliği hesabı:



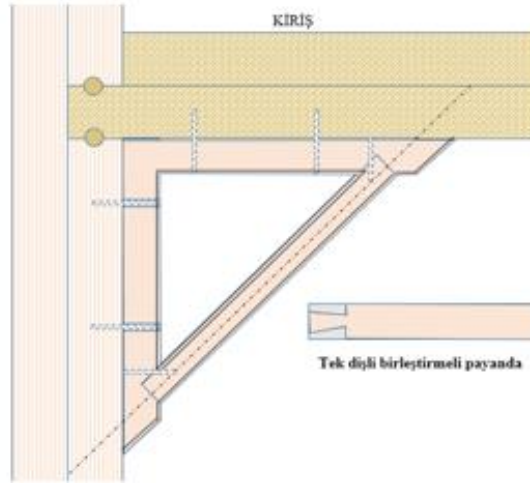
**Şekil 14.** 4 numaralı orta (ana taşıyıcı) çerçevenin çeyreği (Quarter of the middle (main carrier) frame number 4)

Tek çerçeve yük alanı (A) =  $6,15 \times 1,95 = 11,99 = 12 \text{ m}^2$

Tek çerçeve birim yükü (q) =  $12 \times 222 / 615 = 4,33 \text{ kg}$



Bu durumda 4 numaralı kirişe gelen maksimum yük:  $570 \times 4,33 = 2663 \text{ kg}$  olarak hesaplanır (Şekil 14).



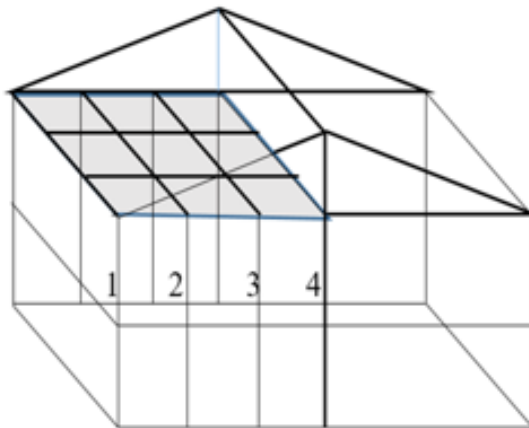
Şekil 15. Kolon kiriş birleşme yerinde payanda (Buttress at the column beam junction)

Taşıyıcı kirişlerin iki ucundan diyagonal payandalar ile desteklenerek (Şekil 15), hem çerçeve sistem elemanları birleşim yerlerinde rijitliği artırma, hem de kirişlerin mesnetler arası açıklıkları ( $L_k$ ) kısaltılarak mevcut en-kesitin eğilme direnci artırılması tasarlanmıştır. Buna göre, kiriş uzunluğu 615 cm iken iki ucundan 75 cm'lik iki diyagonal payanda ile desteklenmesi halinde destekler arası açıklık:

$$L_d = 555 - 150$$

$$L_d = 405 \text{ cm kalmıştır.}$$

$\sigma_e = M / W$  denkleminde eğilme analizi yapmak için önce yükün ankastrelik momenti gereklidir. Ankastrelik moment  $M_{AB-BA} = (q \times L^2) / 12$  denkleminde  $M_{AB-BA} = 59185,68 \text{ kg} \times \text{cm}$  olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan ankastrelik moment  $\sigma_e = M / W$  denkleminde yerine konarak 4 numaralı orta çerçeve kirişinde;  $\sigma_e = 26,3 \text{ kg/cm}^2$  lik bir eğilme gerilmesi belirlenir. I. sınıf Sarıçamdan tasarlanan taşıyıcı ana çerçevenin eğilme emniyet gerilmesi ( $\sigma_e$ ) = **130 kg/cm<sup>2</sup>** dir. Bu durumda  $130 > 26,3$  olduğundan çerçeve kirişi üzerine gelen yükü eğilmeden yaklaşık  $k = 5$  kat emniyetle karşılayabileceği hesaplanmış olur.



Şekil 16. Arka plan üst tavan yükü (Background upper ceiling load)

Arka planda yer alan diğer **1-2-3 numaralı taşıyıcı ana çerçeveler** aynı yapısal özellikte olduklarından bu hesaplama onlar için de geçerli olduğu kabul

edilmiştir (Şekil 16). Tablo 4'te arka plan üst kat tavan yükü hesap sonuçları yer almaktadır.

**Tablo 4.** Arka plan üst kat tavan yükü hesap sonuçları (Background upper floor ceiling load calculation results)

<b>Arka Plan Üst Kat Tavan Yükü Hesabı</b>	
4 adet ana taşıyıcı giriş yükü	608,00 kg
2 adet kontra giriş yükü	304,00 kg
9 adet ızgara yükü	534,00 kg
OSB (kavak, 11 mm, tek yüzey)	140,00 kg
Cam yünü (8 cm)	51,00 kg
Tavan lambri yükü	330,00 kg
<b>Toplam Öz Yük</b>	<b>1967,00 kg</b>
Tavan birim yükü (1967/33,35)	60,00 kg/m <sup>2</sup>
Kullanım birim yükü	40,00 kg/m <sup>2</sup>
<b>Tavan Birim Alan Yükü</b>	<b>100,00 kg/m<sup>2</sup></b>

Tek çerçeve yük alanı (A) = 6,15 x 1,95 = 11,99 = 12 m<sup>2</sup>  
 Tek çerçeve birim yükü (q) = (12 x 100) / 555 = 2,162 kg/cm

En fazla yük taşımaya maruz kalan iki orta kirişte eğilme analizi yapılırken giriş destekler arası L<sub>d</sub>

mesafesi 405 cm alınmıştır. Bu durumda; tavan yükünün oluşturduğu ankastrelik momenti,

$M_{AB-BA} = (q \times L_d^2) / 12$  denkleminde  $M_{AB-BA} = 29551,83 \text{ kg} \times \text{cm}$  olarak ankastrelik moment hesaplanmış olur. Tablo 5'te arka plan bir yan duvar yükünün hesap sonuçları sunulmuştur.

**Tablo 5.** Arka plan bir yan duvar yükünün hesap sonuçları (Calculation results of a background sidewall load)

<b>Arka Plan Bir Yan Üst Kat Duvar Yükünün Hesabı</b>	
<b>Dolu, kapılı ve pencere duvar yükü</b>	
Diyagonal (0,1 x 0,1 x 3,28 x 550)	18 kg,
Karkas yatay eleman 12 x (0,04 x 0,1 x 0,9)	24 kg
Karkas düşey eleman 15 x (0,04 x 0,1 x 2,75)	91 kg
İç lambri 3 x (0,018 x 1,8 x 2,75)	144 kg
Yalibaskı 3 x (0,022 x 1,8 x 2,75)	175 kg
Cam yünü 3 x (8 cm)	18 kg
<b>Toplam Duvar Yükü (15,4 m<sup>2</sup>)</b>	<b>470 kg</b>
<b>Duvar birim alan yükü</b>	<b>45,5 (kg/m<sup>2</sup>)</b>
<b>Çatı altı üçgen duvar yükü (6,25 m<sup>2</sup>)</b>	<b>284 kg</b>

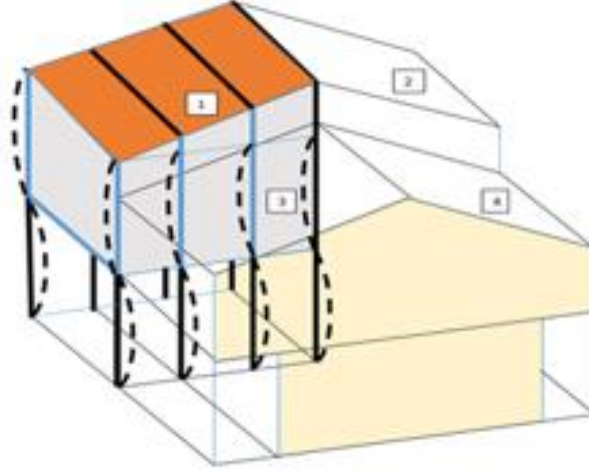
Arka plan bir yan üst katta toplam duvar yükü (kapı ve pencere boşlukları kapı kanadı ve camlı pencere doğraması ile doldurulduğunda dolu duvar değerine ulaştığı kabul edilir:

3,5 cephe x (her cephe: 6m x 2,75) x 45,5 (duvar birim alan yükü) + 2 cephe üçgen duvar yükü = 3196 kg olarak hesaplanmıştır.

Üst kat zemin yükü (Zemin öz yükü + kullanılan eşya ve yaşayan insan yükü):

60 kg/m<sup>2</sup> (tavan/zemin birim yükü) + 40 kg/m<sup>2</sup> (Eşya ve yaşayan insan birim yükü) = 60 x (6 x 6) + 40 x (6 x 6) = 2160 + 1440 = 3600 kg olarak hesaplanmıştır.

Bu ana başlık altında hesaplanan tüm yükler tasarım yükü olarak tanımlanmıştır.



**Şekil 17.** Yapı düşey yükünü taşıyan kolonların burkulma anı (Buckling moment of the columns carrying the vertical load of the structure)

**Tablo 6.** Toplam yapı yükü hesap sonuçları (Total building load calculation results)

Arka Plan Bir Yan Üst Kat Toplam Yükü	
Eğik çatı yükü	3077,00 kg
Üst kat düz tavan yükü	1967,00 kg,
Üst kat üç cephe toplam duvar yükü	3196,00 kg
Üst kat toplam zemin yükü	3600,00 kg
<b>Toplam Üst Kat Bir Yan Yükü</b>	<b>11840,00 kg</b>
<b>Toplam Yapı Yükü (11840 x 8)</b>	<b>94720,00 kg</b>

Bu kısım toplam yapının en büyük yüke sahip üst kat birimi olduğu için seçilmiştir ve yaklaşık hesaplama yapılmıştır (Tablo 6 ve Şekil 17).

## 6. AHŞAP YEŞİL EV ANA TAŞIYICI ÇERÇEVE SİSTEMİNİN DENEYSEL ANALİZİ (EXPERIMENTAL ANALYSIS OF WOODEN GREEN HOUSE MAIN CARRIER FRAME SYSTEM)

Ahşap Yeşil Ev sistemlerinden; ana taşıyıcı düzlem çerçeveler, ara çerçeveler, çerçevelerin yatay kiriş elemanları ve düşey kolon elemanları ile bunların birleşim yerleri kastedilmektedir. Bu elemanların en-kesit büyüklüklerinin ve birleşim yerlerinin (tutkallı bağlantı yerlerinin) yeterliliği deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel incelemede 1/1 ölçekli kolon ve kiriş elemanların ölçülerindeki örneklerin laboratuvarında test edilmesi mümkün olmadığı için, tüm elemanların gerçek boyutları

1/5 ölçeğine indirgenerek temsili test örnekleri hazırlanmıştır. Bu örneklerde deneysel olarak belirlenen direnç birim değerleri gerçek boyutlu elemanların en-kesitine ve birleşim yerlerindeki tutkallı birleşim alanlarına yansıtılarak yüksek oranda yaklaşık yük/kuvvet taşıma kapasiteleri hesaplanmıştır.

### 6.1. Deneysel Bulgular (Experimental Findings)

Sistem elemanlarında yeterlilik belirlerken Ahşap Yeşil Evin taşıyıcı sistemleri, sistemlerin elemanları yapı özyüküne, yapı kullanım yüklerine ve harici kuvvetlere karşı nasıl zorlanıyorsa, bu zorlanmaları temsilen 1/5 ölçekli deney örneklerinde bu karaktere uygun testler yapılmış ve bunlardan elde edilen direnç değerlerine Tablo 7’de yer verilmiştir.

**Tablo 7.** 1/5 Ölçekli örneklerin (3 x 6 cm en-kesitli) ön deneylerinden elde edilen deformasyon (kırılma) anındaki deneysel sonuçları (Experimental results at the time of deformation (fracture) obtained from preliminary experiments of 1/5 scale samples (3 x 6 cm cross-section))

Mekanik Özellikler	Deneysel kuvvet ortalamaları (Kgf)	Deneysel direnç ortalamaları (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Elastiklik Modülü (EMO) (Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Yapışma Direnci</b>			
Yapışma derzine paralel çekme direnci	313,7	69,7	-
Yapışma derzinde ayırma çekmesi direnci	33,6	12,5	-
Yapışma derzinde makaslama direnci	333,5	37,7	-
<b>Eğilme Direnci</b>			
Dolu gövdeli 3 noktadan eğilme direnci	477,2	715,9	118673,7
Dolu gövdeli 4 noktadan eğilme direnci	628,7	640,4	48042,1
Kertme gövdeli 3 noktadan eğilme direnci	392,5	399,8	89416,1
Kertme gövdeli 4 noktadan eğilme direnci	316,6	474,9	35541,1
<b>Sütun Direnci</b>			
Dolu gövdeli sütun direnci	4815,12	55,75	108673,7
Kertme gövdeli sütun direnci	3705,13	45,27	88245,9

Gerçek boyutlu ahşap ev ana taşıyıcı düzlem çerçeve sistemlerde meydana gelen zorlanma biçimlerini temsil eden ve yukarıda verilen testlerde elde edilen deneysel kuvvet ve direnç değer ortalamaları gerçek boyutlu elemanlarda kuvvet ve direnç değerleri hesaplamak üzere kullanılmıştır (Tablo 8).

3 noktadan eğilme direncine göre  $F_{max}$  hesaplama denklemi:  $\sigma_e = 3/2 \times (F_{max} \times L) / b \times h^2$

Bu eşitlikte;  $\sigma_e$ : Eğilme direnci (N/mm<sup>2</sup>),  $F_{max}$ : Kırılma anında ölçülen maksimum kuvvet (N), L: Destekler arası mesafe (mm), b: Örnek kalınlığı (mm), h: Örnek yüksekliği (mm) değerlerini ifade etmektedir.

4 noktadan eğilme direncine göre  $F_{max}$  hesaplama denklemi:  $\sigma_e = (3/2) \times [(F_{max} \times (L_d - L_k)) / (b \times h^2)]$

Bu eşitlikte;  $\sigma_e$ : Eğilme direnci (N/mm<sup>2</sup>),  $F_{max}$ : Kırılma anında ölçülen maksimum kuvvet (N),  $L_d$ : Destekler arası mesafe (mm),  $L_k$ : Kuvvetler arası mesafe (mm), b: Örnek kalınlığı (mm), h: Örnek yüksekliği (mm) değerlerini ifade etmektedir.

Kolon-kiriş birleşim yerinde (kertme birleştirmede) maksimum ankastrelik moment ( $M_{AB-BA}$ ) hesaplama denklemi:  $37,7 = (M_{AB-BA}) / (0,208 \times 15^2 \times 30)$

Kolonlarda maksimum kritik yük hesaplama denklemi:  $P_{kr} = (3,14^2 \times E \times I_{min}) / L^2$

Bu eşitlikte;  $P_k$ : Kritik yük miktarı (kg), L: Sütun uzunluğu (cm), E: Elastikiyet modülü (kg/cm<sup>2</sup>), J: Atalet momenti (cm<sup>4</sup>) değerlerini ifade etmektedir.

**Tablo 8.** 1/1 Ölçekli (gerçek boyutlu: 15 x 30 cm en-kesitli) elemanların (kolon/kirişin) taşıyabileceği maksimum kuvvet, direnç ve moment değerleri (Maximum force, resistance and moment values that 1/1 scale (actual size: 15 x 30 cm cross-section) elements (column/beam) can carry)

Mekanik Özellik	Deneysel direnç ortalaması	Deneysel elastiklik modülü	Gerçek boyuttaki eleman en kesiti	Gerçek boyutlu kolon-kirişlerin taşıyabileceği max kuvvet
	kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	cm	kgf
<b>Yapışma Direnci</b>				
Yapışma derzine paralel çekme	69,7	-	15 x 30	<b>31365,0</b>
Yapışma derzinden ayırma çekme	12,5	-	15 x 30	<b>5625,0</b>
Yapışma derzinden makaslama	37,7	-	15 x 30	<b>52930,8 kgf/cm<sup>2</sup></b>
<b>Eğilme Direnci</b>				
Dolu gövdeli 3 noktadan eğilme	715,9	118673,7	15 x 30	<b>15908,9</b>
Dolu gövdeli 4 noktadan eğilme	640,4	48042,1	15 x 30	<b>25616,0</b>
Kertme gövdeli 3 noktadan eğilme	399,8	89416,1	15 x 30	<b>8884,4</b>
Kertme gövdeli 4 noktadan eğilme	474,9	35541,1	15 x 30	<b>18996,0</b>
<b>Sütun Direnci</b>				
Dolu gövdeli sütun direnci	55,75	108673,7	15 x 30	<b>Pkr=25087,50</b>
Kertme gövdeli sütun direnci	45,27	88245,9	15 x 15	<b>Pkr=10185,75</b>

Tasarım projede dolu gövdeli kiriş ve kolon kullanılmamıştır ancak, dolu gövdeli elemanların kertme gövdeli elemanlarla performans karşılaştırması yapabilmek için testleri yapılmıştır.

## 7. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER (CONCLUSIONS, DISCUSSION AND RECOMMENDATION)

**Kertmeli kirişlerde yeterlilik değerlendirmesi:** Deneysel olarak elde edilmiş değerlere göre; tasarım projede uygulanmış 1/1 ölçekli kertmeli 3 noktadan eğilme karakterli kirişler (399,8 kg/cm<sup>2</sup>'lik eğilme direnci ortalamasına göre) 8884,4 kgf ve kertmeli 4 noktadan eğilme karakterli kirişler ise (474,9 kg/cm<sup>2</sup>'lik eğilme direnci ortalamasına göre) 18996,0 kgf kuvvet taşıma kapasitesine sahip oldukları görülmektedir. Tasarım projede yer alan her bir kirişe yapı toplam yükünden 2663 kg tasarım yükü düşmekte, bu yüke göre gerçek boyutlu 3 noktadan yüklemeli (yani ortadan tekil kuvvet uygulanması durumunda) kirişin taşıdığı maksimum kuvvet yapı yükünden gelen tasarım kuvvetinin yaklaşık 3,3 katı (8884,4 / 2663) olduğu bulunmuştur. Gerçek boyutlu 4 noktadan yüklemeli (yani yükü 2 kertme üzerine paylaştırarak uygulanması durumunda) kirişin taşıdığı maksimum kuvvet ise yaklaşık 7 katı (18996 / 2663) bulunmuştur (Tablo 8).

Gerçek boyutlu kirişlerde ahşap malzemenin yapısal kusurları dikkate alınarak genellikle 4 noktadan eğilme testi ile dayanım belirlenir. Bu

durumda, tasarım projede uygulanan kertmeli kirişler yalnız olarak bizzat üstüne gelen yapı tasarım yüküne göre 7 kat daha fazla taşıma kapasitesine sahiptir denebilir.

**Kertmeli kolonlarda (sütunlarda) yeterlilik değerlendirmesi:** Tasarım projede uygulanmış 1/1 ölçekli kertmeli sütunların, deneysel sütun direnci değeri (45,27 Kgf/cm<sup>2</sup>) esas alındığında, gerçek boyutlu sütunda yaklaşık 10185,75 kgf kritik kuvvet taşıma kapasitesine sahip olduğu hesaplanmıştır. Tasarım projede toplam yapı tasarım yükünden her bir kolona 1379 kg yük düşmekte olduğu hesaplanmıştır. Bu yüke göre, gerçek boyutlu kirişin taşıyabildiği maksimum kritik yükün (10185,75 / 1379) yaklaşık 7,3 kat olduğu söylenebilir (Tablo 8).

**Kolon-Kiriş birleşim yerlerinde (düğüm noktalarında) yeterlilik değerlendirmesi:** Tasarım projede uygulanmış 1/1 ölçekli ahşap taşıyıcı düzlem çerçevede kolon ve kirişlerin birleşim yerinde (kertmeli birleşme) yapı yüklerinden kaynaklanan  $M_{AB-BA} = 29551,83 \text{ kg}\times\text{cm}$ 'lik ankastrel moment hesaplanmıştır. Deneysel yapılaşma derzinde makaslama direnci değeri (37,7 kgf/cm<sup>2</sup>) esas alındığında ( $37,7 = M_{AB-BA} / (0,208 \times 15^2 \times 30)$ ) her bir kolon-kiriş kertme birleşme yerinin 50544 kg×cm ankastrel moment taşıyabileceği bulunmuştur. Bu durumda gerçek boyutlu kolon-kiriş birleşim yerinin yapı yüklerinden kaynaklanan tasarım ankastrel



momente göre (50544 / 29551,83) 1,7 kat ankastrel moment taşıyabileceği söylenebilir.

Kolon-kiriş birleşim yerlerinde (düğüm noktaları) meydana gelen tasarım ankastrel momentine göre sadece tutkalin yapıştırma gücü ile 1,7 kat emniyetli olmasına rağmen, bu noktalar diyagonal payandalar ve cıvatalar ile desteklenmiştir. Bu destekler ile düğüm noktaları daha da güçlendirilmiştir (Şekil 6 ve Şekil 8).

Bu çalışmanın sonucunda, tasarım sürecinde öngörülen en-kesitteki ahşap taşıyıcı düzlem çerçevelerin kolon-kiriş elemanlarının hem teorik hesaplara hem de deneysel sonuç değerlerine göre kuvvet, direnç ve moment taşıma kapasitesi bakımından 1,7 ila 7,4 kat daha güçlü ve yeterli olduğu tespit edilmiştir. Tasarlanacak evlerde farklı birleştirme yapıları, farklı kesitlerin uygulanması gibi çeşitli parametrelerin değiştirilmesiyle ekolojik ve sürdürülebilir ahşap ev yapımında ve gelecekteki akademik çalışmalara ışık tutması açısından bu çalışma bir başlangıç kabul edilebilir. Ahşap malzemenin ve düzlem çerçeve konstrüksiyonun bu araştırmada öne çıkmış modülerlik, işletmede üretilip sahaya taşınabilme ve montaj kolaylığı, elemanların tutkallı birleşmesi, modülerliğin üretime ve verimliliğe olumlu katkısı gibi birçok avantajları Ahşap Yeşil Ev tasarımında ve üretiminde güvenilirlik, sürdürülebilirlik, ekolojik, verimlilik, kolaylık, düşük temel yükü ve literatürde belirtildiği üzere düşük maliyetler gibi avantajlar sağlamakta olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar doğrultusunda;

- Tasarım yaklaşımları ve konstrüksiyon tekniklerinin sağladığı avantajlar ile ahşap, özellikle yatay mimarinin yapı konstrüksiyonunda en uygun malzemeler listesinin önde geleni olarak önerilebilir. Bu durum literatür tarama kısmındaki birçok çalışma ile örtüşmektedir.

- Deneysel analizlerin bulguları esas alındığında tasarım konusu Ahşap Ev Prototipinin modüler tasarım, yapı statığı ve emniyetli dayanımı, kolay üretim ve montajı bakımından uygulanabilirliği tespit edilmiş olup, uygulanması önerilebilir. Literatürde ahşap malzemenin mekanik özelliklerine birçok deneysel çalışma yer almaktadır. Ancak, bu çalışmaların büyük çoğunluğu küçük boyutlu örneklerle yapılmış olup gerçek boyutlu yapı elemanlarıyla deneysel çalışmaya çok fazla rastlanmamıştır. Kütükcü (2019) ve Khamis ve ark. (2019) tarafından yapılan çalışmalarda gerçek yapı elemanlarının 1/5 ölçekli küçültülmüş örneklerle yapılan çalışma

sonuçları ile bu araştırma sonuçlarının örtüştüğü görülmektedir.

## ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

The authors of this article declares that the materials and methods they use in their work do not require ethical committee approval or legal-specific permission.

## YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Yeliz ÖZTÜRK:** Deneyleeri yapmış ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

Yeliz ÖZTÜRK conducted the experiments, and wrote the article.

**Mustafa ALTUNOK:** Deneyleeri yapmış, sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

Mustafa ALTUNOK conducted the experiments, analyzed the results, and wrote the article.

## TEŞEKKÜRLER (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu araştırma Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FDK-2023-8474 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

There is no conflict of interest in this study.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Bostancıoğlu, E., Birer, E. D. (2004). Ekoloji ve ahşap-Türkiye'de ahşap malzemenin geleceği. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 9(2): 37-44. Doi: 10.17482/uujfe.77325
- [2] Hidayetoğlu, M. L., Yıldırım, K. (2017). Innovative approaches in furniture assembly and sustainability in design. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 6(3): 122-132.
- [3] Kılıncarslan, Ş., Şimşek, Y., Uygun, E., Akoğlu, M., Cesur, B., Tufan, M. Z., Turan, U. (2019). Sürdürülebilir yapı malzemeleri açısından bina sertifikasyon sistemlerinin incelenmesi. Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi, 3(1): 1-14.

- [4] Kılınçarslan, Ş., Türker, Y. Ş. (2020). Ahşap malzemelerin FRP ile güçlendirilmesinin sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi. *Teknik Bilimleri Dergisi*, 10(1): 23-30. Doi:10.35354/tbed.615101
- [5] Güneş, S., Demirarslan, D. (2020). Sürdürülebilirlik ve mobilya tasarımında çevreci yaklaşımlar. *Uluslararası İnsan ve Sanat Araştırmaları Dergisi*, 5(6): 81-99.
- [6] Erdede, S. B., Bektaş, S. (2014). Ekolojik açıdan sürdürülebilir taşınmaz geliştirme ve yeşil bina sertifikası sistemleri. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(1), 1-12.
- [7] Doğan, M., Akten, M., & Seçme, D. (2018). Çevre dostu binalar ve yeşil bina sertifikası sistemleri. *Akademia Disiplinlerarası Bilimsel Araştırmalar Dergisi*, 4(1), 19-27.
- [8] Allen, J. G., MacNaughton, P., Laurent, J. G. C., Flanigan, S. S., Eitland, E. S., Spengler, J. D. (2015). Green buildings and health. *Current Environmental Health Reports* 2: 250-258. Doi: 10.1007/s40572-015-0063-y
- [9] Wang, L., Toppinen, A., Juslin, H. (2014). Use of wood in green building: a study of expert perspectives from the UK. *Journal of Cleaner Production*, 65, 350-361. Doi:10.1016/j.jclepro.2013.08.023
- [10] Sathre, R., O'Connor, J. (2010). Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution. *Environmental science & policy*, 13(2), 104-114. Doi:10.1016/j.envsci.2009.12.005
- [11] Salazar, J., Meil, J. (2009). Prospects for carbon-neutral housing: the influence of greater wood use on the carbon footprint of a single-family residence. *Journal of Cleaner Production*, 17(17), 1563-1571. Doi:10.1016/j.jclepro.2009.06.006
- [12] Hurmekoski, E., Pykäläinen, J., Hetemäki, L. (2018). Long-term targets for green building: Explorative Delphi backcasting study on wood-frame multi-story construction in Finland. *Journal of cleaner production*, 172, 3644-3654. Doi:10.1016/j.jclepro.2017.08.031
- [13] Lippke, B., Wilson, J., Meil, J., Taylor, A. (2010). Characterizing the importance of carbon stored in wood products. *Wood and Fiber Science*, 5-14.
- [14] Duan, Z. (2023). Impact of climate change on the life cycle greenhouse gas emissions of cross-laminated timber and reinforced concrete buildings in China. *Journal of Cleaner Production*, 395, 136446. Doi:10.1016/j.jclepro.2023.136446
- [15] Sütçü A., Cambazoğlu M. Deprem sonrasında acil barınma ihtiyacının çözümüne yönelik modüler ahşap ev üretimi. Öztürk, M., Kırca, M. (Ed.), *Kahramanmaraş Merkezli Depremler Sonrası İçin Akademik Öneriler* içinde. Gaziantep: Özgür Yayınları; 2023. p. 259-272.
- [16] Öztürk, D., Aşkın, E. (2023). Yeşil bina ve sertifikasyon. Vol. 1 No. 4 (2023): *Proceeding Book of 4th International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences ICEANS 2023*. Doi:10.59287/as-proceedings.270
- [17] Tavşan, C., Tufan, A. Ş., Tavşan, F. (2022). Ekolojik malzeme olan ahşapla yapılan çok katlı yapılar. *Mimarlık ve Yaşam*, 7(1): 291-309. Doi: 10.26835/my.1018854
- [18] Gül, N., Güzelçoban, S. M. (2019). Çağdaş ahşap yapım sistemlerinin çok katlı yapılarda kullanımının incelenmesi: The tree, Kent Akademisi, 12(3): 586-599.
- [19] Bayar, U., Atılğan, A. İ. (2015). Yeşil ev tasarımı ve enerji analizi için uygulama örneği. *Mühendis ve Makina*, 56(671): 41-52.
- [20] Petersen, A. K., Solberg, B. (2002). Greenhouse gas emissions, life-cycle inventory and cost-efficiency of using laminated wood instead of steel construction.: Case: Beams at Gardermoen airport. *Environmental Science & Policy*, 5(2), 169-182. Doi:10.1016/S1462-9011(01)00044-2
- [21] Khamısı, F. M., Kütükcü, D. E., Aruntaş, H. Y., Altunok, M. Yayılı yük ile yüklenmiş ahşap kirişlerde kalıcı sehim incelenmesi. Kılıçer, A., Yılmaz, T. (Ed.), *Mühendislik Bilimlerinde Akademik Çalışmalar-2019/2* içinde. Karadağ: Ivpe; 2019. p. 80-89.
- [22] Kütükcü, D. E. (2019). Düzlem çerçeve ahşap yapı sistemlerinin bazı mekanik özelliklerinin incelenmesi [Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- [23] TS EN 386 (2006). Tutkallanmış lamine kereste- performans özellikleri ve asgari imalat şartları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- [24] TS ISO 3129 (2021). Odun- küçük kusursuz odun numunelerinin mekanik ve fiziksel muayenesi için genel gerekler ve numune alma yöntemleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- [25] TS 53 (1981). Odunun fiziksel özelliklerini tayin için numune alma, muayene ve deney metotları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- [26] TS EN 205 Yapıştırıcılar- yapısal olmayan uygulamalar için ahşap yapıştırıcılar- bindirmeyle yapıştırılmış eklerin çekmeyle kayma mukavemetinin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- [27] TS 2595 Wood-determination of ultimate stress in compression parallel to grain, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- [28] TS 647 Ahşap yapıların hesap ve yapım kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

[29] TS ISO 13061-3 Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri- Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri- Bölüm 3: Statik eğilmede nihai mukavemet tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

[30] TS ISO 13061-4 Statik eğilmede elastiklik modülü belirleme, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

[31] TS 2478 (1976). Odunun statik eğilmede elastiklik modülünün tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

[32] Neufert, E. (2023). Neufert yapı tasarımı (41. Baskıdan 6. Türkçe Baskı). (Burhan Çiçek, Çev. Ed.). İstanbul: Beta Yayınları.