

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

AHŞAP YAPI TASARIM VE ÜRETİMİNDE CAD VE BIM
TABANLI DİJİTAL ARAÇLARIN EVRİMİ: ULUSAL VE
ULUSLARARASI BİR PERSPEKTİFTEN KARŞILAŞTIRMA

ŞEYMA TURAN AVCI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: DOÇ. DR. SANİYE KARAMAN ÖZTAŞ

ŞUBAT 2026

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

AHŞAP YAPI TASARIM VE ÜRETİMİNDE CAD VE
BIM TABANLI DİJİTAL ARAÇLARIN EVRİMİ:
ULUSAL VE ULUSLARARASI BİR PERSPEKTİFTEN
KARŞILAŞTIRMA

ŞEYMA TURAN AVCI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: DOÇ. DR. SANİYE KARAMAN ÖZTAŞ

ŞUBAT 2026

T.C.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL

**THE EVOLUTION OF CAD AND BIM BASED DIGITAL
TOOLS IN WOOD STRUCTURE DESIGN AND
PRODUCTION: A COMPARATIVE PERSPECTIVE AT
NATIONAL AND INTERNATIONAL SCALES**

ŞEYMA TURAN AVCI

A THESIS OF MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF ARCHITECTURE

ADVISOR: ASSOC. PROF. DR. SANİYE KARAMAN ÖZTAŞ

FEBRUARY 2026

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun 20/01/2026 tarih ve 2026/05 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 09/02/2026 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Şeyma TURAN AVCI'nın tez çalışması Mimarlık Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Saniye KARAMAN ÖZTAŞ

ÜYE

: Doç. Dr. Seher GÜZELÇOBAN MAYUK

ÜYE

: Doç. Dr. Ferhat PAKDAMAR

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR



*Aileme
ve
eşime*

ÖZET

Geleneksel üretim yöntemlerinden dijital teknolojilere geçiş, günümüz yapı sektöründe yaşanan en kritik dönüşümlerden biridir. Ancak Türkiye'de özellikle ahşap sektöründe CAD/BIM araçlarının tasarım, üretim ve uygulama süreçlerine yeterli düzeyde entegre edilememesinin, bu teknolojilerin yaygınlaşmasını ve etkin kullanımını kısıtladığı belirlenmiştir. Bu konuda, ahşap yapı tasarım ve üretiminde CAD/BIM teknolojilerinin etkisini değerlendirmek için sistematik tarama yöntemi ile literatürdeki yayınlar incelenerek çalışmanın temeli oluşturulmuştur. Tez çalışması, anket uygulamaları aracılığıyla Türkiye'deki ahşap yapı üreticilerinin dijitalleşme düzeylerini sistematik biçimde analiz etmeyi ve bu yolla edinilen bulguları, ahşap mimarlığında dijital tasarım ve üretim alanında uluslararası ölçekte şirketler ile karşılaştırmalı değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Anketler katılımcıların sosyodemografik bilgilerinin ve CAD/BIM araçlarının tasarım ve üretim süreçleri ile ilişkisinin incelendiği iki bölümden oluşmaktadır. Bu kapsamda CAD/BIM tabanlı dijital araçların kullanım amacı, düzeyi, sınırlılıkları ve üretim süreci ile kurduğu ilişkiyi ortaya koymak amaçlanmıştır. Çalışmada ilk aşamada çoğunlukla Avrupa ve Amerika kıtalarındaki ülkelerde faaliyet gösteren ahşap sektöründeki şirketlerin katılımıyla ulaşılabilen 55 ahşap şirkettinden yedi adet dönüş ile uluslararası anketler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda anket içeriği değerlendirilmiş ve Türkiye'de yapılacak araştırma için içerik yenilenmiştir. İkinci aşamada Türkiye örnekleminde ahşap yapı tasarımı ve üretimi alanındaki uzmanlara 40 adet anket gönderilmiş ve 20 yanıt alınmıştır. Anketlerdeki araştırma kapsamında seçilen veriler, SPSS V27 (Sosyal Bilimler için İstatistik Programı) programında analiz edilmiştir. Analizlerde katılımcı profillerini tanımlamak için sosyodemografik bulgular grafikler ile oluşturulmuş ve kategorik değişkenlerin ilişkilerini değerlendirmek için Ki Kare analizi uygulanmıştır.

Araştırma bulgularına göre, ahşap proje sürecinde Türkiye örnekleminde CAD araçları ile genellikle daha temel tasarım ölçeğinde süreçler yürütülmektedir. Ayrıca bulgular, üretimle bütünleşmiş proje bazlı iş akışlarının sınırlı kaldığını göstermektedir. Uluslararası örnekleme BIM tabanlı araçların, tasarım süreçlerinin yanı sıra üretim aşamalarında da gerekli çıktılar ile rol aldığı görülmektedir. Türkiye'de dijital araçların kullanımı yaygınlaşsa da tasarım sürecinde hala araçların potansiyelinin tam olarak kullanılmadığı anlaşılmaktadır. Bu doğrultuda elde edilen bulgular, ahşap yapı alanında dijitalleşmenin sürdürülebilir biçimde ilerleyebilmesi için dijital iş akışlarının geliştirilmesi ve Türkiye'de ahşap yapı tasarımına ilişkin mevzuatın dijital süreçleri destekleyecek şekilde güncellenmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ahşap Mimarisi, Dijital Araçlar, BIM, CAD, Mimari Tasarım, Teknoloji.

ABSTRACT

The transition from traditional production methods to digital technologies is one of the most critical transformations in today's construction industry. However, in Türkiye, particularly in the wood sector, the insufficient integration of CAD/BIM tools into design, production, and application processes has been found to restrict the widespread adoption and effective use of these technologies. On this subject, in order to evaluate the effect of CAD/BIM technologies in wood structure design and production, the foundation of the study has been established by examining the publications in the literature through a systematic review method. This thesis aims to systematically analyze the digitalization levels of wood structure manufacturers in Türkiye through survey applications, and to comparatively evaluate the findings with international companies operating in the field of digital design and production in wood architecture.

The surveys consist of two sections in which the participants' sociodemographic information and the relationship of CAD/BIM tools with design and production processes are examined. Within this scope, it was aimed to reveal the purpose, level, limitations of the use of CAD/BIM-based digital tools and the relationship they establish with the production process. In the first stage of the study, international surveys were conducted with 7 responses from 55 wood companies, mostly operating in the wood sector in European and American countries. In line with the findings obtained, the survey content was evaluated and the content was revised for the research to be conducted in Türkiye. In the second stage, 40 surveys were sent to experts in the field of timber structure design and production in Türkiye, and 20 responses were received. The data selected from the surveys were analyzed using SPSS V27 (Statistical Package for the Social Sciences) software. In the analyses, sociodemographic findings were presented with graphs to define participant profiles, and Chi-Square analysis was applied to evaluate the relationships between categorical variables.

According to the research findings, in the Turkish sample, CAD tools are generally used for more basic design-scale processes in the woodworking project process. Furthermore, the findings indicate that project-based workflows integrated with production remain limited. In the international sample, BIM-based tools are seen to play a role with necessary outputs in both design and production phases. Although the use of digital tools has become widespread in Türkiye, it is understood that the potential of these tools is still not fully utilized in the design process. In line with the findings obtained, it is recommended that digital workflows be developed in order for digitalization in the field of wood structures to progress in a sustainable manner, and that the legislation related to wood structure design in Türkiye be updated in a way that supports digital processes.

Keywords: Wood Architecture, Digital Tools, BIM, CAD, Architectural Design, Technology.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının hazırlanma sürecinde akademik birikimi ve yönlendirmeleriyle çalışmama önemli katkılar sunan danışman hocam Doç. Dr. Saniye Karaman Öztaş'a değerli destekleri için ve tez sürecinin her aşamasında sabrı, anlayışı ve moral desteğiyle yanımda olan eşime çok teşekkür ederim.

Bu çalışma, Gebze Teknik Üniversitesi bünyesinde yürütülmüş olup, araştırmanın gerçekleştirilmesine olanak sağlayan 2025-A-101-02 numaralı proje desteği için Gebze Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, araştırma kapsamında gerçekleştirilen anketlere katılarak görüş ve mesleki deneyimlerini paylaşan tüm sektör profesyonellerine ve ilgili kurumların temsilcilerine katkılarından dolayı teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç	4
1.2. Kapsam	5
1.3. Yöntem	7
2. AHŞAP YAPIM SİSTEMLERİ	9
2.1. İskelet Sistemler	10
2.2. Panel Sistemler	11
2.3. Modüler Sistemler	12
2.4. Hibrit Yapım Sistemleri	13
2.5. Kabuk ve Kafes Sistemler	14
2.6. Ahşap Kütük Sistemler	16
2.7. Türkiye’de Ahşap Yapım Sistemleri	17
2.8. Türkiye’de Ahşap Yapı Kültürü	18
2.9. Mevzuat ve Uygulama Sınırlılıkları	21
3. AHŞAP YAPI TASARIMINDA DİJİTALLEŞME SÜRECİ	29
3.1. Ahşap Yapılarda Endüstrileşme ve Modern Üretim Yöntemleri	29
3.1.1. Endüstriyel Ahşap Malzemeler	30
3.1.1.1. Glulam	31
3.1.1.2. CLT	32
3.1.2. Prefabrikasyon ve Modüler Sistem	33
3.1.3. Yapısal Hesaplamaların Dijitalleşmesi	35
3.2. Ahşap Yapı Tasarım ve Üretiminde Dijital Dönüşüm: CAD ve BIM Teknolojileri	36
3.2.1. CAD Teknolojisi Gelişim Süreci	37
3.2.2. BIM Teknolojisi, Entegrasyonu ve Koordinasyon	41
3.2.2.1. BIM’in Çok Boyutlu Yaklaşımı	45
3.2.2.2. BIM’de Gelişmişlik Seviyeleri: LOD	48
3.2.3. CAD/BIM Araçlarında Karşılaşılan Zorluklar ve Uyum Problemleri	49
3.2.4. Ahşap Yapılar için Dijital Dosyadan Üretime Süreçleri	51
3.3. Parametrik Tasarım ve Dijital Fabrikasyon	54
3.4. Ahşap Yapı Tasarımında CAD Tabanlı Dijital Araçlar	57
3.5. Ahşap Yapı Tasarımında BIM Tabanlı Dijital Araçlar	66
3.6. Türkiye’de Dijital Tasarım Araçları ve Mevzuat	74
4. ULUSAL VE ULUSLARARASI ANKET ÇALIŞMALARI VE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZ	77
4.1. Veri Toplama ve Anketlerin Uygulama Süreci	78

4.2. Uluslararası Anket Bulguları	80
4.2.1. Uluslararası Katılımcı Şirket Profili	80
4.2.2. Uluslararası Katılımcı Şirketlerin Dijital Araç Kullanımları	82
4.3. Ulusal Anket Bulguları	86
4.3.1. Ulusal Katılımcı Şirket Profili	86
4.3.2. Ulusal Katılımcı Şirketlerin Dijital Araç Kullanımları	89
4.4. Analiz Sonuçları	93
4.4.1. Ki-Kare Analizi Bulguları	94
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	104
5.1. Öneriler	107
 KAYNAKLAR	 111
ÖZGEÇMİŞ	119
TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR	120
EKLER	121



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
BIM	: Bina Bilgi Modellemesi
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım
CAE	: Bilgisayar Destekli Mühendislik
CAM	: Bilgisayar Destekli Üretim
CLT	: Çapraz Lamine Ahşap
CNC	: Bilgisayarlı Sayısal Kontrol
DLT	: Dübelli-Ahşap Çivili Lamine Ahşap
DWG	: CAD Çizim Dosya Formatı
DXF	: Veri Değişim Formatı
EN	: Avrupa Standardı
FEA	: Sonlu Eleman Analizi
Glulam	: Tutkallı Tabakalı Ahşap
GTÜ	: Gebze Teknik Üniversitesi
LOD	: Ayrıntı Seviyesi
LSL	: Tabakalı Yonga Ahşap
LVL	: Tabakalı Kaplama Ahşap
MF	: Melamin Formaldehit
NLT	: Çivili Tabakalı Ahşap
OSB	: Yönlendirilmiş Yonga Ahşap
PSL	: Paralel Yonga Ahşap
PUR	: Poliüretan
SCL	: Yapısal Kompozit Ahşap
SPSS	: Sosyal Bilimler için İstatistik Programı
TCC	: Ahşap Beton Kompozit
TR	: Türkiye
TS	: Türk Standardı
yy	: Yüzyıl
WoS	: Web of Science

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1: Son beş yıldaki WoS yayın sayısı	4
Şekil 2.1: Afyon'da Ahşap Yapı Kooperatifi	12
Şekil 2.2: Yüksek katlı ahşap beton hibrit bina fikri.	14
Şekil 2.3: The Savill gridshell.	16
Şekil 2.4: Ahşap Kütük Sistem Ev Örneği.	17
Şekil 2.5: 20. yüzyıl başları kâgir bodrum kat duvarlar üstüne kurulan ahşap karkas sisteme sahip ev.	19
Şekil 2.6: Antalya'da bulunan bir ahşap otel.	19
Şekil 2.7: 2000 Bina Sayımı (a) ve 2001-2015 Yapı İzin İstatistikleri (b) verilerine göre taşıyıcı sistem tipi ve dolgu malzemesine göre bina yüzdeleri.	21
Şekil 3.1: Glulam kirişlerden elde edilmiş çatı örtüsü.	31
Şekil 3.2: CLT panellerin yerleşimi.	32
Şekil 3.3: CAD aracında 2B ve 3B ahşap duvar paneli tasarım ve ölçülendirilmesi.	34
Şekil 3.4: Modül sistemin vinç yardımı ile kurulumunun yapılması.	35
Şekil 3.5: Rhinoceros'ta ahşap parametrik tasarım uygulaması.	36
Şekil 3.6: Ivan Sutherland tarafından geliştirilen Sketchpad programı.	38
Şekil 3.7: C+T'de (Change+Timber) ahşapta yapısal hesaplamaların yapılması.	40
Şekil 3.8: Charles Eastman'ın GLIDE'ı soldaki girdinin parametrik olarak ayarlanabilen sağdaki merdivenleri oluşturması.	41
Şekil 3.9: BIM ortamında birleştirilmiş model.	46
Şekil 3.10: Proje faaliyetlerinde BIM kullanımı.	47
Şekil 3.11: Yapı Bilgi Modellemesi boyutları.	47
Şekil 3.12: Friedrich Zollinger tarafından geliştirilen, Gramazio Kohler Araştırma Grubu (ETH Zürih, 2012) tarafından robotik olarak inşa edilen ilk prototip.	52
Şekil 3.13: Prefabrik ahşap ızgara kirişlerin tam ölçekli yük testleri- Bern Uygulamalı Bilimler Üniversitesi.	54
Şekil 3.14: Çatı tasarımı, nesne yönelimli bir yaklaşımla hesaplamalı olarak modellenmiş ve Python kullanılarak Rhinoceros ortamına entegre edilmiştir.	54
Şekil 3.15: Dynamo ile bir kabuk tasarımı.	55
Şekil 3.16: CAD aracının döngüsel şeması.	58
Şekil 3.17: Sharp3D'nin logosu.	59
Şekil 3.18: Sharp3D'nin üretim alanında tablet ile kullanımı.	60
Şekil 3.19: Fusion 360 logo.	60
Şekil 3.20: SketchUp logo.	61
Şekil 3.21: SketchUp arayüzü.	62
Şekil 3.22: Elige Madera C+T logosu.	63
Şekil 3.23: Elige Madera C+T ahşap kesitin oluşturulması.	63
Şekil 3.24: Autocad logo.	64
Şekil 3.25: Autocad arayüzü.	65
Şekil 3.26: SEMA Timber Construction Logo.	65
Şekil 3.27: SEMA Timber Construction tasarım örneği.	66
Şekil 3.28: Archiframe logosu.	67
Şekil 3.29: Archiframe ahşap yapı tasarımı.	68

Şekil 3.30: Vertex BD Logo.	68
Şekil 3.31: Vertex BD pafta hazırlanışı.	69
Şekil 3.32: Be.Smart Wood Framing Logo.	70
Şekil 3.33: Tekla Structures’da ahşap duvar ayarlanması.	71
Şekil 3.34: Revit’te MWF Pro Wood eklentisinin kullanımı.	72
Şekil 3.35: Revit’te ahşap duvar çerçeveleme.	73
Şekil 3.36: Offsite Wood Logo.	73
Şekil 4.1: Katılımcı şirket türü.	81
Şekil 4.2: Şirketin yılda ortalama tamamladığı ahşap yapı projesi sayısı.	81
Şekil 4.3: Ahşap yapı sistemlerinde en çok kullanılan sistem.	82
Şekil 4.4: Ahşap yapı projelerinde aktif kullanılan dijital araç tercihleri.	82
Şekil 4.5: Tasarım sürecinde kullanılan dijital araçların en güçlü yönü.	83
Şekil 4.6: Kullanılan dijital araçların destekledikleri bileşenler.	83
Şekil 4.7: Dijital araçların en çok kullanıldığı tasarım amaçları.	84
Şekil 4.8: Faydalanılan çıktı özellikleri.	84
Şekil 4.9: Ahşap yapı projelerinde dijital araçlar kullanırken karşılaşılan en büyük zorluk.	85
Şekil 4.10: Karşılaşılan problemlere getirilen çözümler.	85
Şekil 4.11: Tasarımı sınırlayan başlıca teknik kısıtlamalar.	86
Şekil 4.12: Katılımcı mesleği.	87
Şekil 4.13: Katılımcı şirket türü.	87
Şekil 4.14: Şirketin yılda ortalama tamamladığı ahşap yapı projesi sayısı.	88
Şekil 4.15: Ahşap projelerde çalışılan ölçekler.	88
Şekil 4.16: Ahşap yapı ve üretiminde kullanılan BIM araçları.	89
Şekil 4.17: Ahşap yapı ve üretiminde kullanılan CAD araçları.	90
Şekil 4.18: Tasarım sürecinde kullanılan dijital araçların en güçlü yönü.	90
Şekil 4.19: Kullanılan dijital araçların destekledikleri bileşenler.	91
Şekil 4.20: Dijital araçların en çok kullanıldığı tasarım amaçları.	91
Şekil 4.21: Faydalanılan çıktı özellikleri.	92
Şekil 4.22: Ahşap yapı projelerinde dijital araçlar kullanırken karşılaşılan en büyük zorluk.	92
Şekil 4.23: Karşılaşılan problemlere getirilen çözümler.	93
Şekil 4.24: Tasarımı sınırlayan başlıca teknik kısıtlamalar.	93

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1: Taşıyıcı sisteme göre sınıflandırılmış yapı kullanma izin belgeleri tablosu.	20
Tablo 3.1: Ahşap için farklı CAD yazılımlarının karşılaştırılması.	39
Tablo 3.2: En yaygın BIM yazılımları ve firmaları.	42
Tablo 3.3: BIM-Ahşap yazılımları.	44
Tablo 4.1: TR şirket türüne göre ölçek soruları arasındaki ilişkinin dağılımı.	95
Tablo 4.2: TR şirketin yılda tamamladığı ortalama ahşap yapı projesi sayısına göre ölçek soruları arasındaki ilişkinin dağılımı.	97
Tablo 4.3: TR CAD aracı kullanımı arasındaki ilişkinin dağılımı.	99
Tablo 4.4: TR BIM aracı kullanımı arasındaki ilişkinin dağılımı.	101

1. GİRİŞ

Ahşap; yapıda kullanılan en eski malzemelerden biri olarak yapı üretiminde önemli bir rol almaktadır. Tarihsel süreç içerisinde varlığını koruyan bu malzemenin kullanımı modern mimarlık döneminde de yeniden ön plana çıkmaktadır. Modern mimaride ahşabın; çevre dostu, sürdürülebilir, düşük karbon salımına sahip olması gibi çeşitli özellikleri **[Kleppe, 2017]** onu çağdaş yapı teknolojilerinde önemli bir malzeme olarak konumlandırmaktadır. Ahşap, hammadde temini, üretim ve nakliye süreçleri ile diğer yaşam döngüsü aşamalarında düşük çevresel etkiye sahiptir **[Web 1, 2025]**. Bu çevresel avantajlar, ahşabı sürdürülebilir çevre ve iklim hedefleri açısından önemli bir malzeme haline getirmektedir.

Çevresel avantajlarının yanı sıra ahşabın mühendislik ve mimari disiplinler açısından yüksek taşıma gücü, deprem ve yangın dayanımı, estetik görünüm ve fiziksel konforu sağlayan bir malzeme olma özellikleri endüstriyel ahşap kullanımının benimsenmesine katkı sunmaktadır **[Gül ve Mayuk, 2019]**. Buna karşılık doğal ahşabın, endüstriyel ahşaba göre yapısal dayanıklılık ve performans açısından kullanımı daha sınırlıdır **[Şanlı ve Vural, 2021a]**. Endüstriyel ahşaplardan; yapıştırılmış tutkalı tabakalı ahşap (glulam), çapraz lamine ahşap (CLT), yapısal kompozit ahşap (SCL), tabakalı kaplama ahşap (LVL), paralel yonga ahşap (PSL), yönlendirilmiş yonga ahşap (OSB), tabakalı yonga ahşap (LSL), ahşap beton kompozit (TCC) gibi türler yüksek performansa sahip yapısal elemanlar olarak tercih edilmektedir **[Coşkun ve Yardımlı, 2022]**. Bu malzemeler sağladıkları performansların yanı sıra doğal ahşabın geleneksel boyut ve standartlarının dışına çıkabilmektedir. Esnek boyut ve formları sayesinde modern mimaride CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım) ve BIM (Bina Bilgi Modellemesi) gibi dijital araçlarla tasarım ortamına entegre edilebilmektedir.

Anadolu’da 16. yy. da konut mimarisi ahşap yapılar ile şekillenirken; 16.-18. yüzyıllar arasında yapılan yapılar, Avrupa örneklerine göre ileri teknik özellikler barındırmıştır **[Erkoç, 2004]**. Fakat Cumhuriyet döneminde ekonomik, demografik gibi sebepler ile ahşap yapılar yaygınlığını kaybetmiştir **[Erkoç, 2004]**. Günümüzde ise ahşap kullanımı, teknolojinin getirdiği olanaklara uyum sağlayabilmesi, hafifliği ve prefabrik üretime uygunluğu gibi özellikleriyle dijital tasarım ve üretim teknolojileri

ile tekrardan gündeme gelmektedir. CAD ve BIM tabanlı araçların ahşap yapı üretiminde yer alması; tasarım, üretim öncesi hazırlık ve üretim aşamalarında hata payını azaltarak daha hızlı ve kontrollü bir süreç sağlamaktadır. Bu araçlar ile ahşap yapı tasarımında istenilen esnek formların uygulanabilir olması desteklenmektedir. Böylece ahşap modern mimarideki gerekliliklerle uyumlu bir yapı bileşeni haline gelmektedir.

Ahşap tarih boyunca farklı bölgelerde barınma ihtiyacını karşılayan bir yapı malzemesi olmuştur. 19.yy. da Avrupa’da endüstrileşmenin hız kazanması ile ahşap dahil olmak üzere çeşitli malzemelerde ve bu malzemeler ile üretilen yapılarda dikkate değer teknolojik gelişmeler meydana gelmiştir **[Erkoç, 2004]**. Fakat nüfus artışının getirdiği çok katlı konut gereksinimi ahşap yapı üretimini yavaşlatmıştır **[Erkoç, 2004]**. Geleneksel yapı kültüründe yeri olan ahşap, günümüz teknolojisindeki gelişmeler ile modern inşaat sürecinde öne çıkma potansiyeline sahiptir.

Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Kanada, bazı kuzey Avrupa ülkeleri ve Japonya gibi gelişmiş ülkelerde ahşap yapı inşa yöntemleri dönemin ve endüstrileşmenin gerektirdiği üretim, tüketim koşullarına uyum sağlayarak gelişme göstermiştir **[Şişman, 2018]**. Bu yolla ahşabın üretim sürekliliği korunabilmektedir.

Endüstrileşme ile fabrika ortamında ahşap yeniden ele alınarak glulam, CLT, LVL, OSB gibi ahşap ürünler ile malzeme performansını arttırmak amaçlanmıştır **[Coşkun ve Yardımlı, 2022]**. Ahşabın bu gelişimi sadece estetik bir araç değil yapısal bir malzeme olarak da günümüzde yer edinmesini sağlamaktadır.

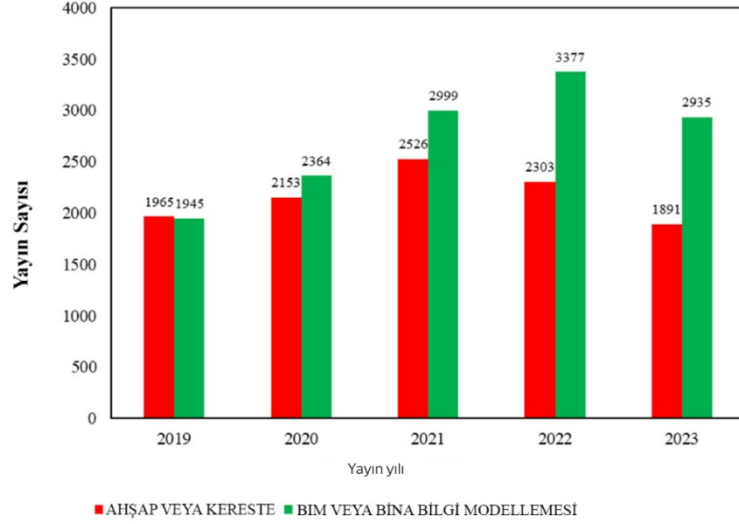
Ahşap yapı sektörü teknolojik ilerlemeler sayesinde önemli dönüşümler yaşamıştır **[Tel, 2021]**. Bu dönüşüm tasarım ve üretim süreçlerindeki dijital araçların kullanımına yol açarak; daha hassas, hızlı, dayanıklı ve sürdürülebilir yöntemlerin belirlenip doğru çözümlerin elde edilmesini sağlamıştır. Teknoloji dönüşümü öncesi geleneksel inşaat ve tasarım yöntemlerinde kullanılan iki boyutlu (2B) çizimlerde doğruluk ve verimlilik açısından çeşitli zorluklar görülmüştür **[Tel, 2021]**. CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım) tabanlı dijital araçların kullanımının başlamasıyla geleneksel yöntemlerle elde edilen iki boyutlu çizimler dijital ortama taşınarak hata oranları azalmış, üretim hızlanmış ve sürdürülebilirlik katkısı artmıştır. Ancak CAD tabanlı dijital araçlar çizim tabanlı özellikle 2B temsile odaklandığı için, disiplinler arası veri paylaşımı ve koordinasyon konusunda sınırlılıklara sahiptir **[Liu, 2024]**. Bu sınırlılıklar BIM’in

bütüncül ve veri odaklı yaklaşımı ile ortadan kalkmaktadır [Liu, 2024]. Yine de CAD tabanlı dijital araçlar, çok yönlü ve çeşitli uygulama alanlarına sahip olarak yapı sektörü dışında diğer sektörlerde de üretim ve tasarım ihtiyacına cevap vermektedir.

CAD tabanlı dijital araçların süreçte yetersiz kaldığı aşamada ‘BIM’ yönetim sistemi olarak tüm bina yaşam döngüsünü yönetebilmektedir. BIM, binanın tüm yaşam döngüsü boyunca (tasarım, inşaat ve işletme) etkili koordinasyon sağlayan, üç boyutlu bir modelle ilişkilendirilmiş veri tabanlarında bilgilerin birleştiği bir çalışma yöntemidir [Calquin vd., 2024]. Bu yöntem ile görselleştirmenin yanında, malzeme özellikleri, maliyet analizi, zaman planlaması gibi veriler sistematik bir şekilde ele alınmaktadır. Ahşap teknolojilerinde BIM kullanımı ise nispeten yenidir. Bu konuda İsveç, Finlandiya, Norveç gibi kuzey Avrupa ülkelerinde uygun iklim koşulları ve zengin doğal kaynakların etkisiyle ahşap yapıların tercihi oldukça yaygındır [Calquin vd., 2024]. Birleşik Krallık, Avusturya, İtalya ve Almanya gibi batı Avrupa ülkelerinde 1980’li yıllardan itibaren ve son yirmi yılda ahşap yapılara talebin arttığı görülmüştür [Calquin vd., 2024]. İsveç’te ise ahşap yapıda BIM kullanılsa da kullanımı hükümet zorunlu kılmadığı için diğer kuzey Avrupa ülkeleri kadar öne çıkmamaktadır [Gharaibeh vd., 2022].

Türkiye’de tarihsel öneme sahip olan ahşap yapılar zamanla güncelliğini yitirmiştir. Bu durumu değiştirmek için Türkiye Cumhuriyeti Strateji Bütçe Başkanlığı tarafından 2018 yılında “Ahşap Kullanımını Yaygınlaştırma Projesi” planlanmıştır [Bakanlığı, 2013]. Ancak günümüzde Türkiye’de ahşap yapı tasarım ve üretim sürecinin dijitalleşme sürecine entegrasyonu yavaş ilerlemektedir. Özellikle küçük ölçekli mimarlık ve inşaat ofislerinin CAD ve BIM tabanlı araçların kullanımında eksiklikler bulunmaktadır.

Yapı malzemesi olarak ahşap ve BIM teknolojileri konularında yapılan yayınlarda son dönemlerde artış gözlenmektedir [Calquin vd., 2024]. BIM’e yönelik yayınlar yıllar içerisinde artan bir grafik sergilerken, ahşap konusu daha dengeli bir davranış göstermektedir (Şekil 1.1). Her iki alana yönelik yapılan araştırmaların kesişiminde bazı ülkeler öne çıksa da Türkiye’de yapılan bu tür çalışmalar oldukça sınırlıdır.



Şekil 1.1: Son beş yıldaki WoS yayın sayısı [Calquin vd., 2024].

1.1. Amaç

Günümüzde ahşabın, modern teknolojiler ile kullanımı sürdürülebilirlik, düşük karbon ayak izi, yapım sürecinde çevre dostu kullanım imkânı sağlanabilmesi gibi olumlu yönleri ile ön plana çıkmaktadır. Türkiye’de ahşabın geleneksel olarak kullanımı geçmişte ne kadar yaygın kullanılsa da modern ahşaba geçiş ile son yıllarda aynı seviyeyi henüz karşılayamamaktadır. Yapı sektöründe meydana gelen modernleşme, ahşap malzemenin modernleşmesinin yanında yapım sürecinde tasarım ve üretim aşamaları için de gerçekleşmektedir. Bu değişim süreci ile ahşap yapılardaki estetik ve yapısal beklentilerin karşılanabilmesinin yanında dijitalleşme, bu sürece uyum sağlamak zorunda olmuştur.

Ahşap yapı tasarım ve üretim süreçlerinde CAD ve BIM tabanlı dijital araçların kullanımı, dijitalleşme aşamasında önemli bir yere sahiptir. Tasarım ve üretim süreçlerinde beklenen işlem hassasiyeti, hızlı montaj, sistematik geri bildirim, rasyonalizasyon, yapısal izleme, standardizasyon gibi süreçlerin doğru ilerleyebilmesi için dijitalleşme kritik bir role sahiptir [Avcı ve Öztaş, 2025]. Türkiye’de bu süreçlerde ise ahşap yapı sektöründe dijitalleşme yeterli noktaya gelmemiştir ve bu noktada Türkiye’nin mevcut durumunu görünür kılmak hedeflenmiştir.

Bu tez çalışmasında, Türkiye’de ahşap yapı tasarım ve üretim süreçlerinde kullanılan CAD ve BIM tabanlı dijital araçların ve araçların kullanım durumunu uluslararası

eğilimler ile değerlendirmek hedeflenmektedir. Ayrıca sektör çalışanlarının ve uzmanlarının katılımları ile kullanılan araçların; tasarım bileşenlerini modelleme, disiplinler arası veri aktarımı, üretimle uyumlu çıktı oluşturma ve teknik standartlara uygunluk gibi işlevlerdeki katkılarını değerlendirmek amaçlanmıştır.

Bu doğrultuda uluslararası ve ulusal anket çalışmalarıyla, en sık tercih edilen dijital araçlar belirlenmeye çalışılmış ve dijital araçların modelleme, detaylandırma, veri paylaşımı, üretim entegrasyonu gibi işlevlerinin olanakları ve sınırlılıkları hakkında veri toplanması hedeflenmiştir. Uluslararası ve Türkiye genelindeki anket çalışmalarının karşılaştırılarak BIM ve CAD araçlarının ahşap yapı sektöründe nasıl bir konumda yer aldığı, tasarım ve üretim süreçlerinde en çok hangi aşamalarda tercih edildiği gibi sorular cevaplanabilmiştir. Bu çalışmada, Türkiye’de ahşap yapı sektörünün dijitalleşme sürecindeki durum tespitinin ötesine geçerek; dijital araçların tasarım ve üretim aşamalarındaki işlevsel noktaları değerlendirilip, bu aşamaların hangi adımlarında müdahale gerekeceği ele alınmıştır. Böylece çalışmanın, bütüncül bir çerçeve kazanması amaçlanmıştır.

Çalışma, Türkiye’de ahşap yapı sektöründe dijital araçların kullanımını detaylı bir şekilde analiz etmeyi ve sektörün ihtiyaçlarını, karşılaştıkları problemleri ve dijitalleşme sürecine olan adaptasyonunu ortaya koymayı amaçlamaktadır. Anketler ile elde edilen bulgular ve bu bulgulara göre planlanan önerilerin ise sektör çalışanları, uzmanlar, üreticiler, uygulayıcılar ve yetkililer için rehber niteliği taşıması amaçlanmaktadır.

1.2. Kapsam

Çalışma, ahşap yapı tasarım ve üretiminde dijitalleşme sürecini, CAD ve BIM tabanlı araçların ulusal ve uluslararası alandaki rolü üzerinden detaylı bir çerçevede değerlendirilmektedir. Türkiye’deki ahşap yapı sektöründe dijital araçların kullanım durumunu, tasarım ve üretim süreçlerine entegrasyon seviyesini ve dijitalleşme potansiyelini ele almaktadır. Bu bağlamda, sektörde dijitalleşme süreçlerinde karşılaşılan teknik ve operasyonel zorluklar değerlendirilmektedir.

CAD ve BIM tabanlı dijital araçların tasarım işlevleri incelenmekte, bu araçların üretim teknikleri ile olan ilişkisi değerlendirilmektedir. Dijital araçların ahşap yapıların tasarım ve üretim süreçlerinde kullanıldığı aşamalar, hangi araçların daha

verimli sonuçlar ürettiği ve hangi noktalarda sınırlılıklar olduğu detaylı olarak analiz edilmektedir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, sektörde dijitalleşmenin artırılması için dijital altyapının eğitim ve standartlaşma süreçlerinin iyileştirilmesine yönelik öneriler geliştirilmektedir.

Çalışmada, ahşap teknolojileri kullanan şirketlerin ağırlıklı olarak faaliyet gösterdikleri Avrupa, Amerika gibi kıtalardaki ülkeler ile Türkiye'nin mevcut durumu karşılaştırılarak değerlendirilmektedir. Uluslararası ölçekte yürütülen anket çalışmaları aracılığıyla dijital araçların üretim süreçlerinin hangi aşamalarında daha etkin kullanıldığını, hangi teknik ve idari engellerin dijital dönüşümü sınırladığı ortaya konulmaktadır. Elde edilen bulgular ile Türkiye ölçeğinde yapılacak anket tasarlanmıştır.

Uluslararası ölçekte farklı ülkelerde bulunan ve farklı ülkelerde uygulamalar yapan ulaşılabilen 55 ahşap şirketine anket gönderilmiş ve bu şirketlerin yedisinden dönüş yapılmıştır. Uluslararası katılımcı sayısının sınırlı kalmasının sebebi, bu sektörde faaliyet gösteren şirket sayısının ülkeden ülkeye değişiklik göstermesi ile ahşap yapım teknolojilerinin dünya genelinde uzmanlaşmış ve sınırlı bir sektör olmasıdır. Şirketlerin büyük bir bölümü tasarım, üretim süreçleri ve yöntemleri konusundaki teknik bilgileri araştırma kapsamında paylaşmada temkinli davranmakta ve detayları paylaşmayı tercih etmemektedir. Dolayısıyla uluslararası ölçekte katılım oranının düşük olması sektörel yapının ve ahşap yapı teknolojilerinin yüksek uzmanlık gerektiren bir alan olduğunu göstermektedir.

Türkiye kapsamında ise 40 adet anket gönderilmiş ve 20 yanıt alınmıştır. Türkiye'de ahşap yapı alanında çalışan ya da bu alanda dijital tasarım ve üretim süreçleriyle ilgilenen kişilere ulaşmanın daha kolay olduğu güvenilirlik probleminin daha az olması katılımı ulusal ölçekte daha yüksek tutmuştur. Çalışmanın, Türkiye'deki ahşap yapı sektörüne doğrudan katkı sağlayabilecek olması konusundaki algı da katılım isteğini arttırmış olabilir.

Anketler, ahşap yapıların tasarım ve üretim süreçlerinde dijital teknolojilerin sektördeki kullanım düzeyini ve yöntemlerini anlamak; teknolojilerin kullanım süreçlerinde karşılaşılan teknik sınırlılıkları incelemek için hazırlanmıştır. Katılımcıların ahşap üzerine gösterdiği faaliyetler, tercih edilen ahşap taşıyıcı sistemler, en sık kullanılan dijital tasarım ve üretim araçları, araçların bu süreçlere

sağladığı entegrasyon seviyesi, uluslararası standartlara uyum konusu gibi pratikler veri toplama sürecinde ele alınmıştır. Anket bulguları ulusal ve uluslararası ölçekte karşılıklı olarak değerlendirilmiştir.

1.3. Yöntem

Tez çalışmasında, nicel ve nitel araştırma teknikleri bir arada kullanılmıştır. Araştırma süreci, öncelikle kapsamlı bir literatür taraması ile başlatılmıştır. Uluslararası alanda ve Türkiye’de dijital araç kullanımına yönelik öne çıkan eğilimler belirlenmiştir. Ahşap yapı tasarım ve üretiminde CAD/BIM teknolojilerinin etkisi, sistematik tarama yöntemi kullanılarak, dijital araçların süreçlere entegrasyonu ve sektörel dönüşüme katkısı konularındaki ulusal ve uluslararası yayınlar incelenmiştir. Ortaya çıkan veriler çalışmanın kavramsal çerçevesini meydana getirmiştir.

Literatür çalışmasını takiben, uluslararası ölçekte ahşap yapı sektöründe dijitalleşmeyi benimsemiş şirketlere yönelik anket çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Uluslararası anketler; yazılım tercihleri, üretim süreçlerinde dijital entegrasyon seviyesi, karşılaşılan teknik, operasyonel sorunlar ve yazılım eksikliklerine dair kapsamlı veri toplanmasını hedeflemiştir. Bu süreçte kapalı uçlu sorulardan oluşan (bir soru hariç) anket formları oluşturulmuş ve böylece istatistiksel olarak analiz edilebilir nicel veriler elde edilmiştir.

Anketler iki bölümden oluşmaktadır. Uluslararası ankette ilk bölümde katılımcı şirketlerin yapıları, şirketlerin projelendirdiği ahşap yapı adetleri ve kullandıkları ahşap taşıyıcı sistemler, faaliyet gösterdikleri ülkeler ile sosyodemografik bilgiler edinilmiş; sonraki bölümde kullandıkları CAD/BIM tabanlı dijital araçlar, dijital araçların kullanım amaçları, çıktı entegrasyonu, karşılaşılan teknik problemler ve bu problemlere bulunan çözümler, mevzuat etkisi, geleceğe dönük beklentiler değerlendirilmiştir. Ulusal ankette ise ek olarak ilk bölüme katılımcının kurumdaki mesleki pozisyonu, ülke bazlı olmadan faaliyet gösterdikleri şehirler, üretilen projelerin ölçekleri ve ikinci bölüm için daha detaylı olarak kullanılan CAD/BIM araçları incelenmiştir.

Anket soruları için GTÜ İnsan Araştırmaları Etik Kurulu’nun 05.06.2025 tarih ve E-43633178-199-201857 sayılı kararınca etik uygunluk belgesi alınmıştır [Ek C]. Toplanan veriler, Türkiye’de faaliyet gösteren şirketlere ve ahşap alanındaki uzmanlara anketlerin içerik ve odak noktalarının belirlenmesinde doğrudan girdi

sağlamış; uluslararası örneklerden öğrenilenler, yerel bağlama eklenerek daha etkin bir saha çalışması tasarlanmıştır.

Türkiye’de ahşap yapı tasarımı ve üretimine yönelik anketler uygulanmıştır. Anket soruları için GTÜ İnsan Araştırmaları Etik Kurulu’nun 19.11.2025 tarih ve E-43633178-199-226095 sayılı kararınca etik uygunluk belgesi alınmıştır [Ek D]. Türkiye’deki yöneltilen anketlerde, CAD/BIM araçlarının kullanım düzeyi, yazılım türleri ve üretim süreci ile entegrasyon biçimleri gibi temel parametrelerin yanı sıra, dijitalleşmeye yönelik algı, karşılaşılan zorluklar ve geliştirilmesi gereken alanlar da sorgulanmıştır. Anket sorularının çoğu uluslararası anket ile karşılaştırılabilir olması için aynıdır; farklı olarak birkaç soru eklenmiştir.

Anketler, katılımın gönüllülük esasına dayalı olarak çevrimiçi ortamda dağıtılmış ve veri gizliliği ilkelerine uygun biçimde yürütülmüştür. Elde edilen nicel veriler, SPSS v27 istatistiksel analiz programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Toplanan tüm veriler doğrultusunda ulusal ve uluslararası olarak karşılaştırmalı bir analiz yapılmıştır. Bu analiz sürecinde, dijital araçların kullanım yoğunluğu, üretim sürecine entegrasyon yöntemleri, yazılımlardan beklenen işlevsellikler, teknik destek erişimi gibi başlıklar tematik düzeyde karşılaştırılmıştır. Böylece Türkiye'deki durum ile uluslararası alan arasındaki benzerlikler ve farklılıklar ortaya konularak, elde edilen sonuçlar sektöre yönelik iyileştirme önerilerinin dayanağını oluşturulmuştur. Karşılaştırmalı analiz bulguları üzerinden, yazılım tabanlı üretim optimizasyonu ve sürdürülebilir tasarım hedefleri ile ilgili öneriler geliştirilmiştir.

Anketi yanıtlayan şirket temsilcilerinin, şirket süreçleri, kullanılan yazılım/donanım ve personel yetkinlik düzeyi hakkında doğru ve dürüst bilgi verdiği varsayılmıştır. Çalışma, anketi yanıtlayan şirketlerle sınırlıdır. Bu nedenle bulgular, tüm Türkiye’deki ahşap yapı üreticilerine ve tüm uluslararası şirketleri doğrudan genellenemez. Çalışma, dijitalleşmeyi ağırlıklı olarak CAD/BIM ve üretim entegrasyonu üzerinden ele almıştır; maliyet-fayda analizi, yatırım geri dönüşü, ürün performansı gibi boyutlar kapsam dışıdır.

2. AHŞAP YAPIM SİSTEMLERİ

Ahşap, yapı malzemesi olarak farklı dönemlerde ve çeşitli bölgelerde geleneksel veya modern yapı örnekleriyle tarih boyunca kullanılmaktadır. Yapı kültüründe önemli bir yere sahip olan ahşap; taşıyıcı elemanlardan cephe kaplamalarına, döşemelerden çatılara, köprü, iskele ve travers gibi farklı yapı bileşen ve elemanlarında değerlendirilmiştir [Duru ve Koç, 2018].

Ahşap, mimari elemanlar ve taşıyıcı strüktürler bağlamında önemli rol oynamaktadır. Teknolojik gelişmeler, ahşap malzemenin kullanım alanlarını büyük oranda genişletmesiyle farklı ölçeklerdeki yapıların ve bileşenlerinin tasarım ve üretiminde geniş bir çeşitlilik imkânı sağlanmaktadır [Çelik ve Şakar, 2022]. Tarihsel süreçte meydana gelen teknolojik gelişmeler ahşap mimarinin belirli dönemlere ayrılarak sınıflandırılmasını beraberinde getirmiştir. Buna göre; çağlar kullanılan teknolojilere paralel bir şekilde, el aletleri teknolojisinin kullanıldığı ahşap çağı, makinelerin kullanıldığı endüstriyel çağ ve dijital teknolojilerin kullanıldığı dijital çağ olarak sınıflandırılabilir [Buri ve Weinand, 2011]. Özellikle endüstriyel ve dijital çağların getirdiği yenilikçi yapıdırma ve lamine teknikleri, ahşabın taşıyıcı gücünü ve boyutlarını beklenmedik ölçüde artırmıştır. Böylece, gelişen ahşap ürünler sayesinde yapılarda daha büyük açıklıkların ve farklı ölçeklerde elemanların yapılabilmesi sağlanmıştır [Żmijewski ve Wojtowicz-Jankowska, 2017].

Ahşabın özellikle boyut ve rijitlik konularındaki iyileşmeler, ahşap yapı sistemlerinin de gelişimini sağlamıştır. Ahşap yapı malzemelerindeki bu iyileşmeler farklı yapı sistemlerinin ve elemanlarının oluşturulmasını sağlamıştır [Çelik ve Şakar, 2022]. Ahşap yapı sistemlerindeki bu farklılaşmalar, sistemler için sınıflandırmayı da beraberinde getirmiştir. Sınıflandırma yapılırken ise malzeme özellikleri ve taşıyıcı sistem çeşitleri kullanılmaktadır [Çelik ve Şakar, 2022]. Bu bağlamda, özellikle CLT paneller önemli bir yere sahiptir. Farklı yapım sistemlerine uyumlu olan CLT öncelikle çerçeve sistemleri, panel sistemleri, modüler sistemler ve hibrit yapım sistemlerinde kullanılmaktadır [Yürekli, 2023].

Ahşap yapı ve bileşenlerinin yapım sürecinde, geleneksel düzen ile üretimin dışına dijital tasarım araçları ve üretim yöntemleri ile çıkılarak esnek ve serbest formlu ahşap

tasarımlar yapılabilmektedir. Kabuk kafes sistemler ile tasarlanan karmaşık yapılar ise ahşabın sınırlı geometrinin ötesine geçebildiğini kanıtlar niteliktedir. Geleneksel yapıların sınırlarını zorlayan uzamsal ve serbest biçimli formların ortaya konmasında ise dijital tasarım ve fabrikasyon tabanlı teknolojiler önemli rol oynamaktadır.

Ahşap kütük sistemi ise bir başka ahşap yapım sistemi olarak değerlendirilmektedir. Bu sistemi oluşturmak için dikmeli ve geçmeli yapım yöntemleri kullanılmaktadır [Erkoç, 2004].

2.1. İskelet Sistemler

Ahşap iskelet (karkas) sistem, geleneksel yapım tekniklerinin yanında yapı teknolojilerinin gelişimiyle birlikte ilerleyen sürdürülebilirlik hedeflerini destekleyen taşıyıcı bir sistem tipidir. Bu sistemde yapının dikey yükler kolon ve dikmeler aracılığıyla, yatay yükler ise kirişler, diyagonal ve ara elemanlar ile karşılanmaktadır. Ahşabın yüksek mukavemet ve ağırlık ilişkisinin iyi seviyede olması iskelet sistemde tercih edilmesini sağlamaktadır [Erdoğan ve Begeç, 2021]. Böylece dayanıklı ve ağır olmayan ahşap, geniş açıklıklı veya yüksek yapılarda da tercih edilebilmektedir. Ahşap iskelet sistemlerin tasarım ve üretim süreçlerinde BIM, CAD, parametrik tasarım araçları, CNC gibi teknolojiler ile süreçler hata düzeyi az, kaliteli ve hızlı şekilde ilerleyebilmektedir.

Ahşap sürdürülebilir, doğayla uyumlu ve kolay işlenebilir bir yapı malzemesi olarak geçmişte hukuki sınırlamalardan dolayı az katlı konutlarda tercih edilmiştir. 1990'lı yıllarda İskandinav ülkeleri, Birleşik Krallık ve Japonya ile uygulanmaya başlanan ahşap teşvik politikaları sayesinde konut sektörü başta olmak üzere ahşap yapılarda artış olduğu değerlendirilmektedir. Uygulanan politikaların etkisi İsveç ve Finlandiya'daki çok katlı ahşap konutlarda; Birleşik Krallık ve Japonya ise müstakil ahşap konutlardaki büyüme oranıyla görülmektedir. Bu yapılaşmanın sektör genelinde daha da yaygınlaşabilmesi için mevzuat yapılarının ve teşvik uygulamalarının artması gerekmektedir [Şişman ve Ökten, 2023].

Ahşap iskelet sistemlerde önemli adım ABD'nin konut ihtiyacının arttığı bir dönemde "Balloon Frame" sistemi ile atılmıştır. Bu sistemde dar kesitli ahşap elemanlar yakın aralıklar ile yerleştirilmekte ve köşegen desteklerle güçlendirilerek ağır ahşap iskelet

bir yapının sağladığı stabilite daha hafif bir sistem ile kurgulanabilmektedir. **[Bostancıoğlu ve Birer, 2004]**.

Daha eski bir sistem olarak yaygın biçimde kullanılan “Heavy Timber Frame” olarak adlandırılan ağır ahşap iskelet sistem ise kalın kolon ve kirişlerden oluşarak yapının yüklerini taşımaktadır. Sistem, uzun ömrü ve dayanıklılığı ön planda tutmaktadır. Fakat montaj süresi görece uzun ve maliyeti ise yüksektir. Açıkta duran yapısal ahşap elemanlar ise estetik olarak iç mekânda kullanılabilmektedir.

“Platform Frame” ise yapının her katının kendi platformu üzerinde inşa edildiği ve dikmelerin tek kat yüksekliğinde yer aldığı bir yapıdır **[Erkoç, 2004]**. Fabrika ortamında ön üretimli paneller ve standartlaştırılmış ahşap elemanların kullanımı ise, montaj süresini hızlandırarak çerçeve sisteme oranla daha kontrollü bir yapım süreci sağlanabilmektedir.

2.2. Panel Sistemler

Ahşap panel sistem, ön üretimli yapı elemanları olan paneller ile oluşturulmaktadır. Köşe birleşimleri dikmeler ile sağlanan paneller genellikle CLT başta olmak üzere endüstriyel ahşap ürünleri ile üretilmektedir. Kullanılan paneller sayesinde duvar, döşeme ve çatı yükleri temele aktarılmaktadır.

Sistem için temel üzerine kirişler ile 10x10 cm boyutlarında ana kirişler yerleştirilerek araya nem ve sudan korumak için metal koruyucu eşikler konmaktadır. Ana kirişlerin üzerine ise 40-60 cm aralıklarla 5x15 cm döşeme kirişleri ana kirişlere dik doğrultuda yerleştirilerek uç kısımlardaki alın kirişi sistemi birleştirilir ve döşeme kirişlerinin üzeri ahşap paneller ile kaplanır **[Erkoç, 2004]**.

Türkiye’de de ısı yalıtımlı duvar panelleri, döşeme ve çatı kirişleri, makasları gibi yapı bileşenleri fabrikada tasarlanıp üretilmektedir. Fabrikada ön birleşimli olarak üretilen duvar panellerinin kilit sistemi sayesinde iklim koşullarına uyumlu termal konforu koruyan bir sistem ortaya çıkmaktadır. Döşeme sisteminde ise geleneksele kıyasla da daha yüksek performans gösteren ı profil kirişler deformasyonlara karşı iyi bir dayanım sergilemektedir **[Bostancıoğlu ve Birer, 2004]**.

Ön üretimli paneller sayesinde proje süreleri kısalmakta ve işçi verimliliği artmaktadır. Yapı üretim sürecinde duvar bileşenlerinin saha teslimatı, panel sistemin

kullanılmasıyla önemli ölçüde kolaylaşmaktadır [Boafo vd., 2016] (Şekil 2.1). Bu sistem montaj sürecinin standartlaştırılması konusunda da yardımcı olmaktadır.



Şekil 2.1: Afyon’da Ahşap Yapı Kooperatifi [Bostancıoğlu ve Birer, 2004].

2.3. Modüler Sistemler

İnşaat sektöründe yüksek kalite, hız, enerji ve maliyetten tasarruf, şantiyede atık miktarının azalması, malzeme fire oranının azalması gibi önde gelen ihtiyaçlara cevap verebilen bir sistem olarak modüler sistem ahşap yapılarda da kendini göstermektedir. Özellikle tercih edilen ahşap, sürdürülebilir ve karbon emisyon dengesine olumlu katkı sağlayan bir kaynak olarak yüksek enerji gerektiren malzemeler yerine tercih edilebilmektedir. Böylece ahşap modüler sistem, verimli kaynak kullanımı ve verdiği düşük çevresel etki ile modern mimari yaklaşımlar ile inşaat sektörünün dönüşümünde öncü bir duruma gelmektedir.

Modüler sistemlerde, tüm modüller belirgin boyutlara sahip ızgaralar ile standartlaştırarak modüller yerleştirilmektedir. Binanın yapısal ifadesi, geleneksel taşıyıcı elemanlar yerine, modüllerin ek yerlerinde oluşturulan desenler ve cephedeki elemanlar için planlanan açıklıkların tekrarlayan örüntüsü ile oluşmaktadır [Buri ve Weinand, 2011].

Modüler yapım çeşitlerinde, duvar, döşeme ve çatı gibi mekânı oluşturan tüm bileşenler, fabrika ortamında önceden birleştirilmiş üniteler halinde üretilip sahaya sevk edilmektedir. Bu yaklaşım, diğer sistemlere kıyasla prefabrikasyon seviyesini arttırmaktadır. Tesisat malzemelerinin ise imalat aşamasında elemanlara montajlanarak hazır duruma getirilmesi ile şantiyede ihtiyaç duyulan işçilik süresi en

aza indirilmekte ve bu sayede süreç hızlanarak montajdan kaynaklanan hatalar azaltılmaktadır [Yürekli, 2023].

Ön üretimin standartlaştırılabilir olması kalite kontrol denetimlerinin, hızlı üretim sürecinin olmasını sağlamaktadır. Fabrikada üretilen yapı elemanları ve modüller şantiyede hızlı bir şekilde kurulabilmektedir. Ahşap tabanlı yapı bileşenleri, ön üretime uyumlu oldukları için fabrika ortamında büyük ölçekli 2B paneller veya tümüyle tamamlanmış 3B modüller şeklinde hazırlanıp sahada hızlı bir şekilde kurulabilmektedir [Day vd., 2019]. Böylece sahadaki çevresel ve operasyonel değişkenlerden en az seviyede etkilenip yapı üretiminde devamlılığın sağlanması ve işçilik hatalarının azaltılması sağlanmaktadır.

Modüllerin üretim sürecinde dijital teknolojilerdeki tasarım ve üretim araçları da giderek daha önemli hale gelmektedir. Bu aşamada BIM teknolojileri ile tasarım süreci hızlı, kolay ilerlemeyi ve modüler sistemin inşaat sürecinde potansiyel güçlüklerin tespit edilebilmesini sağlayan yardımcı teknolojiler olarak kabul edilmektedir [Calquin vd., 2024]. Böylece modüler sistemlerde tasarım ve üretim entegrasyonu sağlanmaktadır. Bir diğer teknoloji olarak robotik üretim teknolojisi ise modüler sistemde yapı bileşenlerinin demonte edilerek yeniden montaj işlemleri ile yapı elemanlarının tekrar kurulabilmesi ve yeniden kullanılabilmesini sağlamaktadır [Reisach vd., 2024].

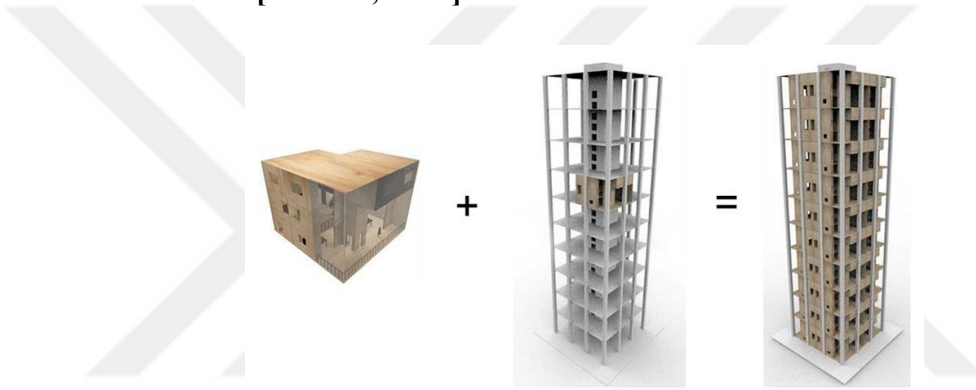
2.4. Hibrit Yapım Sistemleri

“Hibrit” kavramı yapı mühendisliğinde, iki farklı malzeme veya sistemin özelliklerinin birleştirilmesiyle her birinin avantajlarını en iyi şekilde değerlendiren ve böylece tek başına sağlayabilecekleri performanstan daha yüksek performans gösterebilen yapısal çözümleri ifade etmektedir [Fast, 2014].

Hibrit yapım sistemleri farklı malzeme çeşitlerini bir araya getirerek farklı avantajları olan durumlar için esnek çözümler oluşmasını sağlamaktadır. Farklı dayanımların gerektiği yüksek katlı, geniş açıklıklı yapılarda değerlendirilen bir sistem olmaktadır. Bu sistemde tekil yapı bileşeni için uygulanan hibritleşme kolon, kiriş, panel gibi yapı bileşeni farklı malzemelerin birleştirilmesiyle elde edilirken; sistem düzeyinde hibritleşmede düşey yatay taşıyıcı strüktürler gibi sistemlerde farklı yapı bileşenlerinde farklı malzemelerin kullanılmasıyla gerçekleştirilmektedir [Pastori

vd.,2022]. Çoğunlukla kiriş, döşeme ve duvarlarda tercih edilen ahşap beton kompozit ve çelik ahşap kompozit bileşenleri hibrit sistemde öne çıkmaktadır [Pastori vd.,2022].

Hibrit yapım sistemlerinde 7,5 metreye kadar döşeme açıklıkları sağlanabilir ve iyi bir performans çıktısı alınabilmektedir. Bu yapım sistemlerinde CLT paneller; ahşap taşıyıcı iskeletler, çelik veya betonarme sistemlerle birlikte kullanılabilir (Şekil 2.2). Böylece farklı malzemelerin nitelikleri bir arada değerlendirilmektedir. Ahşap kolon ve kirişlerle oluşturulan taşıyıcı sistemler, ahşap hibrit sistem olarak sınıflandırılmakta ve CLT paneller LVL, PSL veya GLT ile entegre edilebilmektedir. Ayrıca GLT, bağlantı detaylarının oluşturulmasında avantaj sağladığı için kullanılmaktadır [Yürekli, 2023].



Şekil 2.2: Yüksek katlı ahşap beton hibrit bina fikri [Pan vd., 2021].

2.5. Kabuk ve Kafes (Truss) Sistemler

Gelişen ahşap teknolojileri ile ahşap inşaat sürecinde farklı yapım sistemleri ve formlar kullanılmaktadır. Özellikle geniş açıklıkların geçilmesi, hızlı ve ekonomik üretim, estetik nitelik, hafiflik ve sürdürülebilirlik gibi beklentiler ile ahşap kabuk ve kafes sistemler taleplere yanıt vermektedir. Gelişen ahşap teknolojileri ile serbest biçimli yüzeylerin kurgulanabilmesi ve bu yüzeylerin etkin bir taşıyıcı sistem olarak rol üstlenmesi mümkün hale gelmektedir.

Kafes sistemler, düzlemde veya uzayda düzenlenmiş üçgen çubuk elemanlar ile oluşturulmuştur. Özellikle 19.yy. itibari ile Amerika'da kafes sisteminin gelişimiyle köprülerde sıkça kullanılmıştır [Çelik ve Şakar, 2022]. Ahşap yapılarda tarihsel olarak kafes sistemlerinin kullanımı öncelikle çatı makasları ve daha sonra köprüler ile olmuştur [Çelik ve Şakar, 2022] [Kim vd., 2009]. Modern zamanda kullanılan

ahşap kafes (truss) sistemlere önemli bir örnek ise Norveç'te bulunan 18 katlı Mjøstårnet yapısıdır. Bu yapıda kafes sistemler, cephelerde ve çatıda ana taşıyıcı sistemi desteklemek için kullanılmıştır [Abrahamsen, 2017] [Tulebekova vd.,2022].

Kabuk sistemler geniş açıklıkları ara kolon gerektirmeden geçebilmektedir. Karmaşık geometrik formları sebebiyle tasarım aşamasındaki doğruluğun netlik kazanması, doğru aktarılması ve üretim sürecinin yüksek hassasiyet ile ilerletilmesi gerekmektedir. Bu sistemler, geometrik yapı ve özelliklerine göre farklı alt sınıflara altında incelenmektedir.

Sınıflandırma, kabuk sistemlerin üzerindeki yüklere karşı gösterdiği yapısal davranışları belirlemektedir. Birinci grupta yer alan “Tek Eğrilikli Yüzeyler”; silindirik, koni ve kesik koni gibi tek bir doğrultuda eğime sahip geometrileri içermektedir. İkinci kategori olan “Çift Eğrilikli Yüzeyler”, eğrilik merkezlerinin yönüne bağlı olarak eş Eğrilikli (Küre, Elipsoit gibi dönel formlar) ve ters eğrilikli (Hiperbolik paraboloid, Katenoid gibi formlar) şeklinde iki alt gruba ayrılmaktadır. Özellikle ters eğrilikli yüzeyler, yapısal dirençlerinin daha yüksek olması nedeniyle mimari uygulamalarda ilgi çekmektedir. Üçüncü ve en esnek grup ise, matematiksel zorlukları barındıran kompleks yüzeyler, konoid gibi formlardan oluşan “Serbest Biçimli Yüzeyler” olarak tanımlanmaktadır. Bu geometrik farklılıklar, kabuk sistemlerin statik çalışmasını ve uygulanma biçimlerini doğrudan etkilemektedir [Türkçü, 2017] [Web 2, 2025].

Kubbe ve tonoz gibi yapılar yapısal ve estetik olarak verimli olan ince kabuk sistemler, yüzyıllardır mimarlık ve mühendislik alanlarında geniş açıklıkları kolonsuz geçebilmeyi sağlayan çözümler sunarak odak noktası olmayı sürdürmüştür [Robeller, 2019].

Ahşap ızgara kabuklar (gridshell) ise ince, uzun ve eğri çubukların bir ızgara ağı oluşturacak şekilde bir araya getirilmesiyle oluşturulmakta ve kabuk yapısı etkisi ile yükler etkili şekilde karşılanmaktadır (Şekil 2.3). Mannheim Multihalle, The Savill Garden, Trio Entrance Roof, Pompidou Center, Haesley Nine Bridges Golf Resort, Trio Entrance Roof, Lecce ve Toledo Gridshell ahşap ızgara kabukların önemli örneklerinden bazılarıdır [Koç, 2020]. Serbest formlu tasarımların uygulamalarındaki zorluklara rağmen ahşap ızgara kabuklar az malzeme ile geniş açıklıklar geçerek en verimli çözümlerden birini sunmaktadır. [Koç ve Gür, 2021].



Şekil 2.3: The Savill gridshell [Web 3, 2025].

2.6. Ahşap Kütük Sistemler

Ahşap kütük sistemler özellikle orman ve kırsal yerleşimlerde yaygın olarak kullanılan bir yapım yöntemi olmakla birlikte, diğer yapım sistemleri ile kıyaslandığında daha ağır olmaları ve maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle ekonomik açıdan sınırlı ölçüde tercih edilmektedir. Yığma sistem karakteri taşıyan bu yapılar, betonarme sürekli temel duvarlar üzerine inşa edilen sistemde temelin üzerine 5x15 cm ölçülerindeki taban yastıkları yerleştirilerek çelik dübeller ve kimyasal ankrajlarla sabitlenmektedir. Kütüklerin belirli bir sırayla yerleştirilmesiyle birleşim noktalarında düzenli aralıklarla yerleştirilen uzun vidalar ve metal cıvatalar ile yapısal dayanım artırılmakta, elemanlar aralarına uygulanan poliüretan yapıştırıcı ise sistemin rijitliği iyileştirmektedir. Kütüklerin yerleştirilmesinde ise pencere ve kapı boşluklarının planlaması dikkat edilerek ayarlanmaktadır [Erkoç, 2004].

Kütük sistemler, geleneksel ahşap yığma yapım sistemlerinin fabrikasyon biçimi olarak öne çıkmakta ve böylece daha karmaşık tasarımların uygulanmasına olanak tanımaktadır. Yapı elemanları doğal ahşap profiller veya tutkallı lamine ahşap kesitler ile hazırlanmaktadır [Çolak, 2025].

Ahşap kütük sistemlerinde kullanılan dikmeli yapım yönteminde köşelerde ve birleşim noktalarında yer alan dikmeler kütükleri birbirlerine bağlayarak yatay ve düşey yükleri karşılamaktadır (Şekil 2.4). Bu yöntemde yapı duvarları, dikmelerle birlikte taşıyıcı rol üstlenebildiği gibi bazı durumlarda ise sadece dikmeler taşıyıcı görevini almaktadır. Bir diğer yöntem olan geçmeli kütük yönteminde ise masif veya tabakalı kütükler için önceden belirlenen sıraya göre yerleştirilerek birleştirilmektedir. Rijitlik

ve yapı bütünlüğünün sağlanabilmesi için köşe ve duvar kesişmelerinde kütükler birbirine geçirilerek bağlanmakta ve duvar yüksekliği boyunca metal bağlantı elemanları kullanılmaktadır [Erkoç, 2004].



Şekil 2.4: Ahşap Kütük Sistem Ev Örneği [Web 4, 2025].

2.7. Türkiye’de Ahşap Yapım Sistemleri

Ahşap yapıların tarihsel süreci, inşaat yöntemlerindeki gelişmeler ve değişen toplumsal ihtiyaçlara göre beş farklı dönemde incelenebilir: Orta çağ öncesi, Orta çağ-18. yüzyıl, 18.-19. yüzyıl, 19.-20. yüzyıl ve günümüz. İlk dönemde basit barınak ve köprüler gibi temel yapılar görülmektedir. Sonraki dönemde inşaat mühendisliği mesleğinin gelişimiyle birlikte daha planlı ve dayanıklı yapılar ortaya çıkmıştır; özellikle kemer ve kafes köprü sistemleri bu dönemde öne çıkmıştır. 18. ve 19. yüzyıllarda karayolu ve demiryolu altyapısındaki büyüme, ahşabın köprü tasarımında öncelikli malzeme olmasını sağlamıştır. Betonarme ve çelik gibi endüstrileşmenin getirdiği malzemelerin ön plana çıkması ahşabın kullanımını geri plana itmiştir. 20. yüzyılda ise endüstriyel ahşap ürünlerinin geliştirilmesi ile günümüz modern ahşap yapı anlayışının temeli oluşturulmuştur [Çelik ve Şakar, 2022].

Türkiye’nin zengin orman örtüsüne sahip olması tarih boyunca ahşap yapı kültürünün sürmesini sağlamıştır. 17. yüzyıla uzanan ahşap yapı kültürü, 20. yüzyıla kadar konut yapılarında önemini sürdürmüştür. Fakat 1940’lı yıllar ile birlikte inşaat sektöründe yaşanan dönüşümle birlikte betonarme yapım sistemlerinin benimsenmesiyle zamanla oranı artmış ve ahşap yapıların oranı ise giderek azalmıştır. Günümüzde ise ahşabın taşıyıcı yapı elemanı olarak tercih edilmesi, geçmiş dönemlere kıyasla oldukça sınırlı bir düzeye gerilemiştir [Şişman ve Ökten, 2023].

Ahşap, Türkiye'nin geleneksel yapı kültüründe işlevsellik ve estetik nitelikleriyle önemli bir yere sahiptir. Günümüzde ise dünyada, gelişen dijital tasarım ve araçları, modern üretim teknolojileri ve endüstriyel ahşap malzemeleri sayesinde önemi artmasına karşı Türkiye'de modern anlamda ahşap yapı tasarımı ve uygulamalarının aynı ölçüde yaygınlık kazanmadığı görülmektedir.

Türkiye'de ahşap yapı tasarım ve uygulamaları, kültürel mirasın izlerini taşımakta fakat sınırlı düzeyde küçük ölçekli yapılarda veya ikincil yapı malzemesi olarak yeni yapılarda kullanılmaktadır.

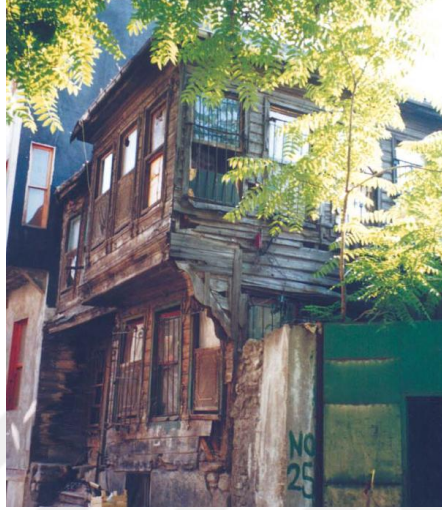
2.8. Türkiye'de Ahşap Yapı Kültürü

Doğal bir yapı malzemesi olarak ahşap yüzlerce yıllık Anadolu coğrafyasında yapı ihtiyacının karşılanmasında sürdürülebilir bir malzeme olarak kullanılmıştır. Ahşap, özellikle konut mimarisinde farklı kültürel etkileşimlerin özelliklerini taşımaktadır [Çobancaoğlu, 2003]. Ahşap, geleneksel Türk mimarisinde hem taşıyıcı sisteme ait bir malzeme olarak hem de estetik ve kültürel bir ifade unsuru olarak yer almıştır. Ahşabın yerel kaynaklardan kolay temin edilebilmesi, hafif ve yenilenebilir olması ve çevresel koşullara uyumlu bir malzeme olması tarih boyunca kullanımına; aynı zamanda bölgesel yapım teknikleri geliştirilmesine ortam sağlamıştır.

Anadolu'da 16.yüzyıldan itibaren konut mimarisinde ahşap kullanımı önemli yer almış; 18. yüzyıla kadar yapılan ahşap yapılar, Avrupa'daki çağdaş yapıların daha ilerisinde teknik özellikler göstermiştir. Türkiye'de Cumhuriyet dönemiyle değişen ekonomik ve demografik şartlar sebebiyle geri planda kalan ahşap, teknik ve mekanik özellikleri ile tekrar öne çıkmaya başlamıştır [Erkoç, 2004].

Geleneksel Türk evleri, bulundukları bölgeye göre farklı mimari detaylar göstermesine karşı işlev açısından benzerliklere sahiptir. Özellikle köylerde tek katlı ve birkaç odalı basit yapılar bulunurken, kasaba ve şehirlerde iki katlı, odalar arasındaki ilişkiler için eyvan veya galeri gibi bağlantılarla kurgulanmış plan tipleri tercih edilmiştir. Alt katlar genellikle servis alanlarına ayrılmakta, üst katlar ise oturma, yemek, çalışma ve yatak odalarından oluşmakta; odalar, çevresindeki alanlarla birlikte işlevsel bir plan düzeni ortaya koymaktadır [Çobancaoğlu, 2003].

Geleneksel Türk evlerinde iç mekân planlamaları, kullanım biçimlerine göre şekillenmekte; mekanların birbiri ile ilişkisi içeriden dışarıya tüm yapının dış kabuğunu belirleyen bir tasarım yaklaşımı üretmektedir (**Şekil 2.5**). Bu yaklaşım, planlama organizasyonundan, malzeme seçimine kadar tüm süreci kapsamaktadır [Yıldız, 2023].



Şekil 2.5: 20. yüzyıl başları kâgir bodrum kat duvarlar üstüne kurulan ahşap karkas sisteme sahip ev [Çobancaoğlu, 2003].

Türkiye’de kentleşme sürecinin hızlanması ile ahşap evlerin yerine betonarme iskelet ve kâgir yığma sistemler geçmiştir [Avlar, 1995]. Günümüzde modernleşme ile evrilen tasarım ve üretim teknolojileri ile ahşap yapım sistemleri eski kullanım yaygınlığını kazanmaya çalışmaktadır. Türkiye’de genellikle modüler veya prefabrik şekilde hafta sonu evleri olarak ve bazı otellerde ahşap evler kullanılmaktadır (**Şekil 2.6**).



Şekil 2.6: Antalya’da bulunan bir ahşap otel [Web 5, 2025].

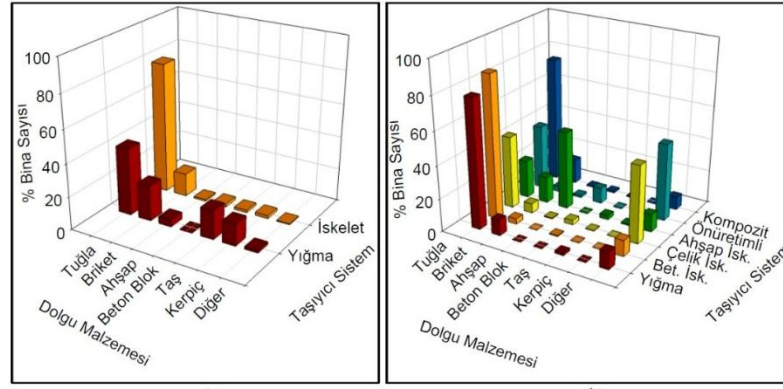
Türkiye’de yapı sektöründe yapısal ahşap kullanım oranı gerilese de ülke tomruk, kereste gibi hammadde üretimi ve temini bakımından avantaja sahiptir [Akça vd., 2014]. TÜİK, 2010 verilerine göre Türkiye’de taşıyıcı sisteme göre sınıflandırılmış yapı kullanma izin belgeleri aşağıda gösterilmiştir (Tablo 2.1):

Tablo 2.1: Taşıyıcı sisteme göre sınıflandırılmış yapı kullanma izin belgeleri tablosu [Web 6, 2025].

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Toplam hane	161 49	162 908	164 994	249 816	295 389	326 484	357 286	404 058	363 053
Betonarme	153 627	156 281	158 025	243 049	283 276	317 816	347 389	392 974	355 504
Çelik	39	101	288	82	313	743	480	699	378
Ahşap	17	15	19	130	449	294	1.245	257	193
Diğer	7 808	6 511	6 662	6 555	11 351	7 631	8 172	10 128	6 978
Betonarme (%)	95.1	95.9	95.8	97.3	95.9	97.3	97.2	97.3	97.9
Ahşap (%)	0.01	0.01	0.01	0.05	0.15	0.09	0.30	0.06	0.05

Geleneksel ahşabın sınırlamalarının aşılabilmesi için daha dayanıklı, boyutsal stabilitesi yüksek bir yapı malzemesi gerekmektedir. Bu yüzden modern ahşap yapının üretilmesinde sürdürülebilirlik, yüksek performans beklentilerinin de karşılanabilmesi için yapısal ahşap ürünler teknolojinin ilerlemesiyle daha da gelişerek yaygınlaşmaktadır.

Türkiye’de 2000 yılı öncesi yapılan iskelet sisteme sahip yapılarda en fazla kullanılan malzeme %79 oranında tuğla dolgu malzemesi iken, briket %14’lük oran ile kullanılmaktadır. 2001-2015 yapı izin istatistiklerine göre dolgu malzemesi olarak tuğla %85 ile yeni bina stoğunda tercih edilirken; betonarme iskelet binaların ise %86’sında kullanılmıştır. Ahşap iskeletli binalarda ise dolgu malzemesi olarak %51 ile en çok ahşap kullanıldığı değerlendirilmiştir. Çelik iskeletli yapılarda tuğla %44 ve diğer dolgu malzemeleri %47 oranlarında kullanılmıştır. Kompozit sistemlerde dolgu malzemesi olarak tuğla ve briket, ön üretimli sistemlerde ise hafif panel öne plana çıkmıştır. Yığma binalarda ise 2000 öncesi tuğla %40, briket, taş ve kerpiç çeşitli oranlarda kullanılmıştır. 2001-2015 yılları arasında tuğla kullanımı %78 oranda belirgin bir artış göstermiştir. Bu veriler, dolgu malzemesi tercihlerindeki değişimin zamana bağlı olmasının yanında bölgesel farklılıklardan da etkilendiğini ilişkili ifade etmektedir [Ay ve Azak, 2021] (Şekil 2.7).



Şekil 2.7: 2000 Bina Sayımı (a) ve 2001-2015 Yapı İzin İstatistikleri (b) verilerine göre taşıyıcı sistem tipi ve dolgu malzemesine göre bina yüzdeleri [Ay ve Azak, 2021].

Türkiye’de ahşap yapı kültürü, geleneksel yöntemlerden fabrika üretiminin desteklendiği modern prefabrik ve modüler sistemlere doğru sınırlı da olsa bir dönüşüm geçirmektedir. Ahşap, estetik ve çevresel sürdürülebilirlik özellikleriyle bazı projelerde tercih edilmektedir; özellikle enerji verimliliği ön planda tutulan konutlar, kültürel yapılar ve küçük ölçekli yapılar bu kapsamda öne çıkmaktadır. Ancak modern ahşap uygulamalar hâlen yeterli çoğunlukta değildir ve sektörde genelinde kısıtlı sayıda pilot projeler ve üretim yapan şirketler bulunmaktadır.

Dijital tasarım ve üretim teknolojileri, modern ahşap yapı sektöründe giderek daha kritik bir hale gelmektedir. Türkiye’de CAD, BIM ve CNC tabanlı tasarım ve üretim yöntemleri; CLT, glulam gibi endüstriyel ahşap kullanılan paneller planlama ve üretim süreçlerinde kısmi şekilde tercih edilmektedir ve uygulama alanı hâlen sınırlıdır. Parametrik tasarım ve dijital üretim teknikleri, sahada hızlı montaj imkânı ve düşük hata oranı sunmaktadır. Bu tekniklerin sektördeki kullanım eksikliği nedeniyle hâlâ deneysel bir niteliğe sahiptir. Sürdürülebilir mimariye talebin artması ve bu mimaride dijital teknolojilerin kullanılması, Türkiye’deki modern ahşap yapıların önemini arttırarak mimaride ön plana çıkmasını sağlamaktadır.

2.9. Mevzuat ve Uygulama Sınırlılıkları

Ahşap yapı sistemlerinde tasarım ve üretim süreçlerinin standartlaştırılması, yapısal ahşaptan yüksek performans alınabilmesini ve güvenliğin sağlanabilmesi için oldukça önemlidir. Bu süreçlerde işlem hassasiyeti adımının doğru şekilde yapılması, tasarım

ve üretim süreçlerinde hata azaltma performansının sağlanmasıyla bağlantılıdır [Avcı ve Öztaş, 2025].

Türkiye’de ahşap yapılaşmanın yaygınlaşması, güçlü bir yasal çerçeve, yönetmelikler ve standartlarla mümkün olacaktır [Şişman ve Ökten, 2023]. Ulusal ve uluslararası standartlar malzeme kalitesi, dayanıklılık, tasarım ve yapım süreçlerinde uyulması gereken kuralların belirlenmesi ve mühendislerin tasarım kararlarını güvenli ve tutarlı bir şekilde alabilmesi için gereken unsurları içermektedir. Bunun yanında yönetmelikler, uygulamada uyulması gereken kuralları belirleyerek yapı güvenliğini, yangına karşı performansını ve çevresel uyumluluğu sağlamaktadır.

TS EN 1995 (Eurocode 5) standardı, Avrupa Birliği uyum süreci çerçevesinde Türkiye’de yürürlüğe giren standartlardan biridir. Bu standart ile ahşap taşıyıcı sistemlerin tasarım ve hesaplama esaslarını belirlenmekte ve bu alanda ortak teknik çerçeve oluşturulmaktadır. Standardın amacı, yapısal güvenliği sağlamak ve ahşabın malzeme özelliklerini en verimli biçimde kullanılmasını sağlayarak sisteme rehberlik etmektir. TS EN 1995: Eurocode 5 ve diğer ilgili TS EN standartları ile ahşap yapı uygulamaları yönlendirilmektedir.

Türkiye’de ahşap yapılar da tasarım ve üretim süreçlerinin yönlendirilmesi konusunda mevzuat yetersiz kalmaktaydı. 01.01.2025 tarihinde “Ahşap Binaların Tasarım Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik” yürürlüğe girmiştir [ResGaz, 2024]. Bu yönetmelik ile eksikliğin giderilmesi için büyük bir adım atılmıştır. Taşıyıcı ahşap yapı elemanlarının güvenli, işlevine uygun ve standartlara dayalı olarak tasarlanması ile inşa edilmesine ilişkin esasları belirleyen yönetmelik; ahşap elemanlardan oluşan ya da farklı taşıyıcı sistemlerle birlikte kullanılan ahşap yapıların tasarım ve üretim süreçlerini bütün bir çerçevede değerlendirmektedir [ResGaz, 2024].

Ahşap Binaların Tasarım Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik [ResGaz, 2024]’e göre

Ahşap binaların tasarımı, bu esaslarla birlikte Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’nde (TBDY) ve TS EN 1990’da verilen kurallara uygun olarak gerçekleştirilir. Mevzuat hükümlerine ve esaslarına uyularak, ahşap binaların planlanan kullanım ömrü boyunca, gerek ve yeter dayanıma, rijitliğe ve stabiliteye sahip olacak biçimde, ekonomik tasarımının gerçekleştirilmesi sağlanır. Bu Esaslarda ve TBDY’de verilen kurallara uyumlu olmak üzere, TS498’deki ve TS EN 1991’deki yükleme durumları ve koşulları da gözetilerek; gerçekçi yük dağılımı, uygun analiz yaklaşımı kullanılarak; yeterli dayanım, stabilite, sünme, süneklik, kullanılabilirlik koşulları oluşturulmak üzere; yapısal elemanların katlar arasında devamlılığı, düzenli yapısal eleman yerleşimi sağlanarak; yeterli dayanım, stabilite, sünme, süneklik, kullanılabilirlik koşulları oluşturulmak üzere; mevzuat gerekliliklerine uygun statik proje inşaat mühendisince yapılır.

Ahşap yapıların tasarım ve üretimi için yönlendirici olan ve uyulması gereken yönetmelikler şu şekilde sıralanabilir:

- BYKHY- Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik,
- TBDY- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği,
- Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği,
- ÇYTHYE- Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik,
- Yapı Malzemeleri Yönetmeliği,
- Ahşap Binaların Tasarım Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik.

Yapı güvenliği, doğru malzemenin kullanımının sağlanması, üretim ve kurulum gibi süreçlerin doğruluğu için yönetmelikler ile standartlar birlikte ele alınmalıdır.

Masif ve tutkallı ahşap gibi yapısal ahşap ürünlerinin üretiminde, dünya genelinde kalite ve yapısal hesaplamalara uygunluğun sağlanabilmesi için bazı uluslararası esaslar oluşturulmuştur. Türkiye’de ise söz konusu ürünlerin kullanım şekillerini ve performansını düzenleyen bazı Avrupa Birliği uyumlu standartlar yürürlükte **[Akça vd., 2014]**. Ahşap yapıların tasarım ve üretiminde dikkat edilmesi gereken Avrupa uyumlu standartlar şunlardır:

- Euro Code 5: Ahşap Yapıların Tasarımı (TS EN 1995),
- Ahşap ve Ahşap Esaslı Mamullerin Dayanıklılığı-Kullanım Sınıfları (TS EN 335),
- Soyma Tabakalı Yapısal Lamine Kereste (TS EN 14374) (10.04.2008),
- Tutkallı Lamine kereste ve Tutkallı Masif Ahşap (TS EN 14080) (18.12.2013),
- Yapı Kerestesi ve Tutkallanmış Lamine Kereste-Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Tayini (TS EN 408+A1) (16.04.2014),
- Dikdörtgen kesilmiş yapı kerestelerinin mukavemet sınıflandırması (TS EN 14081-1+A1) (30.09.2019),
- Ahşap ve Ahşap Esaslı Ürünlerin Dayanıklılığı (TS EN 460) (24.04.2023).

Ahşap Binaların Tasarım Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmeliğinde bahsedilen diğer standartlar:

- Yapı Tasarım ve Geoteknik Tasarım Esasları (TS EN 1990) (24.04.2023),

- Yapılar üzerindeki etkiler – Bölüm 1-4: Genel etkiler – Rüzgâr etkileri (Eurocode 1) (TS EN 1991-1-4),
- Eurocode 1: Yapılara olan etkiler- Bölüm 1-3: Kar yükleri (TS EN 1991-1-3),
- Yapı kerestesi- Mukavemet sınıfları (TS EN 338) (09.12.2016),
- Yapı kerestesi- Mukavemet sınıfları- Ağaç türleri ve görsel sınıfların tasnifi (TS EN 1912) (08.07.2024),
- Yapı keresteleri- Deney metotları- Dübel tipi bağlayıcıların temel değerleri ve gömülme mukavemetinin tayini (TS EN 383),
- Yapıştırıcılar- Yük taşıyan kereste yapılar için tek bileşenli poliüretan- Sınıflandırma ve performans özellikleri (TS EN 15425) (24.04.2023),
- Yapı keresteleri- Deney metotları- Dübel tipi bağlayıcıların eğilme momentinin tayini (TS EN 409) (19.01.2010),
- Ahşap yapılar- Deney yöntemleri- Ahşap çerçeveli duvar levhalarının düzlemlerine paralel yüklere karşı dayanıklılığı ve sağlamlığı (TS EN 594) (31.01.2012),
- Lif levhalar- Özellikler-Bölüm 2: Sert Levhaların Özellikleri (TS 64-2 EN 622-2) (31.03.2005),
- Lif Levhalar- Özellikler- Bölüm 3: Orta sert levhaların özellikleri (TS 64-3 EN 622-3) (31.03.2005),
- Lif levhalar- Özellikler- Bölüm 5: Kuru işlemli levhalar (MDF) için gerekler (TS EN 622-5) (12.04.2011),
- Kontrplak- Özellikler (TS EN 636:2012 + A1) (27.08.2015),
- Ahşap bağlayıcıları- Ahşap bağlayıcıların özellikleri (TS EN 912) (31.01.2012),
- Ahşap Yapılar- Deney metotları- Delikli metal levha bağlayıcılar ile yapılan birleştirmeler (TS EN 1075),
- Ahşap yapılar- Deney yöntemleri- Yük taşıyıcı çiviler, vidalar, dübeller ve cıvatalar (TS EN 1380) (19.01.2010),
- Ahşap yapılar- Deney yöntemleri- Karıca kullanılarak yapılmış yük taşıyıcı birleştirmeler (TS EN 1381) (24.03.2016),
- Ahşap yapılar- Deney yöntemleri- Ahşap bağlayıcılarının geri çekilme kapasiteleri (TS EN 1382) (24.03.2016),

- Ahşap yapılar- Deney yöntemleri- Ahşap elemanların ahşap bağlayıcıların çekme kuvvetine karşı direnci (TS EN 1383) (24.03.2016),
- Yapılarda kullanılan ahşap esaslı levhalar- Karakteristikler, uygunluğun değerlendirilmesi ve işaretleme (TS EN 13986+A1) (23.10.2015),
- Ahşap yapılar- Dikdörtgen kesilmiş yapı kerestelerinin mukavemet sınıflandırılması- Bölüm1: Genel gereklilikler (TS EN 14081-1+A1) (30.09.2019),
- Soyma tabakalı lamine kereste (LVL)- Tarifler, sınıflandırma ve özellikler (TS EN 14279+A1) (29.04.2010),
- Ahşap yapılar- Karakteristik değerlerin ve kabul kriterlerinin hesaplanması (TS EN 14358) (09.12.2016),
- Ahşap yapılar- Soyma tabakalı yapısal lamine kereste – Gereklilikler (TS EN 14374) (10.04.2008),
- Ahşap yapılar- Bağlayıcılar – Gereklilikler (TS EN 14545) (19.01.2010),
- Ahşap yapılar- Kavela tipi bağlantı elemanları – Gereklilikler (TS EN 14592) (12.05.2022),
- Ahşap yapılar- Mekanik bağlayıcılar ile yapılmış birleştirmeler -Mukavemet ve deformasyon özelliklerinin tespiti için genel prensipler (TS 5190 EN 26891) (17.04.2003),
- Ahşap yapılar- Yapı kerestesi ve yapıştırılmış lamine kereste -Bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin tayini (TS EN 408+A1) (16.04.2014),
- Yapı kerestesi- Mekanik özellikler ve yoğunluğun karakteristik değerlerinin tayini (TS EN 384+A2) (30.09.2022),
- Yapıştırıcılar- Yük taşıyan kereste yapılar için tek bileşenli poliüretan - Sınıflandırma ve performans özellikleri (TS EN 15425) (24.04.2023),
- Yapıştırıcılar- Polimerize olmuş izosiyanat emülsiyonu (PIE) -Yüke maruz ahşap yapılar için Sınıflandırma ve performans gerekleri (TS EN 16254) (24.04.2023),
- Yönlendirilmiş lif levhalar (OSB) -Tarifler, sınıflandırma ve özellikler (TS EN 300),
- Yonga levhalar- Özellikler (TS EN 312) (05.06.2012),
- Ahşap yapılar- Çapraz tabakalanmış ahşap levha -Gereklilikler (TS EN 16351) (12.04.2021).

Ahşap malzemelerin üretimi, ahşap yapıların tasarım ve performans süreçleri için yönetmelikler ve standartlar ile uyulması gereken şartlar belirlenerek güvenli bir çerçeve oluşturulmaktadır.

2025 yılında uygulamaya giren “Ahşap Binaların Tasarım Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik” taşıyıcı ahşap yapı elemanlarının tek başına veya farklı yapı sistemleri ile yapılan bina türü yapılar için yeterli güvenlikle tasarım ve yapım süreçlerini düzenlemeyi amaçlamaktadır [ResGaz, 2024]. Yönetmelik Türkiye’deki ahşap yapılar için tasarım, hesap ve yapım esasları konularındaki mevzuat boşluklarını gidermeyi hedeflemektedir. Yönetmelikte Avrupa standartlarına uyum kapsamında hazırlanan standartlardan destek alınmıştır [ResGaz, 2024].

Ahşap Binaların Tasarım Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik 6 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm, ahşap yapıların tasarımında temel esaslar, kapsam, dayanaklar ve tasarım ilkelerinden bahsedilmektedir. Yapısal tasarım için temel ilkeler, güvenilirlik ve sınır durumlar tasarım yöntemidir. Sınır durumlar tasarım yöntemine göre; dayanım sınır durumu, kullanılabilirlik sınır durumu, yangına karşı tasarım ve yalıtım tasarımı sınır durumlarına göre tasarım sürecine yaklaşılmaktadır. Yapı güvenliğinin sağlandığı, hesaplamalar ile kontrol edilmelidir. Ayrıca ahşap yapıların tasarımında dikkate alınacak yükler ve yük birleşimlerine ilişkin esaslar, dayanım ve rijitliğe ilişkin esaslar, bu esaslar kapsamında tanımlı ağaç türleri ve kalite kontrolü gibi bilgiler yer almaktadır [ResGaz, 2024].

Yönetmeliğin ikinci bölümünde masif ahşap, tutkallı lamine ahşap ve lamine levha ahşap gibi malzemelerin boyut katsayısı, metal bağlantı elemanlarının özellikleri ve tutkallar dahil olmak üzere detaylı malzeme gereksinimlerinden bahsedilmektedir [ResGaz, 2024].

Üçüncü bölümde, yapısal modelleme, analiz ve hesaplama yöntemi üzerine ahşap yapıların davranışını belirlemede analitik hassasiyet gerektiren ve özel hesaplama yöntemlerini zorunlu kılan hükümleri kapsamaktadır. Bu çerçevede, karmaşık yapısal güvenlik ve stabilite koşullarının sağlanmasında belirli analitik araçların önemini dolaylı olarak ifade etmektedir. Yönetmelik geniş açıklıkları geçen narin makas sistemlerinde, tüm yönlerde burkulma analizinin analiz programları kullanılarak yapılmasını belirtmektedir. Yapısal analiz konusunda, modellemede Sonlu Elemanlar Modellemesinin kullanılabileceği ve analizlerde elemanların süreklilik ve bağlantı

durumlarının tanımlanması gerektiğidir. Ayrıca, modelleme sürecinde yapının zaman içerisinde ve termal etkilerle olan etkileşiminin dikkate alınması gerekmektedir. Yönetmelik, hiperstatik sistemlerde; nem, sıcaklık gibi ve diğer etkili kuvvetler sebebiyle oluşacak sünmenin neden olacağı yükün yeniden dağılımı hesaba katılmalıdır. Yangın güvenliği ile ilgili analizlerde ise yönetmelikte detaylandırılan 6.bölümdeki bilgiler geçerli olarak yanma süresince oluşacak etkilerin hesaba katılması gerekmektedir. Yönetmeliğin detayları yapısal mühendislik araçlarının kullanımını teşvik eden bir zemin oluşturduğunu göstermektedir [ResGaz, 2024].

Dördüncü bölümde, dayanım durumu için tasarım kurallarından bahsedilmektedir. Ahşap yapı elemanlarının yük taşıma gücünün güvenliğini sağlamak amacıyla kontrol ve hesaplama koşullarını içermektedir. Bu bölüm, ahşap malzemelerin maruz kaldığı tüm yükleme türlerine ait dayanım kapasitelerine göre hesap ve tasarım yapılmasını içermektedir. Kafes kiriş sistemler, sistem stabilitesi konusunda büyük öneme sahip oldukları için ise bu sistemlere özel hükümler getirilmektedir. Bölümde, tutkallı lamine ahşap elemanların karakteristik dayanım özellikleri, homojen ve kompozit tipler için ayrı tablolar halinde verilmektedir. CLT malzemesi için ise yapı elemanları için tasarım esasları ve bu tasarımlarda kullanılacak olan hesaplamaları içermektedir. Hafif çerçeve duvar sistemleri (perde duvarlar), gelen yükleri taşıyabilecek ve devrilmeyi, kaymayı önleyecek şekilde tasarlanmaktadır. Sistemdeki yatay yükleri taşıyacak olan perde duvarın taşıma kapasitesi, TS EN 594 standartlarına uygun testlerle veya doğru hesaplama yöntemleri ile oluşturulan modellerle belirlenmektedir. Bu duvarlar için yönetmelik, Yöntem I ve Yöntem II olmak üzere iki basitleştirilmiş hesaplama yöntemi sunmaktadır. Dayanım konusu ile ilgili diğer konular için bu yönetmeliğe, diğer ilgili yönetmelik ve standartlara uyulması gerektiği belirtilmiştir. [ResGaz, 2024].

Beşinci bölümde, ahşap yapılar için uyulması gereken kullanılabilirlik sınır durumu için tasarım kuralları, yapıdan beklenen performans şartlarını iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Bu bölüm, yapısal elemanlarda meydana gelen deformasyon, göllenme gibi değişimlerin kontrollerini belirlenen sınırlar ile düzenlemektedir. Bu kapsamda, ahşap yapı elemanlarında oluşacak sehimler, anlık sehim ve nihai sehim olmak üzere iki durum için değerlendirilmektedir ve yönetmelikteki sınır değerlerine uyulmalıdır [ResGaz, 2024].

Altıncı bölümde, yangın güvenliği için tasarım kuralları başlığı altında ahşap binaların yangın anındaki yapısal dayanıklılık ve bütünlüğü korumak hedeflenmektedir. Yangına maruz kalan yapı elemanlarının dayanımı uygun tasarım dayanımı üzerinden gerçekleştirilmesi öngörülmektedir. Bu hesaplamalarda, yangın sırasında oluşan kömürleşme hızı ve derinliği esas alınmaktadır ve bütünsel yapısal analizlerde yangın sonucundaki hasar durumu, malzeme ve elemanların sıcaklığa bağlı durumları, ısı genleşmelerin ve şekil değiştirmelerin etkileri dikkate alınmalıdır. Ahşap yapı tasarımında duvar ve döşeme sistemleri için hesaplamalar ve analizler için yöntemlerden bahsedilerek, ahşap yapıların yangın güvenliği kritik noktalardan biri olan birleşimler hakkında özel tasarımlar hakkında bilgi verilmiştir. Yapısal elemanların yangına karşı korunması için gerekli detaylandırmalar, yüksek uygulama hassasiyetini gerektirmektedir. Bu detaylandırmalarda imalat sürecini kapsayan elemanların asgari ölçüleri, yalıtım malzemelerinin özellikleri, panel birleşimleri ve boşlukları gibi detaylar ile yangına karşı güvenlik hedeflenmektedir [ResGaz, 2024].

3. AHŞAP YAPI TASARIMINDA DİJİTALLEŞME SÜRECİ

Ahşap yapı tasarımı geleneksel yapım yöntemleri ile yüzyıllar boyu barınma ve mekânsal ihtiyacı karşılamıştır. Dünya nüfusundaki sürekli artış, doğal kaynakların ve enerjinin hızlı tüketimine yol açarak sürdürülebilir inşaat yaklaşımlarına ihtiyacı artmıştır. Doğal ve yenilenebilir olan ahşap, dijital tasarım ve üretim yöntemleriyle birlikte yeni bir çağa başlamıştır. 21.yy. başından itibaren dijital tasarım ve üretim teknolojilerindeki hızlı ilerlemeler, CAD (Bilgisayar destekli tasarım), CAE (Bilgisayar destekli mühendislik) ve CAM (Bilgisayar destekli üretim) alanlarındaki gelişmeler ise ahşap tasarımında önemli bir yenilik olan ızgara kabuk tasarımını kayda değer ölçüde ilerletmiştir [Koç ve Gür, 2021] [Tang vd., 2013]. Endüstri çağıının standart üretim anlayışının aksine, dijital çağda parametre tabanlı tasarım araçları ve kontrol edilebilir üretim makineleri sayesinde daha özgün tasarım ve üretimler yapılabilmektedir [Buri vd., 2011]. Böylece dijital tasarım ve üretim ile ahşabın geleneksel yöntemlerde sınırlı kalan hassasiyet, hızlı üretim ve tasarım esnekliği gibi nitelikleri aşılmıştır.

Dijital çağın CAD kadar önemli diğer tasarım aracı olan BIM; tasarım ve inşaat sürecinde çok boyutlu ve veri tabanı olan bir araç olarak kullanılmaktadır [Calquin vd., 2024]. Bu bağlamda, bilgisayar destekli tasarım araçları ile veri yönetim sistemleri tasarım ve uygulama süreçlerinde iş birliği içerisinde olmaktadır. Ahşap yapı tasarımında bu dijitalleşme ile koordinasyonu arttırarak hata ve malzeme israfının önüne geçilmektedir.

Endüstrileşme ile ahşap yapı elemanları hassas ve standart şekilde üretilebilmektedir. Böylece ahşap elemanlar, CAD ve BIM dijital tasarım araçları ile daha entegre olarak tasarım ve üretim sürecindeki uyumu güçlendirmektedir.

3.1. Ahşap Yapılarda Endüstrileşme ve Modern Üretim Yöntemleri

Doğal ve kolay temin edilebilen ahşap çekme gerilmelerini karşılayabilmesi, ağırlığına kıyasla taşıma gücünün yüksekliği gibi avantajları öne çıkarmaktadır [Çelik ve Şakar, 2022]. Endüstrileşme öncesinde de kullanılan ahşap, doğal haliyle el işçiliği

kullanılarak yapı üretiminde kullanılmıştır. Bu dönemde kullanılan doğal ahşabın boyutları da taşıyıcı elemanın sınırlarını belirlemiştir. Endüstrileşme ile birlikte ortaya çıkan makinelerle veya el ile ahşap kolayca işlenebilir ve inşaatla kullanabilir hale gelmiştir [Svilans vd., 2019]. Endüstrileşme ile meydana gelen makineleşme, gelişmiş malzeme işleme teknikleri; yapı elemanlarının standartlaşabilmesini ve ahşabın hibrit olarak başka malzemeler ile birleşebilmesini sağlamıştır. 20. yy.'ın ortalarından itibaren endüstriyel ahşap ürünleri, doğal ahşabın sınırlarını aşarak daha büyük açıklıklar geçilebilmesini, yüksek katlı yapılarda kullanılabilmesini, taşıma kapasitesinin artmasını ve daha esnek tasarımların yapılabilmesini sağlamıştır.

3.1.1. Endüstriyel Ahşap Malzemeler

Doğal ahşap geleneksel üretim teknikleriyle çeşitli dönemlerde inşaat alanında az katlı yapılar için kullanılmıştır. Endüstriyel gelişmeler ile ahşap strüktürün dikey ve yanal yüklere dayanıklılığını arttırmak amacıyla ahşap, nitelikli ve dayanıklı mühendislik ürünü olan endüstriyel ahşap malzemelerine dönüşmüştür [Erdoğan ve Begeç, 2021]. Bu malzemeler inşaat alanında çeşitli uygulamalarda değerlendirilmektedir [Çelik ve Şakar, 2022]. 20.yy. da laminasyon tekniklerinin gelişmesiyle birlikte endüstriyel ahşap ürünler inşaat sektörüne girmiştir [Barış, 2022].

Endüstrinin ve dijital çağın getirdiği teknolojik gelişmeler ve endüstriyel ahşap ürünler eşliğinde günümüzde çok katlı ve geniş açıklıklı yapılar inşa edilebilmektedir. Endüstriyel ahşap ürünler taşıyıcı özelliklerinin yanı sıra dijital tasarım ve üretim süreçleriyle entegre çalışabilmeleri sayesinde modern mimaride önemli bir yerdedir. Endüstriyel ahşabın CAD/BIM araçlarında parametrik olarak veya 2B ölçümler ile modellenebilmesi, dijital fabrikasyon teknikleriyle işlenebilmesi ve prefabrikasyona uygun olması modern uygulamalara olanak tanımaktadır. Mühendislik ahşap ürünleri üretim ve birleştirme yöntemleri açısından; Glulam, CLT, SCL, LVL, PSL, OSB, LSL, TCC, Çivili Tabakalı Ahşap (NLT) ve Dübelli-Ağaç çivili lamine Ahşap (DLT) çeşitlerine göre ayrılabilir [Barış ve Gür, 2021]. Bu malzemelerden özellikle CLT ve glulam ahşap ürünleri kuzey ülkelerinde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır [Gül ve Mayuk, 2019].

3.1.1.1. Glulam

Modern yapı sektöründe önemli bir yere sahip olan glulam, en eski mühendislik ahşap ürünlerinden biridir. Ahşap malzemesinin mukavemet gücünün çelikte olduğu gibi betondan daha iyi bir performans sağlayabildiği öne çıkmaktadır [Ramage vd., 2017]. Glulam, ahşap yapılarda önemli bir yer edinmiş olup 1901 yılında Otto Karl Friedrich Hetzer tarafından 1901 yılında üretilmesi nedeniyle “Hetzer” sistemi adıyla da bilinmektedir [Çelik ve Şakar, 2022]. Glulam, douglas köknarı, ladin-çam-köknarı (SPF) ve batı baldıranı gibi türlerden yapılmaktadır. Hammadde kaynağı olarak ahşap yapıştırıcısı olarak melamin formaldehit (MF) ve poliüretan (PUR) esaslı yapıştırıcılar kullanılmaktadır. Glulam elemanlar, ahşap lamellerin düşey veya yatay doğrultuda liflerin birbirine paralel olarak yapıştırılmasıyla elde edilmektedir [Şanlı ve Vural, 2021b] [Karayılmazlar vd, 2007].

Üretimde masif ağacın bütün olarak kullanılması eğimli elemanların üretiminde fireyi arttırarak ve diyagonal lifliğe neden olarak mukavemetini düşürmekte; bunun yanı sıra masif ağaçta bulunan budak, çatlak miktarı ve lif yönlerindeki düzensizlikler üretimin sürdürülebilir ve ekonomik olmamasına neden olmaktadır [Karayılmazlar vd, 2007]. Glulam’da kullanılan laminasyon teknolojisi sayesinde geniş açıklığı geçebilen, çok katlı yapılarda kolon, kiriş, makas ve kemer gibi yapısal elemanlar uygulanmaktadır [Avlar, 2021] (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Glulam kirişlerden elde edilmiş çatı örtüsü [Web 7, 2025].

3.1.1.2. CLT

CLT, lifleri ahşap katmanlara dik açıyla olacak şekilde lamine edilmesiyle oluşturulan yüksek mukavemete ve rijitliğe sahip endüstriyel bir malzemedir [**Żmijewki ve Wojtowicz-Jankowska, 2017**]. CLT paneller, yüzeylerin yapışma kalitesinin artması için zımparalanarak üst üste yerleştirilmekte ve presleme yöntemiyle birleştirilmektedir [**Şanlı ve Vural, 2021a**]. Orman kaynaklarından temin edilen düşük değerli kereste inşaat teknolojisinin kullanılmasıyla yüksek değerli bir malzemeye dönüştürülmektedir [**Mallo ve Espinoza, 2015**]. Bu özelliği ile CLT ile sürdürülebilir kaynak kullanımı sağlanmaktadır.

Glulam, LVL gibi kolon, kiriş yapısal elemanlarında kullanılan endüstriyel ahşap malzemelerin üretiminde, lif yönleri tek yönlü yani paralel olarak kullanıldığı için tek doğrultuda yük iletmektedir; CLT malzeme de ise düşey ve yatay olarak iki yönde yükler iletildiği için kolon elemanı veya kiriş olarak çok fazla tercih edilmemektedir [**Şanlı ve Vural, 2021a**]. CLT malzeme duvar paneli, döşeme, çatı paneli ve merdiven yapı elemanları olarak geçilen açıklığa ve yapım sistemine göre ahşap yapı inşaatında kullanılmaktadır [**Yürekli, 2023**] (**Şekil 3.2**). Bu sistem ile geleneksel ahşabın form, boyut ve esneklik gibi kısıtlamaları ortadan kalkmaktadır. Dijital ortamda tasarım araçları ile tasarlanan ahşap modeller farklı yük ve geometri koşullarına uyarlanabilmektedir. CNC (Sayısal Kontrollü Bilgisayar) araçları ile CLT elemanlar fabrika ortamında tasarımda istenen geometride hassas şekilde işlenerek üretilabilmektedir [**Gül ve Mayuk, 2019**].

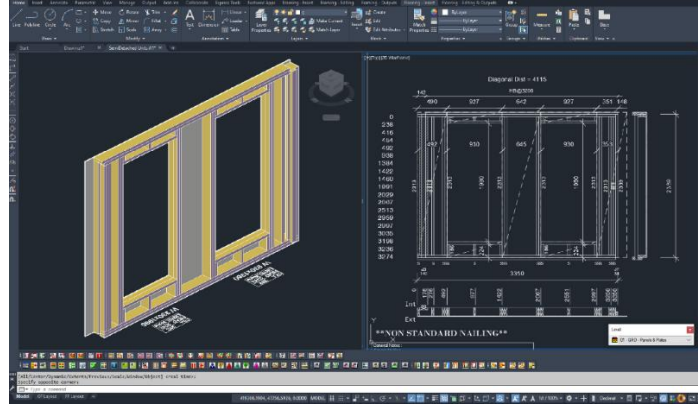


Şekil 3.2: CLT panellerin yerleşimi [**Web 8, 2025**].

3.1.2. Prefabrikasyon ve Modüler Sistem

Prefabrik ahşap yapı üretim sürecinde, fabrika ortamında kontrollü üretim gerçekleştirilip yapı elemanları montaja hazır hale getirilmektedir. Yapı elemanları önceden belirlenmiş standart ölçülerde üretilerek kontrol sisteminden geçmektedir. Prefabrikasyon sistemiyle fabrika ortamında uygun koşullar sağlandığında işçiler aracılığıyla tekrarlanan üretim sürecinde hata oranı ve üretim süresi azalır [**Santana-Sosa ve Riola-Parada, 2018**]. Bu durum sürdürülebilir üretimin desteklenmesini, malzeme israfının azalmasını ve üretimde verimliliği sağlamaktadır. Montaj aşamasında prefabrik elemanların numaralandırılarak sıralanmakta ve sahadaki montaj süreci kısalmaktadır [**Koç ve Gür, 2021**]. Prefabrik elemanların üretim sürecinde kullanılan CNC araçlar ile ahşap elemanlar hassas şekilde üretilmekte ve montaj süreci kolaylaştırılmaktadır [**Beale ve Morgan, 2019**]. Türkiye’de prefabrikasyon ahşap sistemler birçok şirket tarafından üretilmekte olup konutlar şirket ve üretim ölçülerine göre (125–131 cm) değişen dört farklı panel elemanının kombinasyonundan oluşmaktadır [**Avlar, 1995**].

Prefabrikasyon sürecinde BIM ve CAD araçlarının sürece entegrasyonu üretimdeki hassasiyetin sağlanabilmesi ve üretim ve montaj sürecinin hızlanabilmesi için önemli rol oynamaktadır. Bu entegrasyon sayesinde tasarım aşamasında oluşturulan 2B veya 3B modeller kullanılan araçlara göre üretim hattına aktarılabilir (Şekil 3.3). Özellikle 2B tasarımlarda kullanılan CAD araçları ahşap yapının panel boyutlarını detay çizimlerini, bağlantı noktalarını ve montaj sıralamasını belirler. Bu süreçte kullanılacak olan BIM araçları ise disiplinler arası koordinasyonu ve lojistik sürecinin planlanmasını sağlamaktadır. BIM’in zaman çizelgesi ve maliyet verilerini belirleyen 4B ve 5B boyutları üretimden montaja kadar olan sürecin dijital olarak takip edilebilir olmasını mümkün kılmaktadır. Dijital tasarım ve prefabrikasyon süreci üretim verimliliğini artırarak maliyetleri azaltmaktadır [**Beale ve Morgan, 2019**].



Şekil 3.3: CAD aracında 2B ve 3B ahşap duvar paneli tasarım ve ölçülendirilmesi
[Web 9, 2025].

Kaynağı yenilenebilir bir malzeme olan ahşap ile fabrikada ön üretimin uygulanabilmesini kolaylaştırmaktadır [Duru ve Koç, 2018]. Modüler ahşap sistemler, fabrikada yapının duvar, döşeme, çatı ve iç tesisat gibi yapı elemanları ve sistemlerinin tamamlanarak üç boyutlu hacimler olarak modüllerin sahaya taşındığı birleştirme sistemidir (Şekil 3.4). Fabrikada tamamlanan modüller sahada minimum düzeyde ek işleme ihtiyaç duyulacak şekilde hazırlanarak vinç aracılığıyla yerleştirilmektedir [Erşahin, 2022]. Böylece montaj süresi azalarak fabrika ortamında yüksek kalitede modüller üretilebilmektedir. Üretilen modüller farklı yerlerde tekrar kullanılabilmekte ve gerektiğinde sökülüp yeniden montajı yapılabilmektedir [Erşahin, 2022]. Bu sistemler, günümüz mimarlığında artan dijitalleşme ve sürdürülebilirlik odaklı yaklaşımlar kapsamında önemli bir konumdadır. Modüllerin üretim süreci prefabrik üretim prensiplerine dayanmaktadır ve dijital tasarım teknolojileri ile entegre şekilde geliştirilmektedir.

Prefabrik ahşap duvar tasarımında bilgi akışı, erken tasarımdan üretime kadar yoğun bir şekilde yürütülmekte olup lojistik ve üretim sınırlamaları (örneğin maksimum panel uzunluğu) şablon model üzerinde kodlanarak tasarım varyasyonlarının standardize edilebilmesi ve otomatikleşebilmesi sağlanmaktadır [Day vd., 2019].



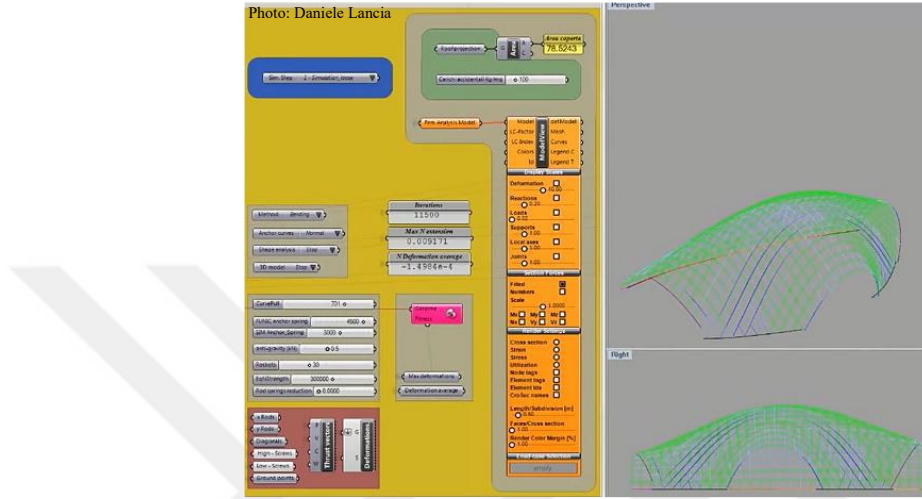
Şekil 3.4: Modül sistemin vinç yardımı ile kurulumunun yapılması [Web 10, 2025].

3.1.3. Yapısal Hesapların Dijitalleşmesi

Mimarlıkta dijital tasarım araçlarının kullanımı, tasarım ürününün yanında tasarım sürecini de şekillendirmektedir [Beale ve Morgan, 2019]. Ahşap yapıların tasarım ve üretiminde dijitalleşme; sadece görselleştirme ve üretim süreçlerinde değil, yapısal hesaplamaları da kayda değer biçimde dönüştürmektedir. Geleneksel olarak bu süreçte ahşap yapıların dayanıklılığı ve güvenliği; statik şemalar ve sınırlı deneysel veriler aracılığıyla değerlendirilmiştir. Dijital araçlar ile bu süreci daha sistematik ve hızlı bir hale getirmek amaçlanmıştır. Yapısal analizler ve simülasyon araçları ile karmaşık geometriler ve geniş açıklıklı yapılar yapısal olarak değerlendirilebilmektedir. Böylece yapısal dayanıklılık ve güvenlik için bulgular ile olası problemlerin belirlenebilmesini sağlayan ve çözümler geliştirilebilmesini amaçlayan yenilikçi bir hesaplama yaklaşımıdır [Kuma vd., 2019]. Özellikle günümüz mimarlığında kullanılan parametrik tasarımların ve esnek geometrilerin yapısal hesaplamalarının yapılabilmesi için bu yenilikçi çözümler tercih edilmektedir (Şekil 3.5). Yaşanan bu gelişmelere rağmen ahşap özelinde yönetmeliklerde ve standartlarda sürece bir uyum sağlanamamaktadır. Hangi modelin hangi şartlarda güvenilir ve ekonomik çıktılar sağlayacağı ile ilgili belirsizliklerin bulunması bu süreci geriletmektedir [Çelik ve Şakar, 2022].

Dijital hesaplama, CAM, CNC fabrikasyon ve parametrik üretim yöntemleri ile entegre edildiğinde üretim süreci ve yapısal performansını sağlıklı bir şekilde değerlendirilmesini sağlamaktadır. Örneğin, karmaşık bir sistem örneği olan ahşap ızgara kabukların tasarım aşamalarında karmaşık tasarım ve bileşen yapabilen tasarım

araçları iki kategori olarak; geometrik özelliklere dayalı tasarım araçları ve uygulanan yükleri ve deplasmanları dikkate alan sonlu eleman analizlerine (FEA) dayalı tasarım araçları tercih edilmektedir [Tang vd., 2013]. Geometri ve yapısal gereksinimler belirlendikten sonra ABAQUS gibi FEA yazılımları ile yapılan analizler, yapının doğrulanmasını ve montaj sırasında bileşenlerin beklenen gerilme ve eğrilik durumlarının kontrolünü sağlamaktadır [Tang vd., 2013].



Şekil 3.5: Rhinoceros'ta ahşap parametrik tasarım uygulaması [Tang vd., 2013].

3.2. Ahşap Yapı Tasarım ve Üretiminde Dijital Dönüşüm: CAD ve BIM Teknolojileri

CAD ve BIM araçları günümüz ahşap yapı teknolojilerinde dijital dönüşüm için önemli bir yere sahiptir. Sürdürülebilir inşaat arayışında ön plana çıkan ahşap malzeme, bu araçlar sayesinde yapısal ve mimari potansiyelini daha fazla ortaya koyabilmektedir. CAD ve BIM araçlarının kullanılması ile daha verimli, hızlı ve yüksek hassasiyete sahip tasarımlar ve üretimler yapılabilmektedir. Kullanılan araçlar ile tasarımda henüz form arayış süreçlerinde sahada meydana gelebilecek olası problemlerin önüne geçilebilmektedir [Koç ve Gür, 2021]. Tasarım ve modellemenin yanında proje yönetimi için gereken disiplinler arası koordinasyon da bu araçlar aracılığıyla yürütülebilmektedir. BIM ve CAD tabanlı araçların kullanılması ile projelerde kolay denetim yapılabilmekte böylece tasarım sürecinde üretime henüz geçilmeden olası sorunlar kısıtlanmaktadır [Avcı ve Öztaş, 2025].

Tasarım sürecinin başlangıç aşamasında CAD aracılığıyla yapısal elemanların doğru ölçüler ile birleşimi, kesit, plan, görünüşler ve karmaşık ahşap birleşim detayları genellikle 2B şeklinde elde edilmektedir. Birleşim noktalarının detaylı, doğru ve hassas şekilde tasarlanması yapının güvenliği için oldukça önemlidir. CAD, CAM, CAE ve CNC teknolojilerinin birlikte çalışabilmesiyle de tasarım ve üretimin entegrasyonu sorunsuz bir şekilde işlenmektedir. Bu da CAD araçlarını yapı tasarım ve üretim teknolojilerinde vazgeçilmez yapmaktadır.

Bununla birlikte CAD araçlarının genellikle 2B çıktılar ile kullanılmasının da getirdiği bazı dezavantajlar bulunmaktadır. Geometrik temsilin dışında malzeme özelliklerinden üretim detaylarına, montaj aşamalarından bakım süreçlerine kadar hâkim olunması gereken süreçlerinde kontrol altında olması için BIM araçları devreye girmektedir. BIM tasarım özelliğinin yanı sıra lojistik ve bakım aşamalarının bütünleşmesini sağlamaktadır.

3.2.1. CAD Teknolojisi Gelişim Süreci

CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım) teknolojisi geleneksel tasarımın ötesine geçilerek mühendislik ve mimarlık disiplinlerinde köklü bir dönüşüm başlatmıştır. CAD, 1957 yılında Dr. Patrick Hanratty tarafından geliştirilen ilk sayısal kontrol sistemiyle temeli atılmıştır [Paiu vd., 2020]. Bu teknoloji ile mühendis ve tasarımcılar karmaşık geometrilerini dijital ortama aktararak daha hızlı üretim imkânı edinmişlerdir. 1963 yılında geliştirilen program tasarım alanında 2B çizimini başlatan bir araç olmuştur ve bu program sonrasında CAD araçları ile vektörel çizimle bilgisayar destekli tasarım günümüzde kullanılmaktadır [İnceoğlu ve İnan, 2020] (Şekil 3.6).



Şekil 3.6: Ivan Sutherland tarafından geliştirilen Sketchpad programı [de Vasconcelos Feist, 2016].

Günümüzde yaygın olarak kullanılan Fusion 360 ve Solidworks gibi CAD araçları modern mühendislik gelişmelerinden yararlanarak CAM sistemleri ile üretim sürecine aktif bir şekilde entegre olabilmektedir [Web 43, 2025]. Autodesk ürünü olan Autocad ise günümüzde kullanılan en yaygın tasarım araçlarından biridir [Paiu vd., 2020].

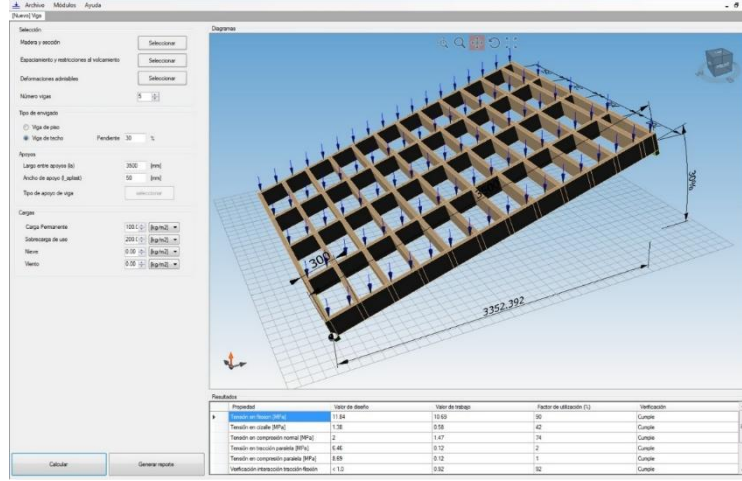
CAD aracı ilk dönemlerinde geleneksel olarak dijital bir çizim tahtası göreviyle kullanılmıştır [Buri ve Weinand, 2011]. Ahşap yapı tasarımında CAD araçları 2B ve 3B olarak tasarım imkânı sunmasına karşı günümüzde çoğu mimar ve mühendis geleneksel alışkanlıklara bağlı olarak temel plan, kesit ve görünüşleri hızlı üretmek ve ölçülendirmek amacıyla hala ağırlıklı olarak 2B çizim yöntemlerini kullanmaktadır. 3B CAD modellemesi ise genellikle kavisli paneller, parametrik tasarımlar, ızgara kabuk sistemleri gibi karmaşık geometrilerin tasarımında kullanılmaktadır. CAD araçları, ahşap yapıların görselleştirilmesi ve analiz edilmesi içinde farklı özellikler sunmaktadır [Calquin vd., 2024]. CAD ile ahşap yapım sürecinde öne çıkan yazılımlar; 3D Experience Solidworks, Shapr3D, Autocad, SketchUp, Autodesk Fusion 360, C+T (Change+Timber), 4M Timber gibi yazılımlardır [Calquin vd., 2024] (Tablo 3.1). CAD araçlarında STL ve IFC gibi formatların olmaması bilgi kaybına ve BIM’de yeni model oluşturma gerekliliğine yol açarak zaman kaybının ve hataların artmasına neden olmaktadır [Calquin vd., 2024].

Tablo 3.1: Ahşap için farklı CAD yazılımlarının karşılaştırılması [Calquin vd., 2024].

Araç	Firma	Malzeme Karmaşıklık ve CAD Modelleme	Mevzuat Entegrasyonu ve Tasarım Uyum	Sürdürülebilir Tasarım ve Optimizasyon	İşbirlikçi Ekosistem ve Birlikte Çalışabilirlik
3DEXPERIENCE SOLIDWORKS	SOLIDWORKS	+++	++	++	+++
Shapr3D	Shapr3D Zrt	+			++
Autodesk Fusion 360	Autodesk	+++	++	+++	+++
Sketchup	Trimble	+++	+	+	++
C+T (Change+Timber)	Elige Madera	+			+
Autocad	Autodesk	++	+	+	+

(+ temel gereksinimleri karşılar, ++ orta düzeyde gereksinimleri karşılar, +++ çok iyi/çoğunlukla karşılar).

Ahşap alanında kullanımda öne çıkan CAD araçları karşılaştırıldığında, SolidWorks, Fusion 360 ve SketchUp araçları; modelleme ve ahşap gibi değişken bir malzeme için önemli bir konu olan malzeme karmaşıklığı konularında iyi performans gösterdiği değerlendirilmektedir. Shapr3D ve C+T ise daha temel modelleme ve malzeme karmaşıklığı çözümlerini karşılamaktadır (**Şekil 3.7**). Mevzuat entegrasyonu ve tasarım uyumu konularında ise Solidworks ve Fusion 360 diğer dijital araçlara göre orta düzey ihtiyacı, Sketchup ve Autocad ise daha temel seviyede ihtiyacı karşılamaktadır [Calquin vd., 2024].



Şekil 3.7: C+T’de (Change+Timber) ahşapta yapısal hesaplamaların yapılması [Web 11, 2025].

Sürdürülebilir tasarım kriterinde özellikle Fusion 360, diğer araçlara göre daha yüksek performansa ulaşarak enerji verimliliği ve kaynak optimizasyonu gerektiren projeler için tercih edilmektedir. Fusion 360, diğer konularda olduğu gibi iş birliği ve birlikte çalışabilirlik konularında en kapsamlı çözümlerden biri olarak öne çıkmaktadır ve ahşap tasarımlarda güçlü bir seçenek sunmaktadır. SolidWorks ise daha orta seviye şekilde bu kriterleri karşılamaktadır. SolidWorks aracının bir diğer öne çıktığı konu olan işbirlikçi ekosistemlerde güçlü entegrasyonu sağlaması, disiplinler arası koordinasyonu desteklemektedir [Calquin vd., 2024].

Autocad ise sektörde oldukça yaygın bir şekilde kullanılan dijital bir tasarım aracıdır. Günümüzde ön plana çıkan BIM entegrasyonu ve sürdürülebilirlik odaklı kriterlerin uygulanmasında bu araç sınırlı kalmakta ve daha çok geleneksel çizim ve teknik detaylandırmada kullanılmaktadır. Ayrıca Autocad modelleme ve malzeme karmaşıklığı konularında; mevzuat, sürdürülebilir tasarım ve ortak çalışma platformu oluşturabilmesi konularına göre daha iyi performans göstermektedir [Calquin vd., 2024]. Mobil uyumlu bir CAD aracı olan Shapr3D ise hızlı konsept geliştirme aşamalarında ve esnek kullanım konularında öne çıkmaktadır.

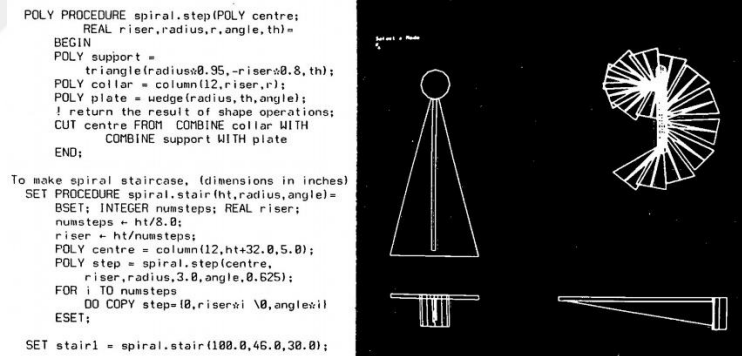
SketchUp, pratik arayüzüyle erken tasarım, modelleme aşamalarında avantajlı olsa da sürdürülebilir tasarım ve optimizasyon kriterlerinde daha sınırlı kalmaktadır [Calquin vd., 2024].

Bu karşılaştırma, CAD araçlarının projelerdeki hangi ihtiyaçları, aşamaları, ölçeği veya gerekli olan teknik desteği karşılayabileceğini ortaya koymaktadır. Böylece

tasarımcı, mimar ve mühendislerin projelerde ihtiyaç duydukları dijital aracın gerekliliğine dikkat edilmektedir.

3.2.2. BIM Teknolojisi, Entegrasyonu ve Koordinasyon

Teknolojinin mimarlık ve inşaat sektörüne girişiyle birlikte geleneksel el çizim araçları yerini dijital tasarım ortamlarına bırakmıştır. İlk aşamada dijital tasarımın temelini oluşturan CAD araçlarının kullanılmasının ardından, bu aracın eksiklerini kapatmak için BIM araçları kullanılmaya başlanmıştır. Bir BIM teknolojisi uzmanı olan Charles Eastman, 1974 yılındaki bir makalesinde “tasarım düzenliliğini kontrol etmek” için otomatik model incelemesi kavramını ortaya koymuş ve bu kontrol için BDS (Building Design System) projesi ile taslak üretimi ve analiz süreçlerindeki verimliliğini arttırmayı amaçlamış, buna paralel olarak tasarım maliyetlerini önemli ölçüde düşürmeyi hedeflemiştir [Web 12, 2025]. Eastman’ın 1977 yılında oluşturduğu GLIDE (Etkileşimli Tasarım için Grafik Dili) ile BIM araçlarından beklenen özellikler görülmeye başlanmıştır [Web 12, 2025] (Şekil 3.8).



Şekil 3.8: Charles Eastman’ın GLIDE’ı soldaki girdinin parametrik olarak ayarlanabilen sağdaki merdivenleri oluşturması [Eastman ve Henrion, 1977].

1982 yılında Graphisoft şirketi Arcihcad v27 yazılımını piyasaya çıkartarak ilk adımı atmıştır [Martens ve Peter, 2007]. Bu gelişmelerin ardından 1988 yılında bir diğer önemli adım Stanford'da Entegre Tesis Mühendisliği Merkezi'nin (CIFE) kurulması ile 4B bina modellerinin geliştirebilmesine kaynak sağlayarak ileriki süreçte hem inşaat verimliliğini artıran disiplinler arası araçların hem de performansa göre test edilebilen BIM prototiplerinin geliştirilmesinin önünü açmıştır [Web 12, 2025]. Önemli bir dönüşümü tetikleyen yazılım araçları, 1990'ların başında ortaya çıkarak

yapı performansını farklı koşullar altında analiz etmekte ve nesne tabanlı teknolojilerle geometri, malzeme ve sistem verilerini birleştirerek sektörde yeni bir yol açmıştır. [Mancık, 2023]. 2000’li yıllarda ise Autodesk firmasının BIM aracı olan 'Revit' inşaat sektörüne girerek dijital tasarım sürecine öncülük etmiştir [Mancık, 2023]. BIM araçlarındaki gelişmeler ile birlikte farklı firmaların geliştirdiği yazılımlar da piyasada yerini almıştır.

2004’te Gehry Technologies tarafından geliştirilen “Digital Project v1.R5” dijital aracın piyasaya sürülmesinin ardından, Autodesk Revit v2023’ü, Nemetschek ise Archicad v27’yi ürün portföylerine eklemiştir [Calquin vd., 2024] [Khemlani, 2010]. En yaygın olarak kullanılan BIM araçları; Archicad v27, Revit v2023, Microstation (now OpenBuildings v10.10), Digital Project v1.R5, Vectorworks v2024, Allplan v2024, Tekla, SDS/2, ISTRAM’dır (Tablo 3.2). Bunlara ek olarak diğer dijital araçlardan birkaçına ise Aveva (Melbourne, Avustralya), E3d (eski adıyla PDMS), Autocad Architecture, Data Design System, DProfiler (Beck Technology), Synchro, JetStream (NavisWorks, günümüzde Autodesk), SDS/2, Solibri Model Checker, BIM Collab Zoom, ONUMA Planning System, Edificius, Briscad vb. örnek gösterilebilir [Calquin vd., 2024].

Tablo 3.2: En yaygın BIM yazılımları ve firmaları [Calquin vd., 2024].

Araç	Firma	Yıl	Üretildiği Ülke	Kullanım Alanı	Yaklaşık Maaliyet
Archicad v27	Graphisoft (Nemetscheck from 2020)	1982	Gürcistan (2008’e kadar) Almanya (2008’den beri)	Mimarlık, Tesisat(MEP), Yapısal	Yıllık abonelik: 2.000–3.000 USD Süresiz lisans: 2023 yılına kadar 1.000–2.000 USD
Revit v2023	Revit v2023 Technologies Corporation (from 1997 to 2002) Autodesk (from 2002)	1997	ABD	Mimarlık, Tesisat(MEP), Yapısal	Yıllık abonelik: 2.000–3.000 USD

Tablo 3.2: Devamı.

Araç	Firma	Yıl	Üretildiği Ülke	Kullanım Alanı	Yaklaşık Maaliyet
Microstation (now OpenBuildings v10.10)	Bentley	1987	ABD	Mimarlık, Tesisat(MEP), Yapısal	Yıllık abonelik: 2.000–3.000 USD arası
Digital Project v1.R5	Gehry Technologies (up to 2020) Trimble (from 2020)	2004	ABD	Mimarlık, Tesisat(MEP), Yapısal	Yıllık abonelik: 2.000–3.000 USD arası
Vectorworks v2024	Nemetschek	2002	ABD	Mimarlık, Tesisat(MEP), Yapısal	Yıllık abonelik: 2.000–3.000 USD arası
Allplan v2024	Nemetschek	2002	Almanya	Mimarlık, Tesisat(MEP), Yapısal	Yıllık abonelik: 2.000 ile 3.000 USD arası
Tekla	Trimble	2002	ABD	Yapısal Mühendislik	--
SDS/2	Nemetschek	2002	Almanya	Yapısal Mühendislik	--
ISTRAM	Istram	1992	İspanya	Karayolu Mühendisliği	Süresiz lisans: 5.000 USD Yıllık abonelik: 2.000 USD'den başlayan fiyatlarla

BIM araçları BIM, mimarlık, mühendislik ve inşaat sektöründe dijital dönüşümü sağlayan, bir yapının tasarımından inşaat ve işletme aşamasına kadarki yaşam döngüsünü bütüncül bir şekilde yöneten disiplinler arası verileri tek bir modelde

toplayan süreçtir; böylece daha verimli ve kaliteli sonuçlar elde edilebilmektedir [Web 13, 2025]. BIM, CAD araçlarındaki koordinasyon eksikliğini kapatarak tasarım inşaat ilişkisindeki hataların ortadan kalkmasını sağlamaktadır. Proje sürecinin, inşaat aşamasına doğru ve uygun detaylar ile ilerlemesi gerekmekte; olası tasarım değişiklikleriyle ortaya çıkabilecek hataların BIM araçları sayesinde önüne geçilmekte ve güncellemelerden disiplinler arası haberdar olunabilmektedir [Abushwereb vd., 2019].

Bunun yanı sıra BIM, 2B geleneksel tasarım yöntemlerinden dijital tasarıma geçişin inşaat aşamalarındaki entegrasyonu sağlayabilmesi ile de hızla kullanımı artan bir araç haline gelmektedir [Tel, 2021]. Böylece proje sürecinde iletişim iyileştirilerek sorunsuz bir koordinasyon amaçlanmaktadır. BIM; mimarlık, mühendislik ve inşaat sektöründe karşılaşılan sorunlara teknolojik bir çözüm sunarak verimliliği artıran önemli bir yenilik olarak öne çıkmaktadır [Tel, 2021]. Ahşap yapı sektöründe ileri üretim yöntemleri ve dijital kesim teknolojileri BIM'i zorunlu kılarken, bu yaklaşımın bütüncül biçimde uygulanması günümüzde hâlâ sınırlı kalmaktadır [Gharaibeh vd., 2022].

Yaygın BIM yazılımlarının ahşap sektöründe özelleşebilmesi için farklı dijital araçlara ihtiyaç duyulmuştur [Calquin vd., 2024] (Tablo 3.3). Böylece tasarımcılar, ahşap elemanların tasarım ve üretim süreci hassas ve planlı bir şekilde yönetebilmektedir. Bazı yapı mühendisleri zahmetli öğrenme süreci ve zaman yatırımının gerekliliği sebebiyle tereddüt etmekte fakat her detayın tek tek modellenmesi gerekmemektedir [Calquin vd., 2024]. Bu araçlar ile duvar, döşeme, merdiven, kolon, kiriş, çatı, kapı ve pencere gibi yapı elemanları rahatlıkla tasarlanabilmektedir.

Tablo 3.3: BIM-Ahşap yazılımları [Calquin vd., 2024].

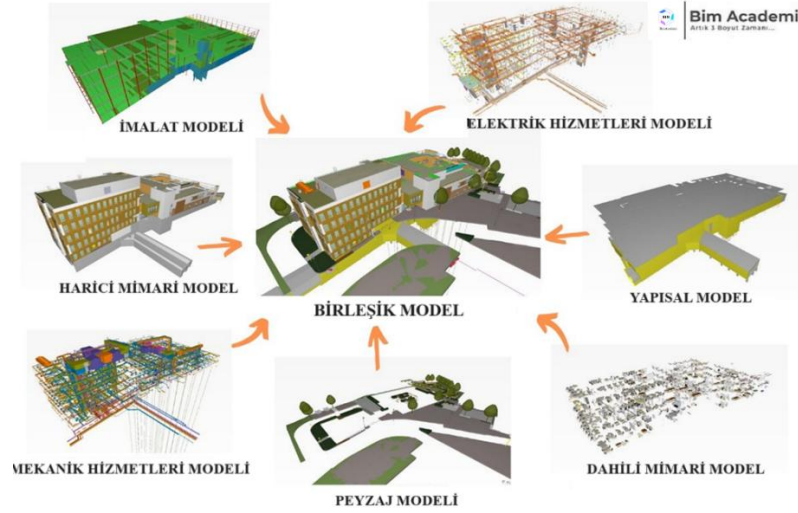
Ülke	Yazılım	Üretici
Finlandiya	ArchiFrame	ArchiFrame
Finlandiya	Vertex DB	Vertex Systems
Litvanya	AGACAD Wood Framing	AGACAD
ABD	WoodStud_Frame	Tekla (Trimble)
Kanada	Metal Wood Framer	StrucSoft Solutions Ltd.
ABD	Timber Framing 2015	Autodesk

Tablo 3.3: Devamı.

Ülke	Yazılım	Üretici
--	Offsite Wood	Offsite Wood
İspanya	CADWork	Cadwork Ibérica and Latinoamérica

3.2.2.1. BIM'in Çok Boyutlu Yaklaşımı

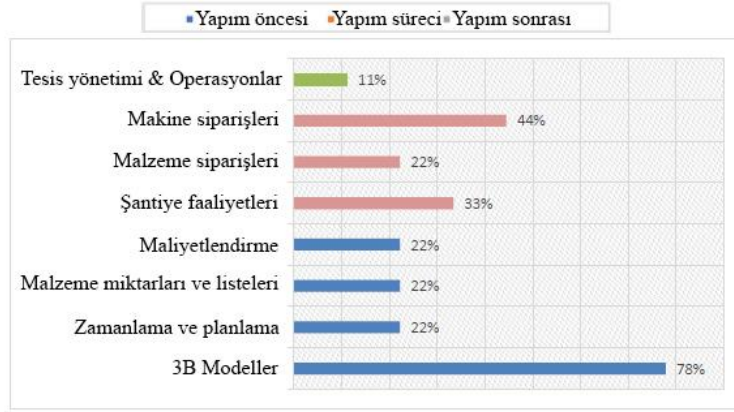
Bir yapının tasarım ve üretim süreçlerinde BIM disiplinler arası entegrasyonun sağlanmasında önemli bir göreve sahiptir. Mimari, yapısal, peyzaj, mekanik, elektrik gibi farklı disiplinlere ait modeller merkezi bir birleşik model oluşturmak üzere bir araya getirilerek tek bir veri kaynağı oluşturulmaktadır. Böylece her disiplin kendi uzmanlık alanında ayrıntılı modeller ile çalışabilmektedir. Bu sistem ile tasarım aşamasında potansiyel çakışmaların ve uyumsuzlukların tespit edilebilmesi sağlanmaktadır. Tasarımın ilk aşamalarında BIM'in entegrasyon özelliği ile mimari, mühendislik ve peyzaj gibi farklı disiplinlerden gelen bilgiler, uyumlu bir şekilde kullanılabilir. BIM'in bu entegrasyon ortamı sayesinde kritik kararlar geç olmadan verilebilmekte, maliyetler doğru yönetilebilmekte ve erken aşamalarda kontrol altına alınabilmektedir. Çakışma analizleri sadece bina ölçeğiyle sınırlı kalmamakta; bina ile kentsel altyapı bileşenleri arasındaki çakışmalarda sanal ortamda kolaylıkla tespit edilebilmektedir [T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2024]. Tasarım sürecinde sağladığı kolaylıkların yanında yapı yaşam döngüsü boyunca kullanılacak olan bu yapının dijital ikizi sayesinde işletme ve bakım süreçleri için referans olabilmektedir. Bu noktada BIM sadece 3 boyutlu tasarım modeli olmasının yanında farklı boyutlar da projeye entegre olarak çok boyutlu bir yaklaşımı devreye girmektedir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9: BIM ortamında birleştirilmiş model [Web 14, 2025].

Katılımcılar arasında yapılan bir çalışmada ahşap inşaat sürecinde BIM kullanımının değerlendirilmesi için ön yapım, yapım ve yapım sonrası olmak üzere kategoriler belirlenmiştir [Gharaibeh vd., 2022].

Gharaibeh vd. (2022) tarafından sunulan verilere göre, BIM'in en yaygın kullanım alanı tüm aşamalarda 3B modellerin oluşturulmasıdır. Bunun yanı sıra, ön yapım sürecinde maliyetlendirme, malzeme listelerinin çıkarılması ve planlama gibi faaliyetlerde BIM kullanımı daha sınırlı düzeyde yer almaktadır. Yapım aşamasında ise BIM'in en çok makine siparişlerinde kullanıldığı, şantiye faaliyetleri ve malzeme siparişlerinde ise daha düşük oranda tercih edildiği belirtilmektedir. Yapım sonrası aşamaya gelindiğinde BIM kullanımının oldukça zayıf olduğu, özellikle tesis yönetimi ve işletme süreçlerinde neredeyse hiç kullanılmadığı dikkat çekmektedir. Bu sonuçlar, BIM'in ahşap inşaat sektöründe daha çok tasarım ve yapım süreçlerinde öne çıktığını, ancak işletme ve bakım gibi yaşam döngüsünün diğer aşamalarına yeterince entegre edilemediğini göstermektedir [Gharaibeh vd., 2022] (Şekil 3.10).



Şekil 3.10: Proje faaliyetlerinde BIM kullanımı [Gharaibeh vd., 2022].

BIM'in beş seviyesi tanımlanmaktadır [Ergen ve Kazado, 2018] (Şekil 3.11). 3B model seviyesi modelin tasarım ve inşaat verilerini görselleştirmesi olarak tanımlanır; 4B seviyesinde iş programının eklenmesi onu takip eder ve 5B seviyesinde ise maliyet tahmini için veriler sisteme eklenir [T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2024]. 6B düzeyinde seviye ise sürdürülebilirlik ve enerji analizlerine odaklanırken, 7B seviyesinde yapının işletme, bakım ve yıkım gibi yaşam döngüsü süreçlerini de içine alacak şekilde kullanılabilir [T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2024]. Bu çok boyutlu BIM yaklaşımı, ahşap yapılarda tasarım ve inşaat süreçlerinde sürdürülebilirlik, detayların daha net ortaya konması gibi önemli katkılar sağlayabilmektedir fakat mevcut teknik gelişmeler, tasarım sürecine yeterince dahil edilmeyerek klasik yöntemler tercih edilmektedir [Nawari, 2012].



Şekil 3.11: Yapı Bilgi Modellemesi boyutları [Ergen ve Kazado, 2018].

3.2.2.2. BIM’de Gelişmişlik Seviyeleri: LOD

LOD, projelerde tasarım ve inşaatın farklı aşamalarında BIM’in doğruluk ve ayrıntı düzeyinin belirlenmesinde bir yönlendirme aracı olarak kullanılmaktadır [Atabay ve Öztürk, 2019]. Yapı yaşam döngüsünün farklı aşamalarına göre belirlenen LOD seviyeleri, genellikle LOD 100–300 tasarım aşamasında, LOD 300–400 inşaat aşamasında ve LOD 500 ise tesis yönetimi aşamasında kullanılırken; her seviye, projenin türüne ve amacına göre konsept aşamasından teslim aşamasına kadar özelleştirilebilmektedir [T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2024]. LOD’un kullanımı projelerdeki iş birliklerini kolaylaştırmaktadır. Projedeki mimar, mühendis, yüklenici tedarikçi gibi ekipler model elemanların ulaşması gerektiği LOD seviyelerini bilerek çalıştıklarında hatalar zaman kayıpları ve koordinasyon sorunları ortadan kalkmaktadır ve LOD sayesinde BIM modelleri iletişim araçları halini alabilmektedir. LOD matrisi aracılığıyla BIM uygulama planlarının temel bir bileşeni olarak proje aşamalarına göre yapı elemanları ve sistemler için geliştirme seviyeleri belirlenir, sorumlulukları paydaşlara atanır ve modellerin uyumluluğunu sürekli izlenerek rehberlik sağlanmaktadır [Web 13, 2025]. LOD seviyeleri aşağıdaki gibidir:

LOD 100 → BIM’de temel düzeyde kavramsal tasarımın yapılmasını ifade etmektedir. Model şekli temsili bir kültedir. Yapının yerleşim alanı ve yapı yönelimi ifade edilmektedir.

LOD 200 → Model somutlaşmaya başlamışına karşı imalat detayları henüz net değildir. Model elemanlarının yaklaşık boyutları şekilleri, konumları ve yönelimleri belirlenmiştir. Yaklaşık metraj ve maliyet analizlerinde kullanılabilir.

LOD 300 → Modelde elemanlar tam, doğru boyutlarda ve doğru konumda olacak şekilde, üretim ve uygulama için gereken detay seviyesine ulaşmaktadır. Nesnelere ait tüm teknik bilgiler bu seviyede tam olarak ifade edilmektedir.

LOD 350 → LOD 300’e ek olarak elemanların birleşim noktaları gibi üretim ve uygulama detaylarını ve kritik bilgilerini içermektedir. Bu seviye, özellikle sahadaki uygulamaları kolaylaştırmak ve olası çakışmaları engellemek amacıyla doğru montajı planlayarak kullanılmaktadır.

LOD 400 → Elemanların doğrudan imalatı ve montajı için gerekli tüm bilgiler bu seviyede modele işlenmektedir. Birleşim detaylarına ilişkin bilgiler, montaj adımları ve tolerans bilgileri bu seviyede yer almaktadır. Bu seviye ayrıca prefabrikasyon ve modüler yapılar için öne çıkmaktadır.

LOD 500 → Projenin son aşamasını ifade etmektedir ve sahadaki gerçek durumu yansıtan en yüksek ayrıntıyı içeren modeldir. Bu seviyedeki model, yapının ömrü boyunca bakım ve yönetim süreçleri için bir veri kaynağı olarak işlev görmektedir.

3.2.3. CAD/BIM Araçlarında Karşılaşılan Zorluklar ve Uyum Problemleri

Ahşabın yapısal ve fiziksel özelliklerin doğal farklılıklara sahip olması CAD araçlarındaki sanal modellerin gerçekleştirilmesini zorlaştırmaktadır [Codrón, 2018]. Dijital ortamda ahşabın ifade edilmesinin zor olması hassas ve doğru yapı modellerinin elde edilmesini zorlaştırmakta; özellikle karmaşık çift eğriler ve üretken tasarıma dayalı parametrik formlar, öne çıkan CAD araçlarında ifade edilmekte yeterli olmayarak makine üretim süreçlerine aktarılamamaktadır [Calquin vd., 2024]. CAD araçları dışı aktarımlarda bilgilerin kaybolması sorunu yaşanabilirken, DWG ve DXF formatları ile gelen dosyaları CNC makineler tarafında doğrudan okunamadığı için üretim için çizimlerin tekrar işlenmesi gerekmektedir [Calquin vd., 2024]. Veri aktarım sorunu dijital tasarımdan, üretim ve imalat aşamalarına geçişte zaman kaybına ve hatalara sebep olmaktadır.

Türkiye’de BIM araçlarının kullanımı henüz yaygınlık kazanmamıştır ve bu araçları kullanacak olan proje paydaşlarının işbirlikçi bir çalışma kültürüne geçmesini gerektiren bir dönüşüm olarak değerlendirilmektedir [Tel, 2021]. Uygulamaların zayıf kalmaması ve sürdürülebilir çalışma prensibi için paydaşların tasarım ve üretim sürecindeki alışkanlıklarının değiştirmeleri gerekmektedir.

BIM araçları CAD’e göre maliyet ve zaman yatırımı gerektirmesinin yanında daha yüksek lisans bedellerine sahiptir [Tel, 2021]. Bu sebeple ve zorunluluk niteliği taşımadığı için BIM araçlarının öncelik hale gelmesi zorlaşmaktadır. Buna karşı birkaç kuzey ülkesinde olduğu gibi yüksek seviyede ön üretim süreçleri, hassas kesim makineleri ve karmaşık dijital üretim yöntemlerinin ahşap sektöründeki gerekliliği BIM’in kullanımını zorunlu hale gerektirmektedir [Gharaibeh vd., 2022]. Fakat BIM

araçlarının kullanılması günümüzde hala uzak bir hedef olarak görülmektedir **[Gharaibeh, Matarneh vd.,2022]**.

Bir projenin BIM araçlarında tasarlanması için ayarlanması gereken özgün parametrelerin doğru ayarlanması projenin süresi ve verimliliği için önemlidir. Yüksek verimlilik sağlayan BIM araçlarında, eklentiler katı kurallara sahip olduğu için esnek proje çalışma imkânını azaltmaktadır. CAD araçları ise daha esnek bir çalışma ortamı sağlamaktadır fakat verimliliğin ön planda olduğu durumlarda BIM öne çıkmaktadır **[Calquin vd., 2024]**.

Mimarlık sektöründeki firmalar ve uygulayıcılar, BIM'in doğru ve verimli şekilde uygulanmasında karşılaşılan zorlukları kültürel ve davranışsal, örgütsel, teknik, kaynak-maaliyet ve diğerleri şeklinde farklı kategoriler olarak ele alınmaktadır **[Gharaibeh vd., 2022]**. BIM araçlarının uygulanmasında karşılaşılan zorluklar, çalışmanın aşaması fark etmeksizin proje paydaşları arasındaki bilgi akışının etkilenmesi ile iş entegrasyonuna da olumsuz olarak yansımaktadır. Bu durum sürecin tümünü etkilemektedir.

BIM uygulanmasını kısıtlayan durumlar olarak, müşteri talebinin eksikliği, yasal zorunlulukların ya da devlet destekli düzenlemelerin bulunmaması ve inşaat sözleşmelerinde hâlâ 2B çizimlerin yasal belge olarak talep edilmesi, dijital aracın yaygınlaşmasının önünde belirgin engeller olarak görünmektedir. Sektörde sistemsel değişime karşı direnç, risk alma korkusu ve parçalı yapının hâkimiyeti kültürel ve davranışsal açıdan sorunlar olarak fark edilmektedir **[Gharaibeh vd., 2022]**.

Kültürel ve davranışsal sorunlar iş birlikçi çalışma ortamını sağlayan BIM aracına yaklaşımın gecikmesine neden olmaktadır. Farklı konularda sorunların olması tasarım, imalat, uygulama ve kontrol aşamalarında bir tutarlılığın sağlanmasını zorlaştırmaktadır.

Organizasyon konusunda ise değişime öncülük edecek güçlü liderliğin eksikliği, bilgi ve motivasyon yetersizliği, BIM'in sağlayacağı yararların yeterince fark edilmemesi ve küçük ölçekli işletme ve projelerin olması sürecin benimsenmesini, dijital aracın koordinasyona olan katkısını anlamayı zorlaştırmaktadır. Teknik boyutta da sorunlar öne çıkmaktadır. Farklı standart ve formatların kullanılması, bilgi gereksinimlerinin belirsizliği ve teknolojiler arası birlikte çalışabilirlik problemleri, projelerde veri kaybına, zaman kaybına ve iletişim kopukluklarına sebep olmaktadır. Son olarak,

kaynak ve maaliyet konularında; yüksek başlangıç maliyetleri, uzman ve yazılım/teknoloji giderleri, BIM stratejilerinin yetersizliği, zaman kısıtları ile gerekli beceri ve yeteneklerin eksikliği kaynak ve maliyet temelli engeller arasında değerlendirilmektedir [Gharaibeh vd., 2022].

3.2.4. Ahşap Yapılar için Dijital Dosyadan Üretime Süreçleri

Dönüşümleri 20.yy'a dayanan dijital teknolojilerin yaygınlaşması 21.yy'da görülmektedir. İnşaat sektöründe çeşitli malzemelerle görülen inşaat teknolojileri sürdürülebilirlik anlayışının yükselmesiyle ahşapta da önemi vurgulanmaktadır. Ahşap yapı tasarım ve üretim süreçlerinde dijital teknolojiler giderek etkilerini arttırmaktadır. Özellikle CAD, CAM, BIM, CNC ve robotik kollar gibi teknolojilerin gelişip yaygınlaşması geleneksel yapı inşaat süreçlerinden köklü bir dönüşüme sebep olmuştur. Teknolojik gelişmeler aracılığıyla mimari tasarımların dijital dosyalarının doğrudan üretim aşamalarına katılabilmeleri sağlanmaktadır [Kaiser vd., 2019]. Bu gelişmeler sayesinde yüksek hassasiyet gerektiren yapı elemanları ve detaylar doğru, tekrarlanabilir ve kolay denetlenebilir bir şekilde yürütülmektedir.

“Dosyadan üretime (file to fabrication)” dönüşümü ile geleneksel yöntemlerde karşılaşılan kesim, birleşim montaj, karmaşık geometrilerin zorluğu, malzeme israfı gibi sorunların önüne geçilmektedir. Böylece yapı üretim sürecinde verimliliğin ve performansın artmasının yanında tasarım sürecinde yenilikçi mimari fırsatlar eklenebilmesini sağlamaktadır [Kaiser vd., 2019]. Tasarım sürecinde geliştirilen veriler ve girdiler üretime doğrudan aktarılabilir. Dosyadan üretime süreci parametrik algoritmaların tasarlanması, yapısal analizlerin yürütülmesi gibi adımları içermektedir [Martín-Pastor ve García-Alvarado, 2019]. Dijital modellerin parametrik şekilde üretilmesi üretim sürecinin rasyonelleşmesini sağlamaktadır [Buri ve Weinand, 2011]. Bu süreç, proje tasarımının oluşturulmasından sahada uygulanmasına kadar olan tüm adımların dışarıdan müdahaleye gerek kalmadan sistemsal olarak yürütülebilmesini hedeflemektedir. [Kaiser vd., 2019]. Proje tasarımının başlangıç aşamalarından itibaren tasarım kararlarının eş zamanlı olarak planlanabilmesi, bu kararların simülasyonunun yapılabilmesini ve sahada yapılacak montaja ilişkin adımların önceden belirlenebilmesini sağlayarak projenin verimini arttırmaktadır. Proje veriminin artmasının yanında sürdürülebilirlik kriterlerinin uygulanabilmesi sağlanmaktadır. Sürdürülebilir bir şekilde sürecin işlemesi için

tasarım ve üretim aşamalarında verilerin proje paydaşları arasında erişilebilir olması önemli olduğu için BIM araçları ön plana çıkmaktadır.

Tasarım sürecinin ardından üretim aşamasında karşımıza çıkan CNC makineler belli bir alanda ve yönde çalışmaktadır ve karmaşık tasarımların üretilmesinde yetersiz kalabilmektedir. Bu durumlarda robotik kollar devreye girerek uzayda kavrama ve yerleştirme gibi işlemleri yapmaktadır [Willmann vd., 2016]. Robotik kollar ile dijital tasarım verileri doğrudan otomatikleştirilerek gerçek boyutlu yapılara dönüşebilmektedir [Willmann vd., 2016]. Tasarım üretim süreçlerinde iş akışları belirlenerek planlı bir üretim süreci oluşturulmaktadır. Bu iş akışları ile üretim sürecinde her ahşap eleman bağlantı kurduğu diğer elemanlar ile tanımlanarak, kesim ve montaj sıraları belirlenmektedir [Willmann vd., 2016]. Bu sistem karmaşık formların ve ileri düzey detaylara sahip büyük ölçekli yapıların sahada uygulanabilmesini önemli ölçüde kolaylaştırmaktadır.

Ahşap yapılarda robotik sistemlerin kullanılması, tasarım ve üretim süreçlerinde yeniliklere imkân tanımaktadır (Şekil 3.12). Bu sistemler ile deneysel ve dinamik sonuçlar elde edilebilmektedir. Fiziksel imalata geçmeden önce imalatta kullanılacak olan tasarım ve üretim verilerinin robotik sistemlere aktarılarak simüle edilmesiyle üretim süreci öncesi doğruluk test edilmektedir. Bu simülasyon sayesinde üretimde ve montajda hata payı azaltılarak, karmaşık yapıların ve detayların üretilmesinde zaman kaybının ve hataların önüne geçilmektedir.



Şekil 3.12: Friedrich Zollinger tarafından geliştirilen, Gramazio Kohler Araştırma Grubu (ETH Zürih, 2012) tarafından robotik olarak inşa edilen ilk prototip [Willmann vd., 2016].

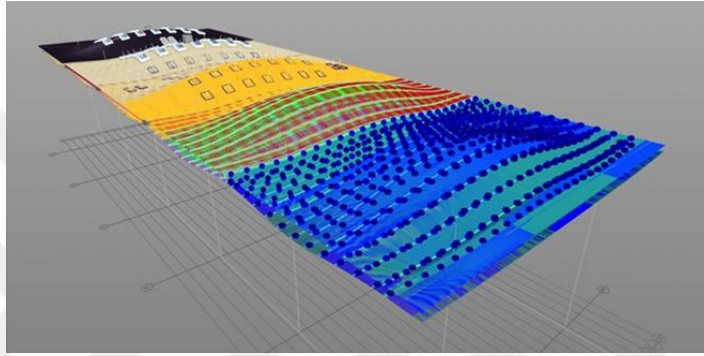
Dosyada üretime yaklaşımı, ahşap yapı üretiminde dijital teknolojilerin kullanılmasında rol oynamaktadır. Dijital tasarım verilerinin doğrudan üretime aktarılmasını sağlayarak üretim sürecinde dijitalleşmeyi getirmektedir. Böylece geleneksel üretim yöntemleri yeni bir sürece dönüşmektedir. Bern Uygulamalı Bilimler Üniversitesi'ndeki tam ölçekli test düzeneği, bu yaklaşımın işleyişini özetler niteliktedir. Yaklaşık 15 metre açıklığa sahip ahşap ızgara kirişlerin otomatik olarak üretilmesi, dijital ortamda geliştirilen tasarım modelinin doğrudan üretim makinelerine entegrasyonu sayesinde üretilmiş; bu sayede karmaşık formdaki yapısal elemanlar milimetrik hassasiyetle üretilenmiştir (**Şekil 3.13**).

Tasarlanan dijital model tasarım ve üretim verilerini bünyesinde barındıran bir kaynak olarak kullanılmaktadır. **Şekil 3.14**'teki örnekte, çatı geometrisi parametrik hesaplama yöntemiyle tasarlanmış yapısal davranış, malzeme kullanımı ve montaj sürecine ilişkin kararlar dijital ortamda üretim öncesi netleştirilmiştir. Dijital araçlar ile belirlenen veriler üretim makinelerine aktarılarak çıktı ürünün yüksek oranda hatasız şekilde üretilmesi sağlanmıştır. Bu sayede tasarım ve üretim zinciri doğru bir şekilde kurulmuştur.

“Dosyadan üretime” süreçleri, ahşap yapılarda tasarımın üretime dönüşme sürecini hızlandırmakta ve hata oranını azaltarak yapım kalitesini belirgin biçim arttırmaktadır. Üretim sürecinin otomatik sistemlere dayanması, tekrara dayanan karmaşık formlu tasarımların doğrulukla yapılabilmesini ve manuel müdahaleden kaynaklanan hataları azalmasını sağlamaktadır. Bu durum projede bir standardizasyon elde edilmesine de ortam hazırlamaktadır. Geniş açıklıklı ızgara sistemleri veya eğrisel yüzeyli paneller gibi geleneksel üretim yöntemleri ile üretilmesi zor olan elemanlar, yüksek doğrulukta ve kaliteyle imal edilebilmektedir. Bu durum ahşap yapı teknolojilerinin sınırlarını genişletmektedir. Teknik planlamanın doğru uygulanabilmesi üretim sürecinde kalite kontrolün verimliliği de sağlamaktadır.



Şekil 3.13: Prefabrik ahşap ızgara kirişlerin tam ölçekli yük testleri- Bern Uygulamalı Bilimler Üniversitesi (Görsel ©Arch-Tec-Lab) [Willmann vd., 2016].



Şekil 3.14: Çatı tasarımı, nesne yönelimli bir yaklaşımla hesaplamalı olarak modellenmiş ve Python kullanılarak Rhinoceros ortamına entegre edilmiştir. (Görsel ©Arch-Tec-Lab) [Willmann vd., 2016].

3.3. Parametrik Tasarım ve Dijital Fabrikasyon

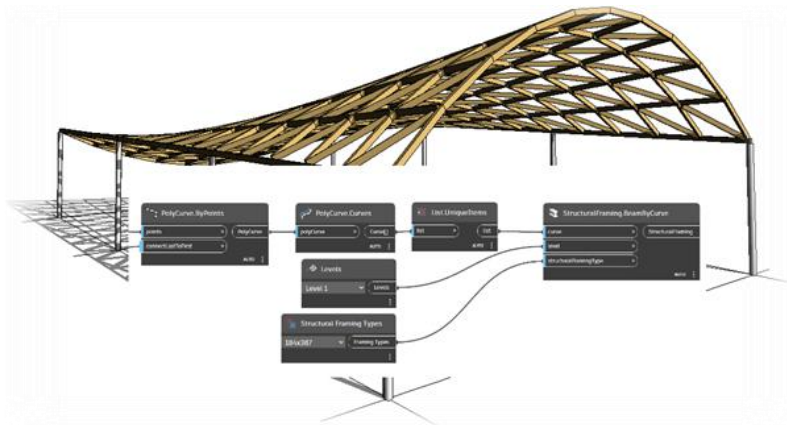
Gelişen teknolojilere entegre bir şekilde sürdürülebilir malzeme olan ahşap ile modern yapılar yeniden tanımlanmaktadır. Parametrik tasarım, tasarım sürecinde belirlenen parametreler aracılığıyla yapı formunun, geometrisinin, elemanlarının ve diğer yapısal verilerin belirlenebilmesini sağlamaktadır. Bu tasarım yöntemiyle serbest biçimli yapılarda kabuk, ızgara, kafes gibi sistemler ile esnek bir şekilde tasarım yapılabilmektedir. Parametrik tasarım, sabit bir tasarım yerine esnek parametreler ve algoritmalar aracılığıyla dinamik bir tasarım sürecini hedeflemektedir. Tasarım, görsel programlama dilleri sayesinde grafiksel araçlar ile sağlanmaktadır [İnceoğlu ve İnan, 2020]. Bu tasarım sürecinde üç aşamada parametrik tasarım ele alınabilir:

1-Yazılım ve Programlama Dili Seçimi: Görsel programlama aracı olarak Rhino için Grasshopper, Autodesk Revit için Dynamo ve Blender’da Geometry Nodes öne

çıkılmaktadır [Web 15, 2025] [Web 16, 2025] [Web 17, 2025] (Şekil 4.15). Script tabanlı programlama olarak ise Python ve C# birer seçenektir.

2-Parametre ve Algoritmik Tanımlama: Parametreler ile bir kemerin yarıçapı, bir kafes sistemindeki elemanların kalınlığı, bir cephedeki ahşap paneller arasındaki boşluk veya bir çatının eğim açısı gibi tasarım değişkenlikleri belirlenmektedir. Algoritmik tanımlama ile ahşap yapı tasarımında, elemanların birbirleriyle ilişkileri için hesaplanabilir ve sistematik bir ilişki kurulması amaçlanmaktadır. Tasarım bileşenleri için kurallar ve tasarım değişkenleri tanımlanarak, yapılan değişikliğe göre sistem otomatik olarak güncellenmektedir. Örneğin, bir ahşap kafes sisteminde giriş boyutlarının, taşıdığı yük miktarına göre otomatik olarak ayarlanması veya cephe panellerinin açılarının, gün ışığına göre dinamik bir şekilde değişmesi bu yöntem ile yapılmaktadır.

3-Modelleme, Analiz ve Üretim: Parametreler ve algoritmalar aracılığıyla oluşturulan modeller, herhangi bir parametre değiştiğinde otomatik olarak güncellenmektedir. Analiz aşamasında tasarım sürecine entegre edilen yapısal analizler (statik ve dinamik yükler), enerji simülasyonları ve malzeme optimizasyonu, en güvenli ve verimli çözümlerin elde edilmesini sağlamakta; böylece hem yapısal bütünlük korunmakta hem de gereksiz malzeme tüketimi önlenmektedir [Atabay ve Öztürk, 2019] [İnceoğlu ve İnan, 2020]. Üretim de gerekli olan kesim planları, yapı elemanları boyutları, kodları gibi veriler doğrudan üretilerek dijital fabrikasyon teknolojilerine aktarılabilmektedir.



Şekil 3.15: Dynamo ile bir kabuk tasarımı [Web 18, 2025].

Yazılım alanındaki gelişmeler sayesinde mimarlıkta parametrik tasarım anlayışının gelişimini hızlandırmıştır [İnceoğlu ve İnan, 2020]. Dijitalleşmenin getirdiği yeni

teknolojiler ile iki boyutludan üç boyutlu modellere geçişin hız kazanması, mimarların tasarım fikirlerini özgün bir şekilde daha bağımsız olarak kurgulanmasını sağlayarak, serbest form tasarımlar günümüzde tercih edilir hale getirmiştir [Choi vd., 2015].

BIM araçları ile geliştirilen grafiksel araçları, mimarlıkta parametrik tasarım yaklaşımlarının gelişmesini sağlayarak ek bir yazılımcıya gerek duyulmadan tasarımcılar tarafından rahatlıkla oluşturulabilmektedir [İnceoğlu ve İnan, 2020]. Grasshopper veya Dynamo gibi grafiksel algoritmik modelleme araçları, Rhino veya Revit gibi CAD/BIM tabanlı araçlar ile birlikte çalışarak kısa sürede farklı form alternatiflerinin üretilmesini sağlamaktadır ve bu modellerin yapısal analizini Karamba3D, Kangaroo Physics gibi eklentilerle eş zamanlı değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır. Böylece süreçler dijitalleşerek, verilerin takip edilmesi, tasarım ve mühendislik süreçlerinin birbirlerine daha yakın ilerlemesi sağlanmaktadır.

Tasarım araçları, yapı elemanlarının konum ve boyutlara ilişkin parametreleri belirleyip elemanların doğrudan oluşturulmasını sağlayarak, mimari veya yapısal değişiklikler durumunda çerçevelerin hızlı ve kolay bir şekilde yeniden düzenlenmesini ve birden fazla ahşap yapının çerçevelerinin verimli biçimde tasarlanmasını mümkün kılmaktadır [Calquin vd., 2024].

Parametrik olarak tasarlanan modeller CAM, CNC, robotik üretim ve montaj gibi dijital fabrikasyon süreçlerine verilerin aktarılabilmesini sağlayarak hızlı ve hassas bir üretim ortamı oluşturmaktadır. Modern ahşap yapı tasarımında parametrik tasarımın dijital üretim tekniklerine entegrasyonu, yapının biçimsel esnekliğini ve yapısal performansını geliştiren bir yaklaşımı ortaya konmaktadır. Ahşabın üç ana doğrultuda farklı mekanik özellikler gösteren ortotropik bir malzeme olarak, lif yönünde yüksek çekme ve basınç dayanımı, lif dikine düşük kesme dayanımı parametrik modellerde malzemenin lif yönüne göre davranışını tanımlamak için kullanılabilir. Bu şekilde ise FEM (Sonlu Elemanlar Metodu) analizleriyle optimize edilebilir ve süreç sık uygulanmasa da daha rasyonel bir şekilde değerlendirilebilir. Bu yaklaşım ile serbest biçimli yapıların tasarım ve üretim süreci karmaşık olmasına karşı geniş açıklıkları en az malzeme ile geçilmesini sağlayan verimli taşıyıcı yapılar olarak değerlendirilmektedir [Koç ve Gür, 2021]. Lamine ahşaplar ise bu yapılarda geleneksel ahşaba kıyasla dayanıklılığı ve taşıma kapasiteleri fazla olduğu için tercih edilmektedir.

3.4. Ahşap Yapı Tasarımında CAD Tabanlı Dijital Araçlar

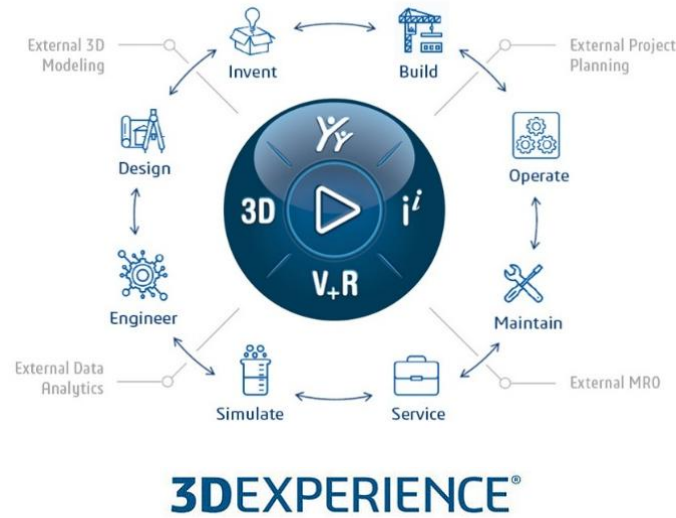
Tarih boyunca geleneksel bir malzeme olarak kullanılan ahşap çeşitli dijital araçların gündeme gelmesi ile modern zamanda yeni bir yer edinmiştir. Tasarım ve üretim süreçlerinin hatasız, hızlı ve kontrollü ilerleyebilmesi için bu araçlar güncellemeler ve yeni versiyonları ile güncelliğini korumaktadır. Tasarlanan projelerin dijital süreçlerinin yönetilebilmesi çeşitli araçlar kullanılmaktadır. Bunların başında CAD ve BIM araçları ön plana çıkmaktadır.

CAD dijital araçları ahşap yapıların elemanlarının ve detaylarının 2B ve 3B olarak çizilerek olası hataların önüne geçilebilmesini sağlamaktadır. Bunun yanında CNC makinelerine gönderilecek olan verilerin ilk aşaması olarak da kullanılmaktadır. Dijital araçların ve CNC teknolojilerinin ortaklığı yapının üretim sürecinin daha verimli olmasını sağlamaktadır [Calquin vd., 2024]. Geleneksel yöntem olan el çizimlerindeki hata payının da azalması amaçlanır. Ahşap yapı tasarımlarında en öne çıkan CAD araçları 3DEXPERIENCE SOLIDWORKS, Shapr3D, Autodesk Fusion 360, SketchUp C+T (Change+Timber) ve Autocad gibi araçlardır [Calquin vd., 2024]. Bunların yanında bir CAD aracı olan Rhino ile çalışan Grasshopper ve BIM aracı olan Revit ile çalışan Dynamo aracı görsel programlara araçları olarak ahşap parametrik tasarım ve karmaşık geometrilerin çözümlerinde ayrıca kullanılmaktadır.

3DExperience Solidworks

3DExperience Solidworks, Dassault Systèmes tarafından geliştirilen ve bulut tabanlı ileri düzey bir 3B CAD aracıdır. Bulut tabanlı bir sistem olması dosya yönetimi ve veri revizyon süreçlerinin kontrol altında olabilmesini sağlamaktadır.

Parametrik tasarımı da destekleyen bir tasarım aracıdır. Dijital araç, tasarımların hızlı bir şekilde paylaşılmasını sağlayarak işbirlikçi bir çalışma ortamını desteklemektedir ve üretime aktarılacak ayrıntılı tasarım dokümanları ve çizim imkânlarını sağlamaktadır [Web 19, 2025] (Şekil 3.16).



Şekil 3.16: CAD aracının döngüsel şeması [Web 19, 2025].

Dijital modelleme ile başlanan tasarım süreci fiziksel üretime geçiş bütüncül bir şekilde ele alınmalıdır. Projenin geometrisinin oluşmasının yanında parametrik bir sistem olarak gerekirse manuel bir şekilde girilerek sayılar, formüller ve kurallar ile eleman tanımlarının yapılabilmesi sağlanır. Bu sayede birleşim detayları, modüler elemanlar esnek bir şekilde planlanabilmektedir.

Yapısal analiz süreçlerinde FEA yöntemi ile lineer ve doğrusal olmayan statik analizler, burkulma, modal analiz, dinamik yükleme ve termal davranış gibi farklı mühendislik senaryoları değerlendirilebilmektedir [Web 19, 2025]. Fakat resmî belgelerde bu araçta ahşap malzemelere özgü özel bir FEA modülü bulunmamasına rağmen manuel malzeme tanımlarıyla ahşap yapılar için performans analizinde kullanılabilmektedir.

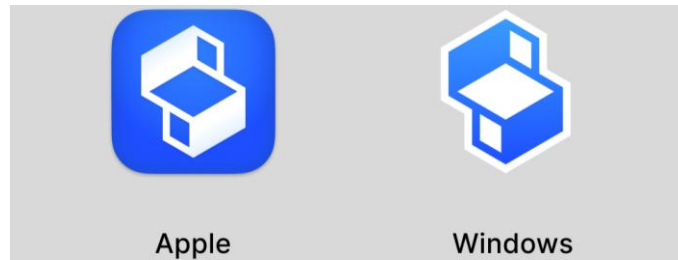
Analizlerin ardından CAM araçlarına aktarım yapılmaktadır [Millî Eğitim Bakanlığı, 2019]. CAM araçlarında CNC makinelerinin işleyebileceği şekilde takım yolları (toolpaths) oluşturulur [Millî Eğitim Bakanlığı, 2019]. Oluşturulan takım yolları G-code formatına dönüştürülerek makine hareketlerinin ve parametrelerinin kontrol edilmesi sağlanmaktadır.

3DExperience Solidworks, “malzeme karmaşıklığı ve CAD modelleme” ile “iş birliği ekosistemi ve birlikte çalışabilirlik” alanlarında diğer araçlara göre güçlü bir performans göstermektedir [Calquin vd., 2024]. Karmaşık ahşap geometrilerinin ve detaylı birleşimlerin üst düzeyde modellenmesini mümkün kılmaktadır. Bulut tabanlı bir program olduğu için proje ekibi arasında verilerin doğru ve eş zamanlı erişilmesini

sağlayarak birlikte çalışabilme ortamı oluşturmaktadır. Bu özelliklere karşı CAD aracı “mevzuat entegrasyonu” ve “sürdürülebilir tasarım” alanlarda gelişiminin açık olduğu değerlendirilmektedir [Calquin vd., 2024].

Shapr3D

Shapr3D karmaşık konseptli tasarımların kolay bir şekilde oluşturulmasını sağlayan bir CAD ve 3B modelleme aracıdır. CAD aracının arayüzünün kullanıcı dostu olmasının yanında ahşap elemanlarının tasarım ve üretim aşamalarını büyük ölçüde hızlandırarak kolaylaştırmaktadır. Ayrıca Siemens Parasolid® çekirdeği ile güçlendirilerek Boole ve Fillet işlemlerinden tam parametrelili Loft işlemlerine kadar yapılabilmesini sağlayan taşınabilir bir uygulama olarak öne çıkmaktadır [Web 21, 2025]. Parametrik davranışlar ile modüler ve tekrarlı ahşap bileşenlerin yönetilme süreci kolaylaşmaktadır. Shapr3D, tarih tabanlı parametrik modelleme sistemi ile modelleme sürecinde her tasarım adımını ayrı “özellik” olarak kaydetmekte ve bunların mantıksal sırasını koruyarak model bütünlüğünü sağlamaktadır [Web 21, 2025]. Modüler ve prefabrik ahşap yapıların tasarımında, yapı eleman ve bileşenlerinin hızlı ve bağımsız biçimde tasarlanabilmesine olanak tanımaktadır. Dijital aracın parametrik kontrol mekanizmaları sayesinde geometrik ve yapısal parametreler değiştirilebilmekte böylece esnek ve değişken tasarım kurguları kolay bir şekilde yapılabilir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17: Sharp3D’nin logosu [Web 20, 2025].

Shapr3D başta iPadOS olmak üzere macOS, visionOS ve Windows cihazlarında çalışabilmekte ve Apple Pencil desteklenerek adaptif bir modelleme ortamı sağlanmaktadır [Web 21, 2025]. Üretim ve montaj alanlarında anlık revizelerin ve kontrollerin kolaylığı açısından tablet üzerinden tasarımların yapılabilmesi tasarım ve üretim sürecini kolaylaştırmaktadır (Şekil 3.18).



Şekil 3.18: Sharp3D'nin üretim alanında tablet ile kullanımı [Web 21, 2025].

Shapr3D'deki dosya uyumluluk süreçlerinde kolaylıklar sayesinde ahşap yapı bileşenleri farklı yazılımlara entegre olabilmektedir. Yerel dosya formatları olarak PRT, SLDPART, CATPART ya da XT ve STEP formatlar aracılığıyla farklı CAD araçları, simülasyon ya da üretim araçları ile uyumlu çalışabilme ortamı sağlanmaktadır [Web 21, 2025]. Ahşap tasarım süreçlerinde Shapr3D malzeme özelliklerinin dijital ortamda yeterli temsil edilmesi ve modelleme süreçlerinde temel seviyede ihtiyacı karşılamaktadır [Calquin vd., 2024]. Özellikle tasarımın mevzuata uyumu konusunda ve sürdürülebilir tasarım ve optimizasyon konularında yetersiz kalmakta; fakat birlikte çalışabilme ortamını iyi oranda sağlayabilmektedir [Calquin vd., 2024].

Autodesk Fusion 360

Fusion 360 sahip olduğu CAD ve CAM teknolojileri sayesinde yapabildiği farklı mühendislik tasarımları yanında modern ahşap yapı tasarım ve üretim sürecini desteklemekte ve tek bir platformda süreci ilerletebilmektedir (Şekil 3.21). Ahşap elemanların, panellerin veya birleşim detaylarının Fusion 360'taki parametrik desteği sayesinde tasarım güncellemelerinin dinamik bir şekilde uygulanabilmesi hedeflenmektedir. Bu araç sayesinde tasarımlar geometri ve uyumluluk beklentileri analiz yöntemleri ile doğrulanabilmektedir [Web 22, 2025].



Şekil 3.19: Fusion 360 logo [Web 22, 2025].

Fusion 360 sayesinde hızlı 3B modelleme sayesinde otomatik 2B çizimler elde edilerek verimlilik artırılmaktadır [Web 22, 2025]. Proje ekipleri arasında iletişim verimliliğini arttırmakta bunun yanında tekrar tasarım yapılmayacak olması tasarım süresini kısaltarak işgücü maliyetlerini düşürmektedir. CNC makineleri genellikle 2B kesitler kullandığı için üretim sürecinde kolaylaşmaktadır.

Fusion 360, malzeme özelliklerinin dijital ortamda yeterli temsil edilmesi ve modelleme süreçlerinde bazı alternatiflerine göre iyi bir performans sağlamaktadır [Calquin vd., 2024]. Tasarımda mevzuat entegrasyonu konusunda ise yine orta seviyede gereksinimleri karşılamaktadır [Calquin vd., 2024]. Sürdürülebilir tasarım ve işbirlikçi çalışılabilir ortamını iyi oranda sunabilmektedir [Calquin vd., 2024]. Bulut çalışma ortamı ile projelerdeki ilerlemelere yapılan değişimlere ve yorumlara kolaylıkla erişilebilmektedir [Web 22, 2025].

SketchUp

SketchUp Trimble tarafından geliştirilen kullanıcı dostu arayüze sahip, en çok kullanılan araçlardan bir tanesidir (Şekil 3.20). 3B modelleme için kolay ve hızlı öğrenilebilen bir yazılım aracı olarak güncelliğini korumaktadır.



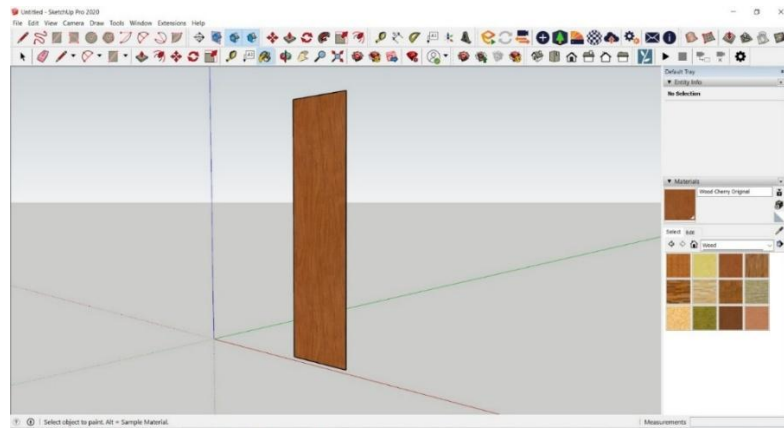
Şekil 3.20: SketchUp logo [Web 23, 2025].

Tasarım aracı mimari, peyzaj ve mühendislik uygulamalarında hızlı 3B modelleme ve görselleştirme fırsatı sunmaktadır. Diğer CAD araçları ile kıyaslandığında teknik detaylar ve hesaplamalarda yeterli değildir fakat konsept, kütle, 3B modelleme, görselleştirme tasarım aşamalarında kullanılmaktadır. SketchUp, çeşitli eklentiler ve dosya formatları aracılığıyla Autocad, Revit, Fusion 360, Rhino, 3ds Max, Lumion gibi dijital araçlar ile bağlantı kurabilmektedir. Bu sayede tasarım, veri ve üretim iş akışında koordinasyonu dolaylı olarak desteklemektedir. Bunların yanında Extension Warehouse'da bulunan CutList, Profile Builder gibi eklentiler aracılığıyla panel boyutlandırmaları, kesim listelerinin hazırlanması gibi detaylar planlanabilmektedir [Web 24, 2025]. Ayrıca V-Ray ve SketchUp; V-Ray, Lumion gibi görselleştirme

araçları ile entegre olabilmektedir. Işık, gölge, malzeme ve mekânsal konularda yapının estetik veya işlevselliğinin değerlendirildiği analizler bu entegrasyonlar sayesinde yapılabilmektedir. IFC formatı ve çeşitli eklentiler ile diğer CAD veya BIM araçlarına entegrasyonu, özellikle parametrik olmayan ahşap elemanların dijital iş akışına dahil edilmesini kolaylaştırmaktadır. Bu format, günümüz ahşap yapı tasarım süreçlerinde, bağlantının ve koordinasyonun devamlılığı için önemli bir rol üstlenmektedir.

SketchUp'ın CAD sınıfına dahil edilmesindeki gerekçeler arasında, yüksek doğrulukta üç boyutlu modelleme ve teknik çizim üretebilme kabiliyeti, DWG/DXF, STL, IFC ve 3DS gibi çeşitli formatlarla dosya uyumluluğu ve veri aktarımı, hassas ölçülendirme yeteneği, üretim hazırlığı ve eklentiler ile malzeme listeleri oluşturabilme kapasitesi ile teknik ve endüstriyel uygulamalarda kullanılabilir olması yer almaktadır (**Şekil 3.21**).

SketchUp malzeme karmaşıklığı ve modelleme konusunda yüksek performans göstermektedir. Bunun yanında birlikte çalışma ortamı sağlaması açısından orta seviyede beklentiyi karşılamasına rağmen tasarımda mevzuata entegrasyon ve sürdürülebilir tasarımda temel seviyede kalmaktadır [**Calquin vd., 2024**].



Şekil 3.21: SketchUp arayüzü [**Web 23, 2025**].

C+T (Change+Timber)

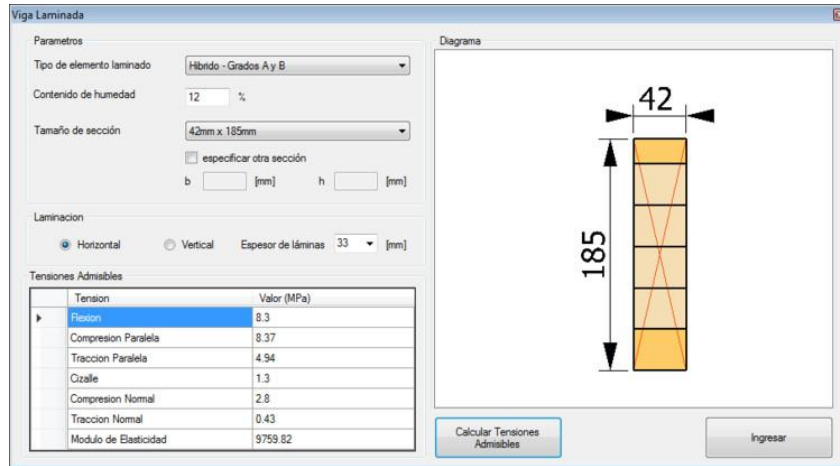
C+T Şili merkezli Elige Madera girişimi tarafından geliştirilen ve Latin Amerika'da ahşap yapıların hesaplamaları için geliştirilen ilk dijital araç olarak öne çıkmaktadır [**Web 25, 2025**]. Bu araç eğitim ve profesyonel amaçlı kullanıcıların ahşap ile kolay ahşap tasarımlar yapmasına ve verimli projeler geliştirmesine olanak tanımaktadır

[Web 25, 2025]. Eğitimde öğrencilerin de kullanımına yönelik kullanıcı dostu arayüze sahip bir araç olması gerçekçi mühendislik senaryoları üzerinden deneyim kazanılmasını ve tasarımın pratiğe dökülmesini sağlayabilmektedir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22: Elige Madera C+T logosu [Web 26, 2025].

Dijital araç çam, meşe gibi piyasadaki ağaç türlerinden tasarlanabilen ahşap elemanlar, eğrisel ve yükseklik değişkenli elemanları da içeren lamine ahşap elemanlar, kafes, I-kiriş, kutu tipi gibi kompozit elemanlar ve çivi, vida, cıvata, pim ve dübel gibi yapısal bağlantıları kapsayan dört temel modülden oluşmaktadır [Web 25, 2025]. Böylece eleman seçimi malzeme türü, kesit boyutları, yükleme koşulları gibi parametreler girilerek taşıma kapasitesi, gerilme ve stabilite hesapları yapılabilmektedir (Şekil 3.23).



Şekil 3.23: Elige Madera C+T ahşap kesitin oluşturulması [Web 25, 2025].

Autocad

Autocad, 2B ve 3B tasarıma izin veren bir CAD aracıdır (Şekil 3.24). Bilgisayar destekli tasarım aracı, konsept tasarım, detaylı tasarım, detay geliştirme, teknik tasarım ve çizim gibi süreçlerde kullanılan bir araç olarak öne çıkmaktadır. Ahşap yapı

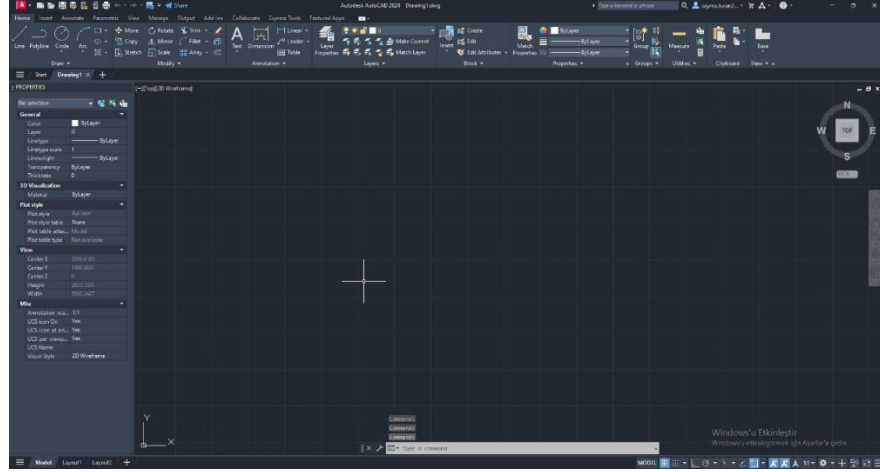
projelerinde, kiriş, kolon, panel ve birleşim detaylarının hassas şekilde tasarlanması, kesit ve montaj çizimlerinin standartlara uygun olarak belgelenmesini sağlamaktadır. Böylece yapısal bileşenlerin dijital çizim ortamında netleştirilmesi üretim öncesi kontrole katkıda bulunur. Autocad ayrıca, CNC üretim sistemleri veya dijital üretim süreçleri için teknik üretim çizimleri, kesim planları, montaj sırasının ilgili imalat ortamına aktarılabilmesi için 2B DWG/DXF dosya çıktıları oluşturulması gibi kritik görevlerde kullanılmaktadır [Web 27, 2025].

Autocad'ın sahip olduğu, katman ve blok yönetimi, hassas ölçülendirme, 2B/3B modelleme ve eklenti desteği gibi farklı teknik özellikleri sayesinde, tasarım sürecinde kullanıcıya teknik, esnek ve sistematik bir çalışma ortamı sağlamaktadır. Özellikle katman ve blok yönetimi, çizimlerin aşamalarının takip edilebilmesini kolaylaştırmaktadır [Web 27, 2025]. Ahşap yapı projelerinde de AutoCAD, ön tasarım ve kavramsal planlamadan, detay tasarım ve mühendislik çizimlerine kadar tüm üretim hazırlığının ve saha montaj dokümantasyonunun hazırlanabilir olması proje süreçlerinde etkin bir şekilde tercih edilmesini sağlamaktadır. Autocad'in kapsamlı bir mimari parametrik tasarım ve yapısal analiz özellikleri kısıtlı olduğu için karmaşık geometrilerin ve statik hesapların gerektiği analiz süreçleri dijital aracın içerisinde işlenmesi uygun değildir.



Şekil 3.24: Autocad logo [Web 27, 2025].

Autocad, malzeme karmaşıklığı ve modelleme aşamalarında yeterli düzeyde gereksinimi karşılamaktadır (Şekil 3.25). Fakat tasarımda mevzuata entegre olma, sürdürülebilir tasarım beklentilerini karşılama ve işbirlikçi çalışma ortamı için temel seviyede beklentiği karşılamaktadır [Calquin vd., 2024].



Şekil 3.25: Autocad arayüzü [Web 27, 2025].

SEMA Timber Construction

Almanya merkezli Sema Timber Construction, ahşap yapı sektörüne yönelik modüler CAD aracıdır [Web 28, 2025] (Şekil 3.26). 2B ve 3B çalışma sistemi sayesinde değişiklikler otomatik olarak yapılarak eş zamanlı ilerlemektedir [Web 28, 2025]. Kolay kullanılan bir arayüze sahip olan tasarım aracı yapı duvarlarının katmanlarını düzenlemeyi ve yapı elemanlarının otomatik bir şekilde yerleşimini bunun yanında metraj hesaplamalarının, malzeme planlamasının ve maliyet tahmininin yapılabilmesini sağlamaktadır [Web 28, 2025]. Bu özellikler tasarımcıların karmaşık yapı elemanlarının ve yapı sisteminin optimize edilebilmesine ortam sunmaktadır. Farklı yapı tarzlarına uyum sağlayan araçlar ve önceden tanımlanmış bileşen kütüphaneleri sayesinde zamandan ve maliyetten tasarruf sağlanabilmektedir [Web 28, 2025]. Diğer araçlardan gelen dosyalar kolaylıkla içe aktarılabilir [Web 28, 2025]. Dijital aracın verilerinin CNC tabanlı üretim için makinelere aktarabilmesi ise iş yükünü hafifleterek güvenilirliği arttırmaktadır. Üretim makineleri ile entegre olan sistem, prefabrik inşaat ve malzeme detaylarının otomatikleşmesini sağlamaktadır [Web 28, 2025].



Şekil 3.26: SEMA Timber Construction Logo [Web 28, 2025].

Dijital araç, bina fiziği modülü, mevcut proje verilerini temel alarak enerji performansı hesaplamaları ve malzeme belgeleri hazırlama imkânı sunmaktadır. Veri alışverişi sayesinde enerji performansı yazılımlarına veri aktarımı yapılabilmektedir. 3B nokta bulutu ile çalışma özelliği ise lazer taramalarından elde edilen verilerin doğrudan modelleme sürecinde kullanılarak işlenmesine olanak sağlamaktadır. Bu özellik, projelerin renovasyon veya genişleme çalışmalarında hataları azaltarak, saha ölçümlerinin doğruluğunu artırmaktadır [Web 28, 2025].

Sema Timber Construction'da ahşap ve çelik bileşenlerin hesaplanmasını destekleyen entegre araçları kullanıcıya sunmaktadır [Web 28, 2025]. Yapısal analiz model üzerinde eş zamanlı yapılabildiği için analiz süreci hızlı bir şekilde ilerlemektedir. Ahşap ve çelik olarak farklı bağlantı detayları kütüphanelerden model üzerinde tanımlanabilmekte veya özel olarak tasarlanabilmektedir [Web 28, 2025] (Şekil 3.27).



Şekil 3.27: SEMA Timber Construction tasarım örneği [Web 28, 2025].

3.5. Ahşap Yapı Tasarımında BIM Tabanlı Dijital Araçlar

BIM, ahşap yapılarının tüm yaşam döngülerinin tek bir sistem altında kontrol edilebilmesi amaçlayan bir araç olarak kullanılmaktadır. Bu araçlar ile tasarımın yanında projeye ait yapım yöntemleri, simülasyon analizleri, form, malzeme gibi önemli verilerin bir bütün halinde bulunması sağlanmaktadır.

Ahşap projelerinde başlıca kullanılan BIM araçları olarak Archicad, Revit, Tekla, Allplan, Naviswork gibi araçlar kullanılırken bu araçlarla çalışan ahşap eklentileri ve araçları olarak ArchiFrame, Vertex DB, AGACAD Wood Framing, WoodStud Frame, Metal Wood Frammer, Timber Framing, Offsite wood, CADWorks yazılımları öne çıkmaktadır [Calquin vd., 2024].

Archiframe

Archiframe, bir BIM aracı olan Archicad'ın bir eklentisi olarak kullanılmaktadır [Web 29, 2025] (Şekil 3.28). Dijital araç, ahşap veya çelik bir yapının tasarımdan üretim hattına ve sonrasında da kontrol edilebilmesini mümkün kılmaktadır. Ayrıca, duvarlar, kolon ve kiriş sistemleri, ara katlar ve çatı yapıları için yapısal çerçeve oluşturulabilmekte ve gerçekçi görselleştirmeler ile tasarım ortaya çıkmaktadır [Web 30, 2025].

Archiframe, büyük veya küçük inşaat projelerinde kullanılabilmekte ve RENDERLights gibi ek araçlarla yerel görselleştirme kapasitesini artırarak görsellik kalitesini arttırmayı hedeflemektedir. Tasarımların etkileşimleri olarak sunulabilmesi veya taşınabilmesi için mobil ve tablet uyumlu BIMx mobil uygulaması kullanılmaktadır [Web 30, 2025].



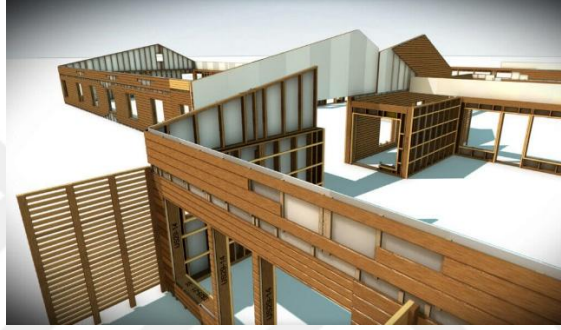
Şekil 3.28: Archiframe logosu [Web 29, 2025].

Archiframe ile projenin ilk gününden itibaren tüm süreç tek platformda yer alarak zaman ve maliyet konularında tasarruf imkânı sağlanmaktadır. Yeni bir ahşap yapı yapılabilmesinin yanında tadilat veya güçlendirme projelendirilmeleri de yapılabilir [Web 29, 2025].

Yazılımda, mimari tasarımın yapılabilmesi, yapı elemanlarının oluşturulup detaylandırılabilmesi, yapısal modelleme ve üretim aşamalarının oluşturulabilmesi ortak bir veri platformunda projenin bütünleşebildiğini göstermektedir. Üretim için bir diğer özellik ise kesim listeleri ile CNC'de üretim yapılabilir [Web 29, 2025].

Archiframe eklentisinin kullanıldığı Archicad aracında çoklu içe ve dışa aktarma seçeneklerinin olması ile projede çarpışma kontrolü için mekanik, elektrik ve sıhhi tesisat sistemlerinin entegrasyonunu kapsayan MEP mühendisliğinin yapısal modele entegre edilmesi çok disiplinli bir çalışma ortamı sağlamaktadır [Web 29, 2025]. Bu çalışma ortamı ile tek tıklamayla ahşap yapıların taslağını oluşturulabilir ve tasarım geri bildirimi alınabilmektedir [Web 29, 2025]. Tasarım sürecinde metrik ve emperyal ölçü birimleri arasında ayarlar aracılığıyla geçiş yapılabilir [Web 30, 2025].

Archiframe ile cephe kaplamaları, hava panelleri ve split panelleme gibi seçeneklerle dış cephe kaplaması uygulanabilmektedir [Web 30, 2025]. Araç ile yapısal çerçevesi inşa edilebilen çatılarda eğimli elemanları yönlendiren çizim düzlemleri kullanılabilmekte ve kırlangıç kuyruğu veya dübel gibi ahşap birleşim şekilleri ile basit açılı kesimleri desteklemektedir [Web 30, 2025]. Ayrıca destek makasları oluşturulabilmekte, tavan kirişleri ayarlanabilmekte ve çatıdaki vadi veya köşe kirişleri yerleştirilebilmektedir (Şekil 3.29). Ahşap döşeme ve zemin yapılarında döşeme kirişleri otomatik olarak yapı ızgarasına uyum sağlamakta, kullanıcı her bir kiriş üzerinde kontrol sahibi olabilmekte ve I-kirişler kontrplak takviyeleri ile desteklenebilmektedir [Web 30, 2025].



Şekil 3.29: Archiframe ahşap yapı tasarımı [Web 30, 2025].

Vertex BD

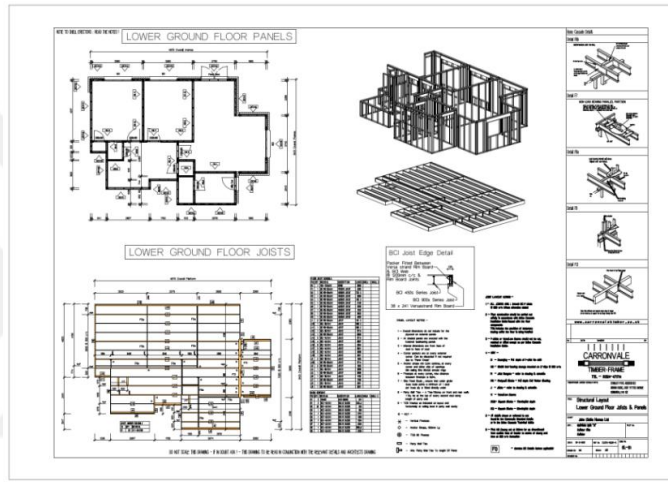
Vertex BD, üretimde hata oranının en aza indirilerek daha hızlı ahşap yapı projeleri yapılmasını sağlayan ve detaylandırmadan üretime kadar doğru verimli bir BIM yazılım aracıdır (Şekil 3.30). Yapının mimari tasarım sürecinde teknik çizimler, yapı bileşenlerini oluşturma araçları, malzeme ve maliyet tahminlerinin hazırlanmasını içerirken; yazılım aracı çerçeveleme, panel imalat çizimleri, kesim listeleri ve malzeme raporlarını otomatik olarak üretmektedir [Web 31, 2025].



Şekil 3.30: Vertex BD Logo (Web 31, 2025).

Vertex BD, özelleştirilebilir şablonlar aracılığıyla malzeme listeleri, pencere ve kapı çizelgeleri, kesim listeleri gibi raporları otomatik olarak üretebilmektedir [Web 31, 2025]. Bu sayede veri akışı standartlaştırılabilir, planlama ve uygulama aşamaları kontrollü bir şekilde ilerleyebilir.

Vertex BD ile veriler 2B veya 3B şeklinde içe aktarılarak tasarım sürecine dahil edilebilmektedir. Projelerin veri paylaşımı için IFC başta olmak üzere PDF, DWG, DXF, IGES ve STL gibi farklı formatlar ile dışarı aktarılabilir desteklenmektedir (Şekil 3.31). Vertex BD, önemli görevleri otomatikleştirerek, manuel girdilerde yapılabilecek hataların azalmasını sağlamaktadır [Web 31, 2025].



Şekil 3.31: Vertex BD pafta hazırlanışı [Web 31, 2025].

AGACAD/ARKANCE Be.Smart Wood Framing

AGACAD Wood Framing bir BIM dijital araç eklentisi olarak modern ahşap yapı sistemlerinde kullanılmaktadır [Calquin vd., 2024]. AGACAD, ahşap yapıların tasarım ve üretim süreçlerini dijitalleştiren Autodesk Revit eklentileri geliştiren bir yazılım şirketi olup, 2021 yılında Fransız teknoloji grubu ARKANCE tarafından satın alınmış ve ürünleri o tarihten itibaren ARKANCE Be.Smart markası altında sunulmaya başlanmıştır [Web 32, 2025] (Şekil 3.32). ARKANCE Be.Smart Wood Framing, Autodesk Revit için ahşap yapıların tasarım ve üretim süreçlerinin yönetilmesini sağlayan bir yazılım eklentisi olarak kullanılmaktadır [Web 33, 2025]. Ahşap yapıların tasarım ve üretim sürecindeki karmaşıklıklar ve disiplinlerarası

Çalışma ortamı gerektirmesi geleneksel yöntemlerin hızlı ve hatasız üretimler için yetersiz kalmasına sebep olmaktadır.



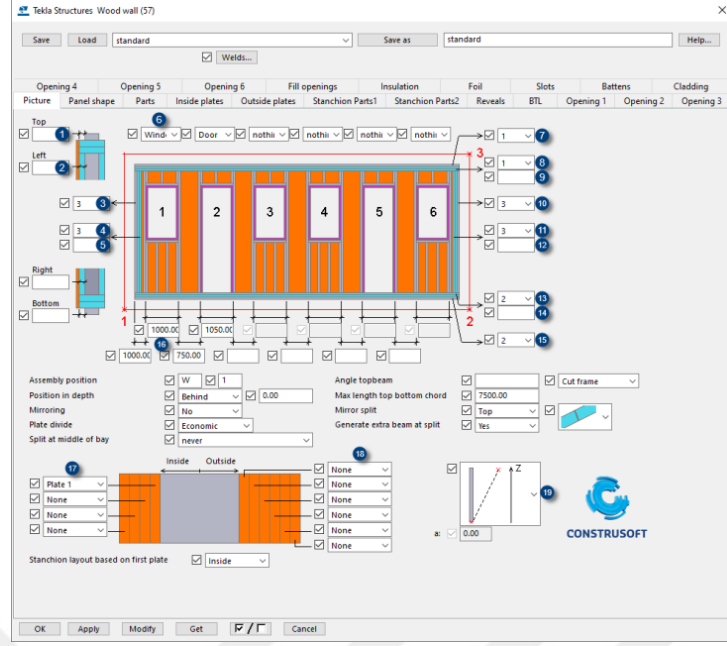
şekil 3.32: Be.Smart Wood Framing Logo [Web 33, 2025].

Revit'in 2003-2026 sürümlerine uyumlu yazılım aracı, taslak aşamadan detaylı planlamaya kadar BIM odaklı süreçlerde disiplinlerarası senkronizasyonu sağlamaktadır [Web 33, 2025]. Bu sayede, mimari, yapısal ve MEP disiplinleri arasındaki koordinasyon verimliliği artmaktadır [Web 33, 2025]. Wood Framing, Revit'teki modelleme ve veri aktarımı süreçlerini otomatikleştirerek hızlandırıp, tasarım, kaplama, montaj gibi aşamalarda yapılabilecek değişiklikler için otomatik revizeler alınabilmektedir [Web 33, 2025].

Wood Stud Frame

Tekla Structures aracı yapısal mühendislik için kullanılmaktadır [Calquin vd.,2024]. Trimble'a ait bir BIM aracı olan Tekla Structures'da bileşen kütüphanesine eklenen bir araç olarak Wood Stud Frame, ahşap panel ve duvar çerçevelerinin sistemli bir şekilde oluşmasını ve üretime yönelik verilerinin dışa aktarılmasını sağlamaktadır [Web 34, 2025].

ereveyi oluşturan dikmeler, st ve alt başlıklar, lentolar ve pencere/kapı boşlukları gibi elemanlar bir duvar için belirlenen yüzeye veya bir referans çizgisine otomatik olarak yerleşmektedir. Ardından tanımlanan her bir parça Tekla'nın 3B modelde ayrı elemanlar şeklinde üretim verisi olarak kaydedilmektedir [Web 34, 2025] (şekil 3.33).

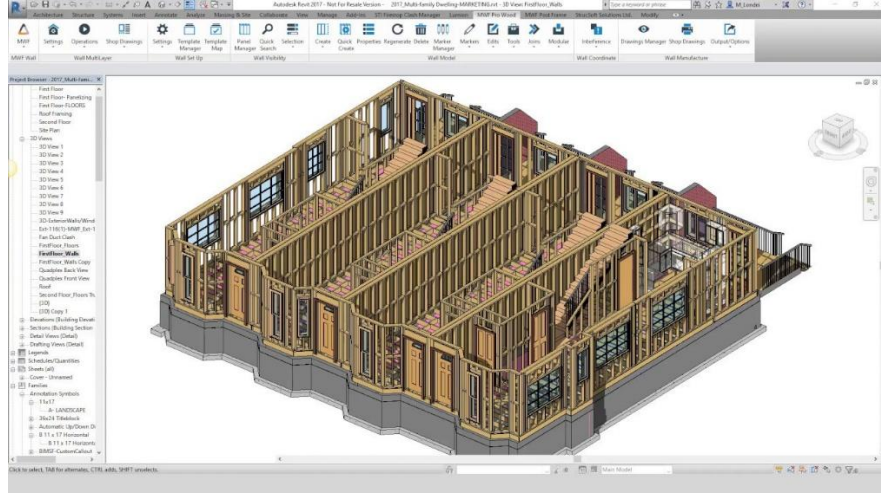


Şekil 3.33: Tekla Structures’da ahşap duvar ayarlanması [Web 35, 2025].

Metal Wood Frammer (MWF)

Metal Wood Frammer (MWF) eklentisi Autodesk Revit için çalışan hafif çelik ve ahşap çerçeveleme aşamalarında otomatikleşmesini sağlayan bir araçtır. Ana çerçeve bir yazılım paketi olan Metal Wood Frammer’da MWF Pro Wood veya Strucsoft Pro Wood özel olarak ahşap için ayrılmış bölümü ifade etmektedir [Web 36, 2025]. MWF Pro Wood yani ahşap yapı uzmanları için geliştirilen araç; ahşap duvar, zemin, çatı ve giriş sistemlerinin otomatik olarak modellenmesini sağlamaktadır [Web 36, 2025]. Ayrıca yazılım projedeki malzeme ve kesim listelerinin ve ölçülü panel tasarımlarını oluşturarak CNC makinelerine bilgilerini aktarabilmektedir [Web 36, 2025]. Modern ahşap yapı projelerinde, tasarım, üretim ve montaj süreçleri arasındaki dijital akış koordinasyonun doğru yapılabilmesi, projenin hızlı ve planlanan maliyete uygun şekilde tamamlanmasını sağlamaktadır.

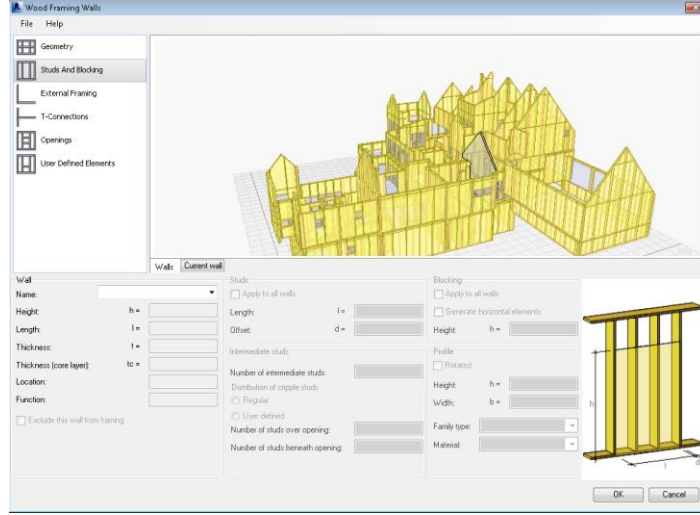
MWF ProWood, gelişmiş boyutlandırma motorlarıyla birlikte çalışmakta ve döşeme sistemlerini Revit aracındaki yük verilerini uluslararası IBC ve NBCC kodlarıyla analitik olarak belirlemektedir (Şekil 3.34). Belirlenen tasarım kriterlerine göre ise elemanların boyutlarını üretebilmektedir. [Web 36, 2025].



Şekil 3.34: Revit'te MWF Pro Wood eklentisinin kullanımı [Web 37, 2025].

Timber Framing

Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) kapsamında, uzun bir süre Autodesk Timber Framing eklentisi ahşap yapıların parametrik tasarımlarında kullanılmıştır. Bu eklenti, Autodesk'in BIM aracı olan Revit için geliştirilen Revit Extensions paketine dahil bir şekilde kullanıma sunulmuş ve ahşap yapı elemanları ve yapı bileşenleri detaylı ve kolay bir şekilde modele eklenebilmiştir. Tasarım görselliğinin yanında teknik detaylar, metraj listeleri ve imalat süreci için üretim çizimleri BIM üzerinden oluşturulabilmektedir (Şekil 3.35). Fakat Autodesk ürün stratejisi doğrultusunda söz konusu bu özel ahşap karkas modelleme işlevselliğinin doğrudan desteği ve geliştirilme süreci durdurulmuştur. 2018 yılında yapılan duyuruyla Revit uzantılarını Revit 2019 sonraki sürümlerde sunmayacağını belirtmiştir [Web 38, 2025]. Bu durum, Revit 2019 ve sonraki sürümlerde Timber Framing eklentisinin desteklenmemesine neden olmuştur [Web 39, 2025]. Bu kararın sonucu olarak ise tasarımcılar, ahşap yapı tasarım sürecinde gelişmiş ve yapısal modelleme ihtiyaçları için farklı eklentilere yönlendirilmiştir.

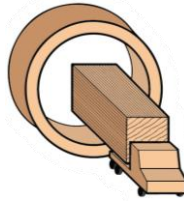


Şekil 3.35: Revit'te ahşap duvar çerçeveleme [Web 40, 2025].

Ahşap yapıların BIM ortamında modellenmesinde bunun için uzmanlaşmış üçüncü taraf eklentiler kullanılmaktadır. Tasarımcılar, modelleme otomasyonu, prefabrikasyon süreçleri ve CNC makine çıktıları gibi gelişmiş gereksinimlerini karşılamak üzere AGACAD Wood Framing Solutions, StrucSoft MWF Pro Wood ve hsbCAD gibi çözümlere yönelmektedir [Web 38, 2025]. Bu ticari eklentiler, Revit'in temel yapısal araçlarının sınırlı kaldığı detay seviyesini yakalamakta ve modern ahşap yapı tasarımının ve imalatının taleplerini karşılayacak yetkinliği sunmaktadır. Bu durum, ahşap yapı sektörünün BIM'in evrimini ve diğer araçlara olan bağımlılığını net bir şekilde göstermektedir.

Offsite Wood

Offsite Wood, ahşap yapı sistemlerinin başlangıç tasarım süreçlerinde kullanılmak üzere geliştirilmiş, beta düzeyinde ve ücretsiz bir Revit eklentisidir [Web 41, 2025] (Şekil 3.36). Eklenti, Revit kullanıcılarına ahşap elemanların metrajını analiz etme ve değerlendirme, maliyet analizi yapma, sürdürülebilirlik, enerji modellemesi süreçlerinin planlanmasında temel veri sağlamaktadır [Web 41, 2025].



Şekil 3.36: Offsite Wood Logo [Web 41, 2025].

Offsite Wood ile duvar açıklıkları otomatik olarak çerçevelenerek, duvar panelleri oluşturulabilmektedir [Web 42, 2025]. Ayrıca, Offsite Wood tarafından hafif ahşap ve panelize duvar yapılarının otomatik olarak modellenmesini sağlayan şablonlar, Dynamo betikleri ve Revit aileleri kullanılarak duvarların panellere bölünmesini, her bir eleman için özel işaretlerin atanmasını ve panel açıklıkları ile çerçevelerinin özelleştirilmesini sağlamaktadır [Web 42, 2025].

3.6. Türkiye’de Dijital Tasarım Araçları ve Mevzuat

Türkiye’de diğer yapı türlerinde olduğu gibi bazı ahşap yapı standartları ve yönetmelikler bulunmaktadır. Bunlar uluslararası ve ulusal kurallar tarafından şekillendirilmiştir. Yürürlükte olan ahşap yapı standartları ve yönetmeliklerde genel olarak yapısal güvenlik, malzeme performansı, dayanım sınıfları ve uygulama yöntemleri konularından bahsedilmektedir.

Yerel standart olarak TS ve Avrupa normlarının Türkiye’ye uyarlanmış hali olarak TS EN standartlar incelenirken görülmektedir. Özellikle TS EN 1995-1-1 (Eurocode 5), TS EN 14080, TS EN 16351, TS EN 13986 ve TS EN 1912 gibi standartlar, ahşap yapıların mekanik ve fiziksel özelliklerini, üretim koşullarını ve test yöntemleri açıklayarak Avrupa normlarına uyumlu bir teknik çerçeveyi oluşturmaktadır.

Türkiye’de ahşap ve diğer yapı güvenlikleri için çeşitli yönetmelikler de bulunmaktadır. Bu yönetmelikler Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY), Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY), Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik (ÇYTHYE), Yapı Malzemeleri Yönetmeliği ve güncel Ahşap Binaların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik olarak öne çıkmaktadır. Teknik çerçevenin oluşturulmasıyla yapıların güvenliği, yangına karşı dayanımı, yapıların kullanımı, yapılarda kullanılan malzemelerin seçimi ve özellikleri konularında mevzuata uygun bir süreç sağlanabilmektedir. Fakat bu teknik çerçeve bilgilerin içerisinde CAD ve BIM araçları ile dijital tasarım süreci, parametrik tasarım gibi konularda net bir bilgi bulunmamaktadır. Bu durum, Türkiye’deki ahşap yapı sektörünün dijital tasarım ve üretim teknolojilerini benimsemesi konusunda eksiklik olduğunu göstermektedir.

Türkiye’de standart ve yönetmelikler, yapısal analiz araçları dışında dijital tasarım araçlarını görünür kılmamaktadır geleneksel tasarım ve üretim yöntemlerine göre hazırlanmaktadır. Uluslararası alanda CAD, BIM, CNC tabanlı üretim, parametrik tasarım ve simülasyon gibi süreçlerin yapı elemanlarının ve bileşenlerinin üretim zincirine entegre edildiği farklı örnekler bulunmaktadır [Willmann vd., 2016] [Żmijewski ve Wojtowicz-Jankowska, 2017] [Svilans vd., 2019].

Bazı standartlarda yer alan “fabrika üretim kontrolü”, “makine ile sınıflandırma”, “imalat toleransları” veya “kalite güvence sistemleri” gibi kavramlar dijital izleme ve otomasyon süreçlerini dolaylı olarak ima etse de Türkiye’de yürürlükte olan Ahşap Binaların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik bu sistemlerin tasarım, üretim veya doğrulama süreçleriyle ilişkisi düzenleme düzeyinde açıkça tanımlanmamıştır. Yürürlükteki teknik mevzuat, yapı tasarım ve üretim süreçlerinde dijitalleşme entegrasyonu öne çıkarmak yerine yapısal güvenlik, uygulama süreci, analitik ve teorik tanımlayıcı konuları öne çıkaran bir göreve sahiptir.

Diğer mimari alanlarda olduğu gibi ahşap yapı sektöründe de dijitalleşmenin önemi oldukça fazladır. Fakat Türkiye’de geleneksel yapım teknikleri ile inşaat süreçleri sürdürülmektedir [Tel, 2021]. Mevzuatta gözlenen eksiklikler Türkiye’de ahşap yapı sektörünün dijitalleşme konusundaki dönüşüm eksikliğini ve dijital tasarım-üretim zincirinin tamamlanmamış olduğunu ortaya koymaktadır. Dijital teknolojilerin standart ve yönetmeliklere henüz tam olarak entegre edilmemiş olması ahşap yapı üretim hızının ve kalitesinin yetersiz olmasını neden olmaktadır.

Türkiye’de BIM uygulamalarının yaygınlaşabilmesi ve uygulanabilir bir seviyeye gelebilmesi için gelişmiş ülkelerdeki stratejilerin yönlendirici olması ve ciddi oranda yatırım gerekmektedir [Tel, 2021]. Özellikle ahşap yapı projelerinde BIM araçlarının standartlar ve yönetmeliklerde yer alması bir projenin ön tasarım, üretim süreci, üretim sonrası takibine kadarki süreçlerinin doğru ve hızlı şekilde yönetilmesini teşvik edecektir.

Türkiye’deki ahşap yapıların tasarım süreçlerini yönlendirecek olan uluslararası ve ulusal standartlar ve yönetmelikler kapsamlı teknik bir çerçeve sunmaktadır. Fakat, dijitalleşme aşamasında ahşap yapı proje süreçleri, genellikle yapısal hesaplar ve

araçlar konularında detaylandırılmış ve dijital tasarım, üretim konularında esaslara dayalı detaylı bir bilgilendirme yapılmamıştır.

Ahşap yapı sektöründe dijital tasarım ve üretim teknolojilerinin benimsenebilmesi için, mevzuatın sadece performans kriterlerine odaklanması yeterli gelmemektedir. Bunun yanında mevzuatın teknoloji uyumlu ve süreç odaklı bir yapı haline gelmesi gerekmektedir. Bu değişim üretim verimliliğini arttırmanın yanında modern sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu yeni bir tasarım kültürünün gelişmesine katkıda bulunacaktır. Mevzuatın dijital tasarım süreçleri üzerindeki sınırlılıklarının, ahşap sektörünün tasarım ve dijital araç kullanımındaki benimsenme durumunun daha net bir şekilde ortaya konulması için iki adet anket çalışması yürütülmüştür.



4. ULUSAL VE ULUSLARARASI ANKET ÇALIŞMALARI VE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZ

Tarihsel süreçte Türkiye’de ve dünyada ahşap önemli bir yapı malzemesi olarak belli geometriler ile geleneksel yapım teknikleri kullanılmıştır. Modern mimarinin gelişmesi ile birlikte ahşap yapılarda esnek boyut ve form tasarımlarının yapılabilirliği gündeme gelmiştir. Başta endüstrinin de gelişimiyle glulam, CLT, LVL olmak üzere doğal ahşabın performansının dışına çıkabilen farklı yapısal ahşap elemanlar kullanılmaya başlanmıştır. Bu modern malzemeler ile esnek boyut ve form tasarımların yapılabilirdiği, tasarımdan üretim süreci ve sonrası için işletme sürecinin takip edilebildiği ve bu süreçlerin hata oranı az ve hızlı şekilde gerçekleştirilebildiği CAD ve BIM tabanlı dijital araçların modern mimariye girmesi ile yeni bir ahşap çağı başlamıştır.

Tasarım ve üretim süreçlerinde işlem hassasiyeti, hızlı montaj, sistematik geri bildirim, rasyonalizasyon, yapısal izleme, standardizasyon gibi süreçlerin doğru ilerleyebilmesi için dijitalleşme önemli bir role sahiptir [Avcı ve Öztaş, 2025]. Bu bağlamda, Türkiye’de ahşap yapı sektöründe dijitalleşme belirtilen bu süreçlerde yeterli bir noktaya gelmediği için tez çalışmasında, ahşap yapılarda tasarım ve üretim süreçlerinde kullanılan CAD ve BIM tabanlı dijital araçların kullanım düzeyi ve bu araçlara bakış açısı ortaya konulmuştur. Türkiye’deki mevcut durum uluslararası eğilimler ile birlikte değerlendirilmiştir. Ulusal ve uluslararası ölçekteki anketler aracılığı ile dijital tasarım ve üretim araçlarının kullanım seviyesi ve bu araçlarla karşılaşılan teknik ve operasyonel sorunlardaki mevcut durum ortaya konulmuştur. Böylece ahşap sektöründeki dijital gelişim değerlendirilmiş ve karşılaştırmalı şekilde analiz edilmiştir.

Ahşap yapı tasarım ve üretim süreçlerinde dijital araçların kullanımı konusunu değerlendiren ulusal ve uluslararası anketlerin uygulanması, çalışmanın ampirik kısmını oluşturmaktadır. Sektördeki bu dijitalleşme konusunun sınırlılıkları, mevzuat ilişkisi, teknik kapasite konularında sektördeki gerçek deneyimleri, nicel veriler ile desteklenmiştir. Anketlerde yer alan çok yönlü sorular, ahşap sektöründe dijitalleşmenin önemli göstergelerini işaret etmektedir. Uluslararası ve ulusal ölçekte yanıtların ele alınması; katılımcı şirket sayısı ve kitlesi farklı olsa bile Türkiye’deki

ahşap sektöründe dijital tercihlerin diğer ülkelerdeki uygulamalar ve tercihler ile hangi noktalarda örtüşüp ayrıştığını incelemeyi sağlamaktadır.

Öncelikle şirket türü, meslek, hangi ülke ve şehirler için çalışıldığı gibi sosyodemografik sorular ile katılımcı profili ortaya koyulmuştur. Sorular, dijitalleşme konusunda ele alınan CAD ve BIM araçlarının kullanım durumu, hangi yapısal modelleme bileşenlerini sağladığı, iş akışındaki yerinin ve karşılaşılan sınırlılıkların neler olduğunu ölçmektedir. Tercih edilen dijital araçların hangi üretim kültürü ile ilişkisi olduğu, BIM tabanlı araçların ahşap sektöründe ne ölçüde benimsendiği ve yazılım çeşitliliğinin sektörel uzmanlık düzeyini nasıl etkilediği belirlenebilmektedir. Kesim listeleri, atölye çizimleri, CNC kodları ve IFC uyumluluğu gibi çıktı özelliklerinin değerlendirildiği sorular, CAD ve BIM tabanlı araçların üretim ile ilişkisini ortaya çıkarmaktadır. Karmaşık form modelleyememe sorunu, dijital araç içi eksiklikler, dosya uyumsuzlukları, çakışma kontrol eksikliği, ekip içi koordinasyon problemleri gibi sorunların değerlendirildiği sorular ise dijitalleşme sürecinde hangi noktalarda sorunlar yaşanıp tıkandığını ve sektörün hangi teknik kısıtlılıklar ile karşılaştığını tespit etmektedir. Dijital tasarım araçları ve teknolojileri ile ilgili veriler tanımlanarak sektördeki mevcut durum için geliştirme alanlarının belirlenmiş ve müdahale edilebilecek noktalar netleştirilmiştir.

4.1. Veri Toplama ve Anketlerin Uygulama Süreci

Çalışma kapsamında iki adet anket hazırlanmıştır. Anketlerde verilerin güvenilirliğini sağlayabilmek amacıyla zorunlu cevaplanması gereken sorular, çoktan seçmeli sorular ve likert ölçekli değerlendirmeler uygulanmıştır. Anketlerden biri uluslararası ölçekte faaliyet gösteren şirket temsilcilerine, diğeri ise Türkiye’de ahşap sektöründe bulunan şirketler veya uzmanlara uygulanmıştır.

Uluslararası ankette bir adet açık uçlu soru, 11 adet çoktan seçmeli soru, 10 adet likert ölçekli soru yöneltilmiştir. Türkiye’de uygulanan ankette ise bir adet açık uçlu soru, 14 adet çoktan seçmeli soru, 10 adet likert ölçekli soru yöneltilmiştir. Uluslararası anket uygulanmasında elde edilen bulgular, ahşap sektörünün dijitalleşme sürecini ve dijital araçların kullanım durumunu ortaya koymuştur. Uluslararası ankette elde edilen veriler doğrultusunda Türkiye’de yapılacak olan anket için şirketlerden daha detaylı veri toplayabilmek için anket formu geliştirilerek yeni sorular eklenmiştir.

Uluslararası ve Türkiye’de yapılan anketler iki bölümden oluşmaktadır. İlk olarak uygulanan uluslararası ankette, ilk bölümde katılımcı şirketlerin yapıları, şirketlerin projelendirdiği ahşap yapı adetleri ve kullandıkları ahşap taşıyıcı sistemler, faaliyet gösterdikleri ülkeler; diğer bölümde ise kullandıkları CAD/BIM tabanlı dijital araçlar, dijital araçların kullanım amaçları, çıktı entegrasyonu, karşılaşılan teknik problemler ve bu problemlere bulunan çözümler, mevzuat etkisi, geleceğe dönük beklentiler sorgulanmıştır **[Ek A]**. Ulusal ankette ise bu konulara ek olarak ilk bölümde katılımcının kurumdaki mesleki pozisyonu, ülke bazlı olmadan faaliyet gösterdikleri şehirler, üretilen projelerin ölçekleri ve ikinci bölüm için daha detaylı olarak kullanılan CAD/BIM araçları değerlendirilmiştir **[Ek B]**. Her iki ankette ortalama 4 ile 8 dakika arasında tamamlanmaktadır.

Uluslararası anket soruları için GTÜ İnsan Araştırmaları Etik Kurulu’nun 05.06.2025 tarih ve E-43633178-199-201857 sayılı kararınca etik uygunluk belgesi alınmıştır **[Ek C]**. Türkiye için anket sorularına GTÜ İnsan Araştırmaları Etik Kurulu’nun 19.11.2025 tarih ve E-43633178-199-226095 sayılı kararınca etik uygunluk belgesi alınmıştır **[Ek D]**.

Anketler, çevrimiçi ortamda uygulanmış ve uluslararası anket 2025 yılı Haziran-Kasım ayları aralığında; ulusal anket çalışmaları ise 2025 yılı Kasım-Aralık ayları aralığında yürütülmüştür. Uluslararası ölçekte farklı ülkelerde bulunan ve farklı ülkelerde uygulamalar yapan ulaşılabilen 55 ahşap şirketine anket gönderilmiş, ancak yedi adet geri dönüş yapılmıştır. Türkiye’de uygulanan ankette ise 40 adet anket gönderilmiş ve 20 yanıt alınmıştır. Uluslararası katılımın sınırlı olmasında ahşap yapı teknolojilerinin dünya genelinde uzmanlaşmış ve sınırlı bir sektör olmasından kaynaklanmaktadır. Bunun yanında şirketlerin süreçler ve teknik bilgileri paylaşmada temkinli davranması katılımını kısıtlamıştır. Türkiye’de ise çalışmanın ahşap yapı sektörüne katkı sağlayacak olması ve bu alanda dijital tasarım-üretim süreçleriyle ilgilenen kişilere ulaşmak daha kolay olduğu için katılım daha fazla olmuştur. Anketler, katılımcı şirket ve uzmanlara e-posta, LinkedIn gibi mesleki ağlar ve dijital platformlar aracılığıyla iletilmiştir. Her iki ankette de katılım gönüllülük esasına dayalı olarak gerçekleştirilmiştir.

Anket, ulusal ve uluslararası ölçekte mimari tasarım, uygulama, inşaat ofisleri, modüler-prefabrik şirketi, iç mekân ve mobilya üreticisi şirketi, ahşap üreticilerinden

oluşan bir örnekleme ulaşmayı hedeflemiştir. Sonuçlar, dijital araç kullanımı ve üretim uygulama aşamalarındaki farklılıkların yansıtılabilmesi için çeşitliliğe sahiptir.

Yapılan anketlerden elde edilen verilerin analizi SPSS V27 programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizlerde katılımcı profillerini tanımlamak için sosyodemografik sorulara ait dağılımları oluşturulmuştur. Örneklemin genel görünümü ifade edilmeye çalışılmıştır. Daha sonra anketlerde yer alan kategorik değişkenlerin ilişkilerini incelemek için Türkiye örneklemine Ki Kare analizi uygulanmıştır. Bu analiz ile ilişkilerin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı değerlendirilmiştir. Analizlerde istatistiksel anlamlılık düzeyi $\alpha = 0,05$ olarak yürütülmüştür.

4.2. Uluslararası Anket Bulguları

Uluslararası düzeyde yapılan anket, ahşap yapı tasarım ve üretimi süreçlerinde dijital araçların kullanımına ilişkindir. Ankette uluslararası ahşap yapı tasarım ve üretimde dijital araç kullanımının mevcut durumu değerlendirilmektedir. Dijital tasarım araçlarının kullanım düzeyi, tercih sebepleri, karşılaşılan teknik zorluklar ve bu zorluklara bulunan çözümler, dijital araçların mevzuat ilişkisi gibi konular anketin içeriğini oluşturmaktadır.

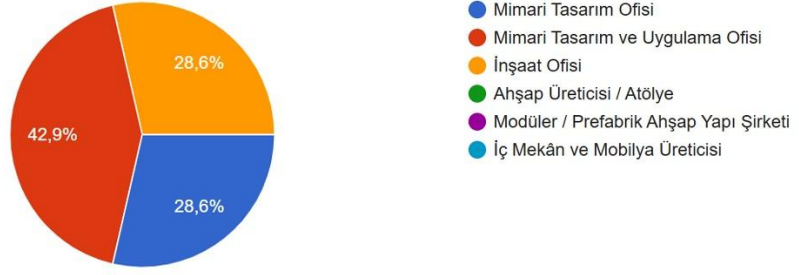
Anket bulguları, uluslararası katılımcıların genel eğilimlerinin görülmesini sağlamaktadır. Elde edilen bulgular, farklı ülkelerde ahşap sektöründe dijitalleşmenin yoğunlaştığı alanların neler olduğu ve dijital dönüşüm sürecinin nasıl ilerlediği konusunda bir çerçeve sunmaktadır.

4.2.1. Uluslararası Katılımcı Şirket Profili

Uluslararası anket sonucunda elde edilen bilgiler, sosyodemografik olarak çalışmanın örneklem yapısını tanımlamak için belirtilmiştir. Uluslararası anketlere katılımda mimari tasarım ve uygulama ofisleri %42,9 ile katılım göstererek öne çıkmakta, ardından mimari tasarım ve inşaat ofisleri gelmektedir (**Şekil 4.1**).

1) Şirketinizin türü nedir?

7 yanıt

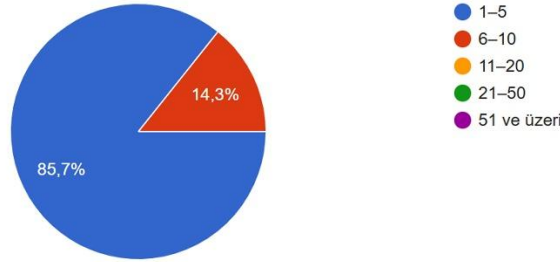


Şekil 4.1: Katılımcı şirket türü.

Katılan şirketlerin faaliyet gösterdikleri ülkeler ABD, İsviçre, Slovenya ve İtalya olarak öne çıkmaktadır. Almanya, Birleşik Arap Emirlikleri, Kanada ve Şili ise diğer faaliyet gösterdikleri ülkelerdir ve ofisler yılda ortalama 1-5 arası (%85,7) ahşap yapı projesi tamamlamaktadır (**Şekil 4.2**).

2) Şirketinizin yılda tamamladığı ortalama ahşap yapı projesi sayısı nedir?

7 yanıt



Şekil 4.2: Şirketin yılda ortalama tamamladığı ahşap yapı projesi sayısı.

Katılımcıların ahşap yapılarda en sık kullandıkları taşıyıcı sistemlere ilişkin dağılıma göre, %28,6'sı geleneksel ahşap karkas sistemi ve yine toplam %28,6'sı DLT sistemi tercih etmiştir. CLT, beton-ahşap hibrit sistemler ile yapı bileşenine bağlı olarak değişen sistem tercihleri ise her biri %14,3 oranında temsil edilmektedir (**Şekil 4.3**). Bu dağılım, katılımcıların ahşap yapı projelerinde tercih ettikleri taşıyıcı sistemlerin çeşitliliğini ortaya koymaktadır.

3) Ahşap yapı sistemlerinde en sık kullandığınız taşıyıcı sistem hangisidir?

7 yanıt



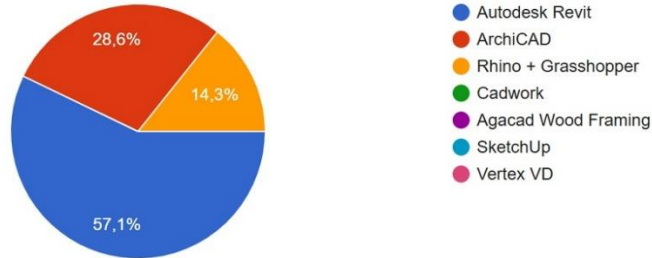
Şekil 4.3: Ahşap yapı sistemlerinde en çok kullanılan sistem.

4.2.2. Uluslararası Katılımcı Şirketlerin Dijital Araç Kullanımları

Ahşap yapı projelerinde katılımcılar %57,1 ile Autodesk Revit dijital aracını kullandıklarını ifade etmiştir. Bu oranı Archicad %28,6 ve Rhino+Grasshopper %14,3 oranı ile takip etmektedir (Şekil 4.4). Bu durum, uluslararası örneklemede CAD tabanlı tasarım araçlarına ek olarak BIM tabanlı araçların da ahşap yapı projelerinde tercih edildiğini ortaya koymaktadır ve dijital tasarım araçlarının tasarım sürecindeki güçlü yönlerine ilişkin katılımcıların değerlendirmelerinde %42,9 ile BIM uyumluluğunun öne çıkmasını desteklemektedir (Şekil 4.5).

5) Ahşap yapı projelerinde hangi CAD/BIM yazılımlarını aktif olarak kullanıyorsunuz?

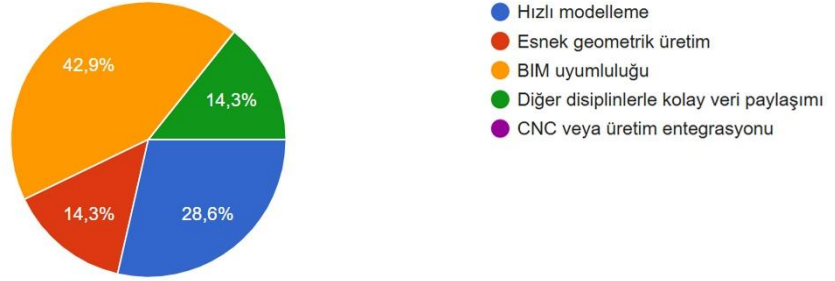
7 yanıt



Şekil 4.4: Ahşap yapı projelerinde aktif kullanılan dijital araç tercihleri.

6) Tasarım sürecinizde kullandığınız dijital araçların en güçlü yönleri nelerdir?

7 yanıt

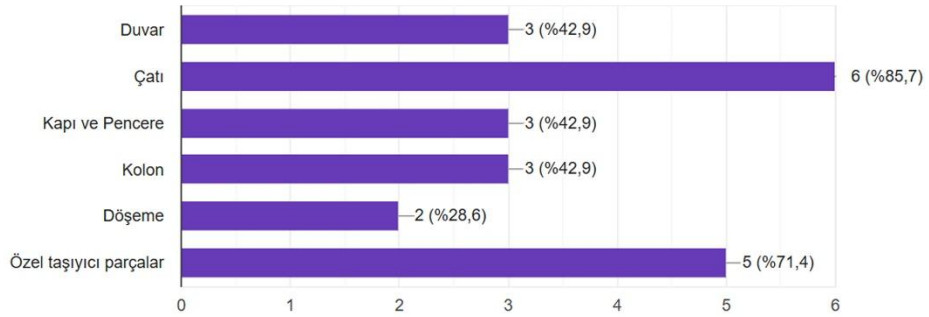


Şekil 4.5: Tasarım sürecinde kullanılan dijital araçların en güçlü yönü.

Tercih edilen dijital araçlarda duvar, çatı, kolon, döşeme, kapı-pencere ve özel yapısal elemanlar gibi farklı bileşenlerin modellerini desteklediği görülmektedir. Birden fazla bileşenin seçilmiş olması projelerde tekil yapı elemanlarının değil kapsayıcı bileşenlerin üretilmesi süreçlerinde kullanıldığını göstermektedir (Şekil 4.6).

7) Kullandığınız yazılım hangi modelleme bileşenlerini destekliyor? (Birden fazla seçebilirsiniz.)

7 yanıt

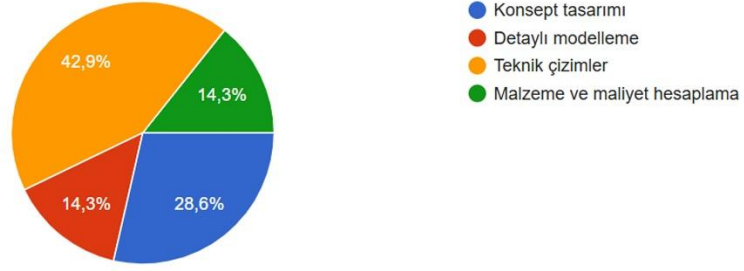


Şekil 4.6: Kullanılan dijital araçların destekledikleri bileşenler.

Yanıtlar birlikte değerlendirildiğinde yanıtların %42,9'unun araçları en çok teknik çizim üretimi amacıyla kullandığını belirtirken Archicad ve Autodesk Revit BIM tabanlı araçları tercih eden yazılımcılar tarafından kullanıldığı görülmektedir (Şekil 4.7).

8) Bu araçları en çok hangi tasarım amaçları için kullanıyorsunuz?

7 yanıt

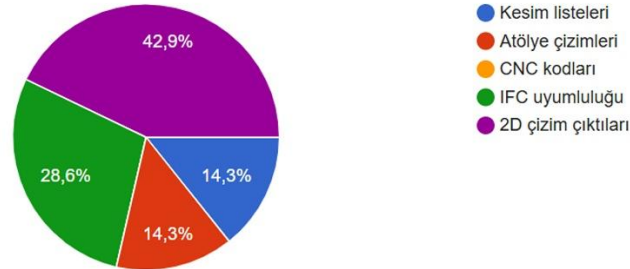


Şekil 4.7: Dijital araçların en çok kullanıldığı tasarım amaçları.

Katılımcı şirketlerin kullandıkları dijital tasarım araçlarından faydalandıkları çıktı özellikleri değerlendirildiğinde %42,9 oranında 2B çizim çıktılarından yararlandığını, %28,6 oranında ise IFC uyumluluğu konusunda faydalandığını ortaya koymaktadır (**Şekil 4.8**). Bu sonuçlar, dijital araçların teknik çizim ve veri paylaşımı konularına yönelik çıktıları desteklediğini göstermektedir. Kesim listeleri ve atölye çizimleri ise diğer yararlanılan özellikler olarak görülmektedir.

9) Hangi çıktı özelliklerinden faydalaniyorsunuz?

7 yanıt

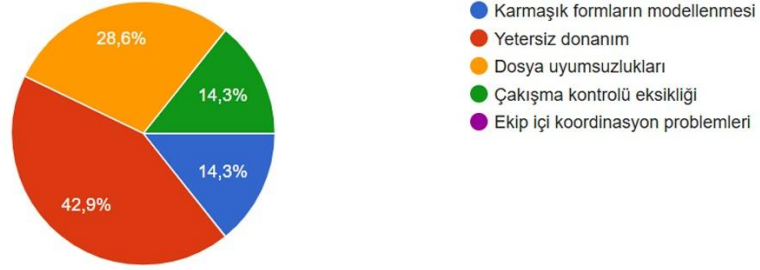


Şekil 4.8: Faydalanılan çıktı özellikleri.

Katılımcıların ahşap yapı projelerinde kullandıkları dijital araçlarda karşılaştıkları en büyük zorluğun %42,9 oranında yetersiz donanımın olduğu ve %28,6 ile dosya uyumsuzlukları olduğu belirtilmiştir (**Şekil 4.9**).

10) Ahşap yapı projelerinde dijital araçları kullanırken karşılaştığınız en büyük zorluk nedir?

7 yanıt

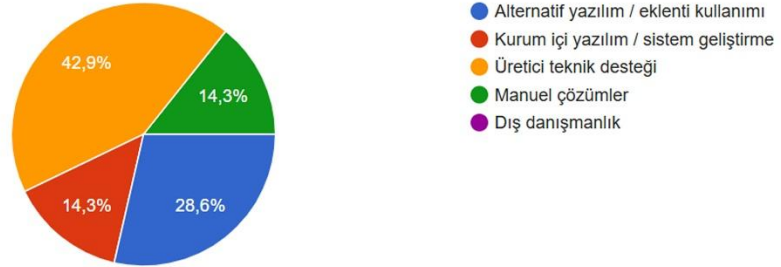


Şekil 4.9: Ahşap yapı projelerinde dijital araçlar kullanırken karşılaşılan en büyük zorluk.

Karşılaşılan bu sorunların en yaygın çözümlerinde %42,9 ile üretici şirketlerden sağlanan teknik destek ve %28,6 ile alternatif yazılım veya eklenti kullanımı öne çıkmaktadır. Sorunların çözümlerinde katılımcıların büyük oranda dış kaynaklara yöneldiği görülmektedir (Şekil 4.10).

11) Bu problemleri genellikle nasıl çözüyorsunuz?

7 yanıt



Şekil 4.10: Karşılaşılan problemlere getirilen çözümler.

Tasarımı sınırlayan başlıca teknik kısıtlar konusunda ise malzeme simülasyonlarının yetersizliği ve yavaş geri bildirim süreçleri belirtilmiştir (Şekil 4.11).

12) Tasarımı sınırlayan başlıca teknik kısıtlama nedir?

7 yanıt



Şekil 4.11: Tasarımı sınırlayan başlıca teknik kısıtlamalar.

4.3. Ulusal Anket Bulguları

Ulusal anket çalışmasında, ahşap yapı tasarım ve üretimi süreçlerinde dijital araçların kullanımına ilişkin sektörün bu araçları kullanımları ve süreçlerdeki uygulamaları incelenmiştir. Ankette Türkiye’de ahşap yapı tasarım ve üretimde dijital araç kullanımının mevcut durumu değerlendirilmektedir. Sektörde rol alan mimarlar mühendisler ve diğer uzmanların görüşleri doğrultusunda bulgular edinilmiştir. Bu durum uluslararası anket çalışması sonucunda ortaya çıkan genel eğilimlerin dışında, Türkiye’deki ahşap sektörünün dinamiklerinin dijitalleşme sürecindeki yeri ve kendine özgü durumlarının neler olduğu da ortaya konmuştur.

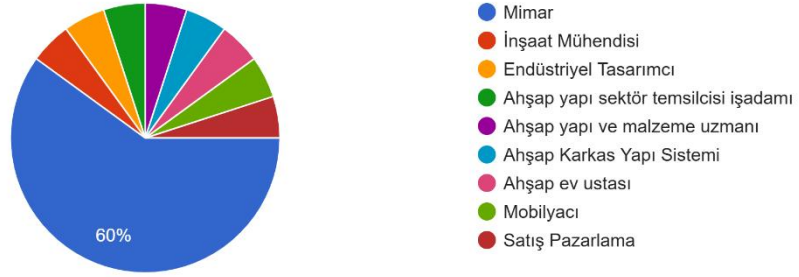
Dijital tasarım araçlarının kullanım düzeyi, tercih sebepleri, karşılaşılan teknik zorluklar ve bu zorluklara bulunan çözümler, dijital araçların mevzuat ilişkisi gibi konularda yine bu anketin içeriğini oluşturmaktadır. Elde edilen bulgular, Türkiye’de dijital tasarım ve üretime geçişin nasıl ilerlediğini ve bu süreçte karşılaşılan sorunları detaylı olarak ele almaktadır.

4.3.1. Ulusal Katılımcı Şirket Profili

Katılımcılar şirketlerdeki mesleklerine göre değerlendirildiğinde %60 ile mimarlar çoğunluğu oluşturmaktadır (Şekil 4.12). Bu durum da anket katılımcılarının tasarım ve uygulama odaklı bir profil oluşturduğu söylenebilmektedir.

1) Mesleğiniz nedir?

20 yanıt

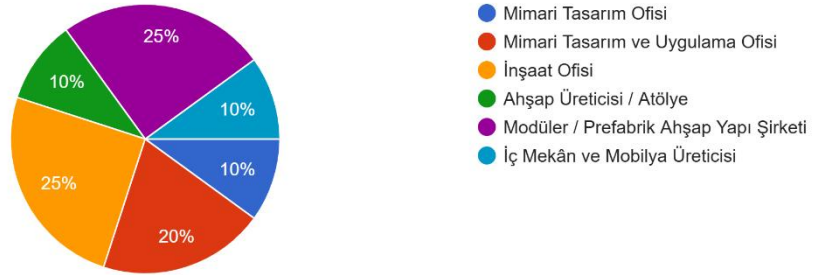


Şekil 4.12: Katılımcı mesleği.

Katılımcıların şirket türleri inşaat ofisi (%25) ve modüler-prefabrik ahşap yapı şirketi olarak (%25) öne çıkmaktadır. Ardından mimari tasarım ve uygulama ofisleri (%20), mimari tasarım ofisleri (%10), ahşap üretici/atölyeler (%10) ile iç mekân ve mobilya üreticileri (%10) gelmekte ve bu durum örneklemin tasarım ve üretimde faaliyet gösteren şirket türlerini birlikte temsil ettiğini ortaya koymaktadır (Şekil 4.13).

2) Şirketinizin türü nedir?

20 yanıt



Şekil 4.13: Katılımcı şirket türü.

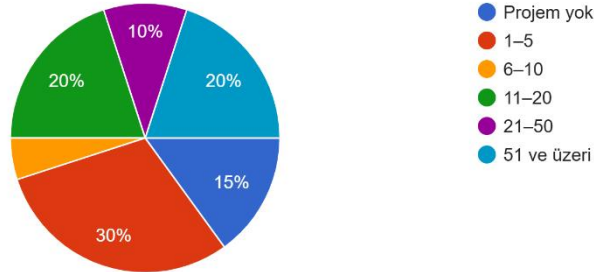
Ahşap şirketlerinin ağırlıklı olarak İstanbul, Kocaeli, Sakarya ve yurtdışında faaliyet gösterdiği görülmektedir. Bunların dışında Türkiye'nin farklı şehirlerinde ahşap yapı faaliyetleri sürdürülmektedir.

Frekans dağılımına göre şirketlerin en yüksek oranda %30 ile yılda 1-5 aralığında ahşap projesi tamamladığı belirtilmiştir. Bunu %20 oranla 11-20 proje ve yine %20 oranla 51 ve üzeri proje tamamlayan şirketler takip etmektedir. Projem yok seçeneğini işaretleyen katılımcılar %25 ve yılda 21-50 proje gerçekleştiren şirketler %10 ve 6-10

adet proje aralığında ise %10 oranında şirket katılımcısı en düşük paya sahiptir (**Şekil 4.14**).

3) Şirketinizin yılda tamamladığı ortalama ahşap yapı projesi sayısı nedir?

20 yanıt



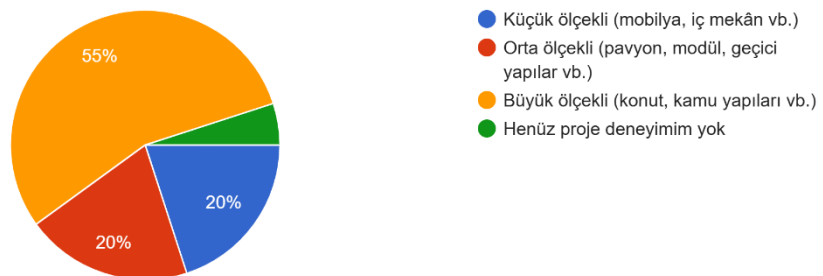
Şekil 4.14: Şirketin yılda ortalama tamamladığı ahşap yapı projesi sayısı.

21-50 ile 51 ve üzeri yıllık ortalama proje tamamlayan şirketler ahşapla ilgili hangi ölçekte projelerde çalışıldığı sorularına tümü büyük ölçekli (konut, kamu yapıları vb.) projelerde çalışıldığı belirtmiştir. Yüksek proje hacmi doğrudan büyük ölçekli yapı üretimiyle ilişkilendirilebilir. Ahşap yapılarda en çok kullanılan taşıyıcı sistem olarak geleneksel ahşap çerçeve ve CLT diğer sistemlere göre öne çıkmaktadır.

Ahşap ile ilgili çalışılan ölçek sorulduğunda katılımcılar %55 oranında büyük ölçekli projelerde (konut, kamu yapıları vb.) çalıştığını belirtmiştir. Bu oranı %20 oranları ile orta ölçekli (pavyon, modül, geçici yapılar vb.) ve küçük ölçekli (mobilya, iç mekân vb.) projeler takip etmektedir (**Şekil 4.15**).

6) Ahşapla ilgili hangi ölçekte projelerde görev aldınız?

20 yanıt



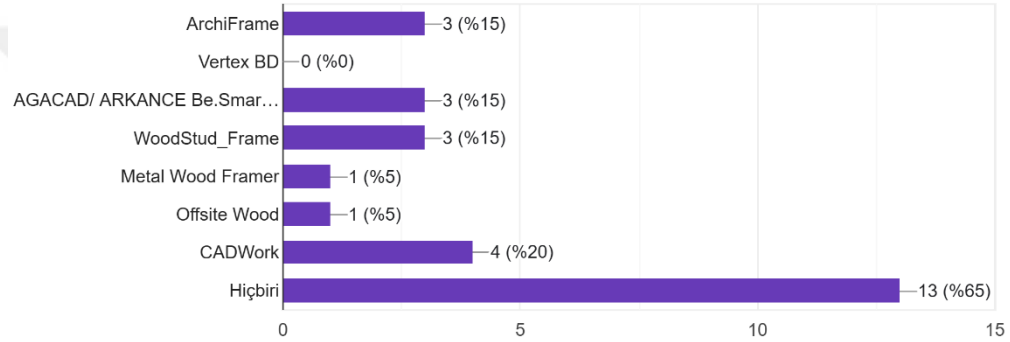
Şekil 4.15: Ahşap projelerde çalışılan ölçekler.

4.3.2. Ulusal Katılımcı Şirketlerin Dijital Araç Kullanımları

Tasarım ve üretim sürecinde ulusal katılımcıların %65 gibi bir çoğunluğunun BIM araçlarını ahşap alanında kullanmadığını belirtmiştir. Cadwork başta olmak üzere AGACAD / ARKANCE Be.Smart Wood Framing, ArchiFrame ve WoodStud_Frame ise BIM kullanan katılımcılar arasında kısmi olarak öne çıkmaktadır (Şekil 4.16). Bu sonuçlar ahşap sektöründe BIM araçlarının yaygın ve standart kullanım düzeninin henüz tam olarak oluşmadığını göstermektedir.

7) Aşağıdaki ahşap yapı tasarımı ve üretimi için geliştirilmiş BIM araçlarından hangilerini kullanıyorsunuz? (Birden fazla seçebilirsiniz.)

20 yanıt

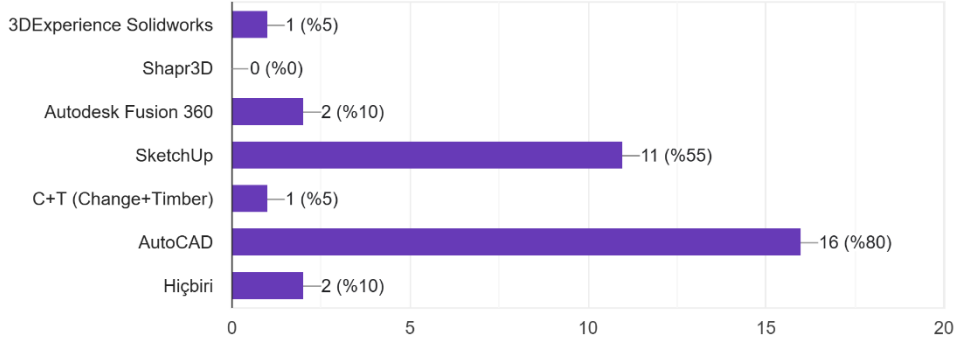


Şekil 4.16: Ahşap yapı ve üretiminde kullanılan BIM araçları.

Ahşap sektöründe CAD araçlarının kullanımı değerlendirildiğinde Autocad katılımcıların %80 tarafından kullanıldığı görülmektedir. Ardından Sketchup katılımcıların %55'i tarafından tercih edilmektedir. Autodesk Fusion 360, 3DExperience SolidWorks ve C+T (Change+Timber) ahşap alanında kullanılan diğer CAD araçları olarak görülmektedir (Şekil 4.17).

8) Aşağıdaki ahşap tasarımı veya üretimi süreçlerinde kullanılan CAD araçlarından hangilerini kullanıyorsunuz? (Birden fazla seçebilirsiniz.)

20 yanıt

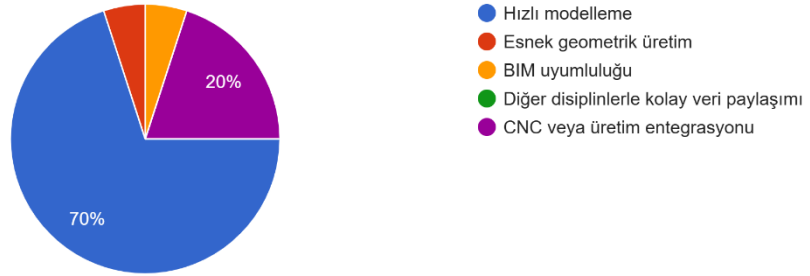


Şekil 4.17: Ahşap yapı ve üretiminde kullanılan CAD araçları.

Tasarım sürecinde kullanılan bu dijital araçların kullanımında en öne çıkan özellik hızlı modelleme olmuştur ve bu özelliği CNC, üretim entegrasyonu takip etmektedir (Şekil 4.18).

9) Tasarım sürecinizde kullandığınız dijital araçların en güçlü yönleri nelerdir?

20 yanıt

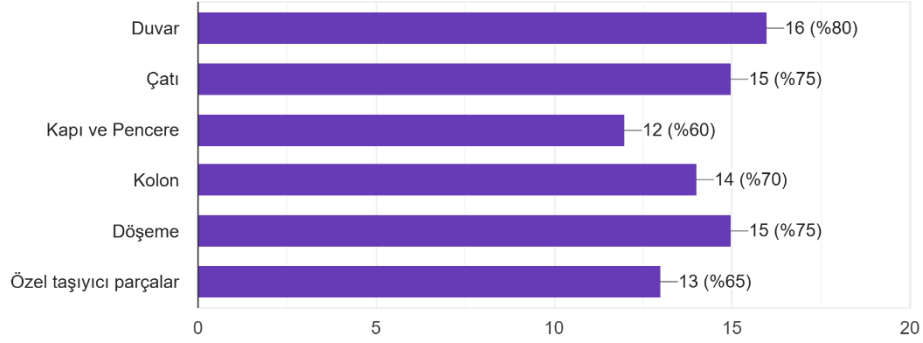


Şekil 4.18: Tasarım sürecinde kullanılan dijital araçların en güçlü yönü.

Tercih edilen dijital araçlarda duvar, çatı, kolon, döşeme, kapı-pencere ve özel yapısal elemanlar gibi farklı bileşenlerin modellerini desteklediği görülmektedir (Şekil 4.19).

10) Kullandığınız yazılım hangi modelleme bileşenlerini destekliyor? (Birden fazla seçebilirsiniz.)

20 yanıt

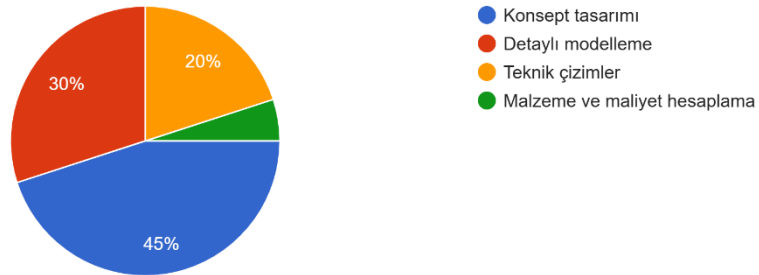


Şekil 4.19: Kullanılan dijital araçların destekledikleri bileşenler.

Yine bu dijital araçlarda %45 konsept tasarımı ve %30 ile detaylı modellemenin öne çıkması, kullanıcıların tasarım süreçlerinin hızlı ve net şekilde ortaya koymayı amaçladıklarını göstermektedir (Şekil 4.20).

11) Bu araçları en çok hangi tasarım amaçları için kullanıyorsunuz?

20 yanıt

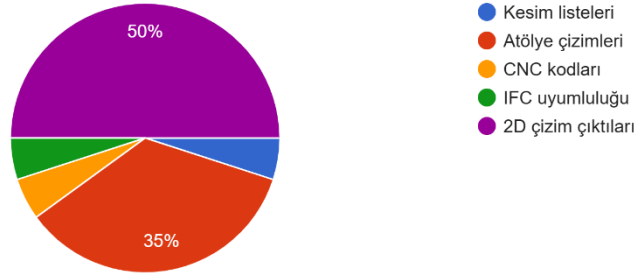


Şekil 4.20: Dijital araçların en çok kullanıldığı tasarım amaçları.

Dijital araçlardan en fazla %50 2B çizim çıktıları ve %35 atölye çizimleri ile üretim ve uygulama süreçleri desteklenmektedir. Gelişmiş entegrasyon özellikleri ve BIM araçlarını gerektiren IFC uyumluluğu, CNC kodları gibi daha ileri seviye çıktıların ise yaygın olarak kullanılmadığını göstermektedir (Şekil 4.21).

12) Hangi çıktı özelliklerinden faydalaniyorsunuz?

20 yanıt

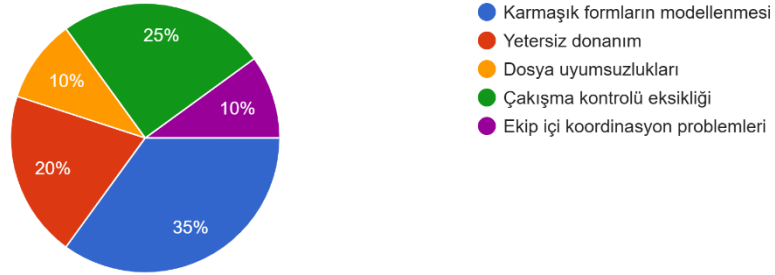


Şekil 4.21: Faydalanılan çıktı özellikleri.

Projelerin modellenmesi sürecinde ise %35 ile karmaşık formların modellenmesi ve %25 ile çakışma kontrol eksikliği sorunlarının yaşandığı belirtilmiştir (**Şekil 4.22**).

13) Ahşap yapı projelerinde dijital araçları kullanırken karşılaştığınız en büyük zorluk nedir?

20 yanıt

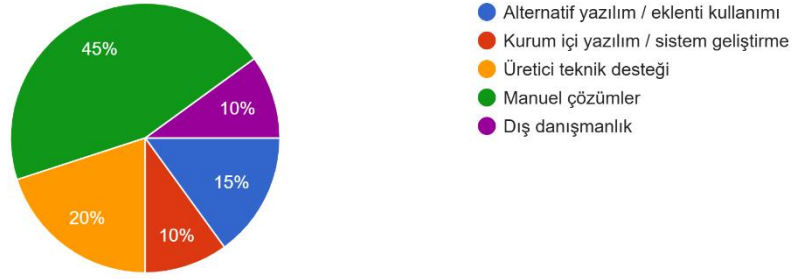


Şekil 4.22: Ahşap yapı projelerinde dijital araçlar kullanırken karşılaşılan en büyük zorluk.

Sorunlar, yanıtlar ile eşleştirildiğinde Autocad, Sketchup başta olmak üzere CAD araçlarını kullanan katılımcıların değerlendirmeleri olduğu görülmektedir. Dijital araçlarda karşılaşılan sorunların ise büyük oranda manuel çözümler ile kendi bilgi ve deneyimleriyle çözüldüğü görülmektedir (**Şekil 4.23**).

14) Bu problemleri genellikle nasıl çözüyorsunuz?

20 yanıt

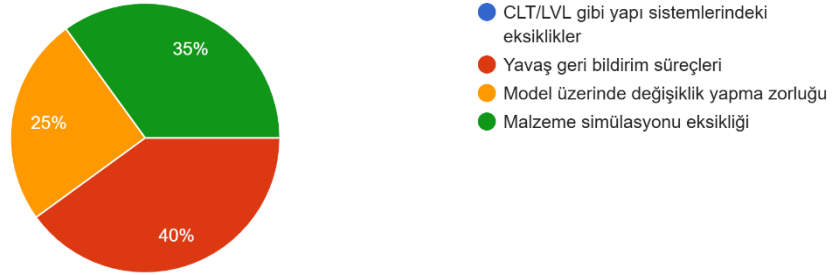


Şekil 4.23: Karşılaşılan problemlere getirilen çözümler.

Tasarımı sınırlayan başlıca teknik kısıtlar olarak katılımcılar %40 ile yavaş geri bildirim süreci, daha sonra %35 ile malzeme simülasyon eksikliği ve %25 ile model üzerinde değişiklik yapma zorluğu yer almaktadır (Şekil 4.24).

15) Tasarımı sınırlayan başlıca teknik kısıtlama nedir?

20 yanıt



Şekil 4.24: Tasarımı sınırlayan başlıca teknik kısıtlamalar.

4.4. Analiz Sonuçları

Ulusal ve uluslararası anket sonuçları değerlendirildiğinde ahşap sektörünün dijital araçlar ile ilgili kullanım durumlarında hem ortak eğilimlerin hem de yapısal farkların olduğu görülmektedir. Anketlerde katılımcıların ofisleri uluslararası ankette mimari tasarım ve uygulama ofisi olarak öne çıkarken, ulusal ankette inşaat ofisleri ve modüler-prefabrik ahşap yapı şirketleri öne çıkmaktadır. Uluslararası katılımcıların tasarım ve uygulama sürecinin entegre şekilde yürütüldüğünü göstermektedir. Türkiye’de ise ahşap yapı üretiminde uygulama ve üretim odaklı ilerleyerek tasarım ofislerinin daha sınırlı bir rol aldığı değerlendirilmektedir.

Yılda ortalama tamamlanan proje sayıları incelendiğinde her iki anket için de 1-5 aralığının en sık değerlendirilen yanıt olduğu görülmektedir ve bu durum proje bazlı, sınırlı çalışmaların öne çıktığını göstermektedir. Yapılan projelerde ise taşıyıcı sistem olan geleneksel ahşap çerçeve sistemler her iki anket için de öne çıkmıştır. Teknik, uygulama bilgileri yaygın bilinen ve uygulaması kolay bir sistem olarak tercih edildiğini gösterebilmektedir.

Tercih edilen dijital araçlar için uluslararası katılımcılar BIM ağırlıklı araçlara yönelirken, ulusal katılımcılar CAD araçlarını daha sık tercih ettiğini ifade etmiştir. Uluslararası katılımcılar kullandıkları dijital araçlar için güçlü yön olarak BIM uyumluluğunu tercih ederken, ulusal ölçekteki katılımcılar hızlı modelleme yüksek oranda öne çıkmıştır. Böyle bir farkın olması dijital araçlar arasında koordinasyon ve verilerin devamlı olmasını desteklemek için BIM'in öne çıktığını ifade etmektedir.

Bir diğer farklılık ise dijital araçların en çok kullanılan tasarım amaçlarının neler olduğu konusunda; uluslararası katılımcılar için teknik çizimlerin önde olduğu ve ulusal ölçekte ise konsept tasarımının öne çıktığı görülmektedir. Bu araçlardan 2B çizim çıktıları elde etmek ise iki anket için de öne çıkmış olması 2B iletişim şeklinin baskın olduğunu göstermektedir. Dijital araçlarda karşılaşılan zorluklar uluslararası katılımcılar için yetersiz donanım ağırlıktayken, bu sorunların çözümleri için üretici teknik desteği alınmakta; ulusal katılımcılar için en sık ifade edilen sorun karmaşık formların modellenmesi olmuştur. Türkiye'de ise manuel çözümler ile sorunlara müdahalenin yüksek oranda olduğu görülmektedir. Bu durum teknik destek yerine kullanıcıların kendi müdahaleleriyle sorunların aşılmasına çalışıldığını göstermektedir. Dijital araçlar için teknik kısıtlamalar olarak hem uluslararası hem de ulusal ölçekte malzeme simülasyon eksikliği öne çıkmaktadır. Bu durum ahşabın yapısal ve fiziksel özelliklerinin tasarım aşamasında yeterince modellenememesi, malzeme davranışını değerlendirmeyi zorlaştırmaktadır.

4.4.1. Ki-Kare Analizi Bulguları

Ki-kare analizi, sınıflandırılmış iki değişken arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olup olmadığını belirlemek için kullanılan ve varsayıma dayanmayan bir yöntemdir. Bu analizde Türkiye (TR) örneklem grubu değerlendirilmiştir. Örneklem

grubunun ahşap yapılarda dijital araç kullanımı, standartlara uyum, veri paylaşım süreçleri ve yazılım desteklerine ilişkin görüşlerinin şirket türüne göre farklılaşp farklılaşmadığını belirlemek amacıyla **Tablo 4.1**'de ki kare (χ^2) bağımsızlık analizi uygulanmıştır.

Analiz sonucunda elde edilen χ^2 değeri, gözlenen dağılım değeri ile beklenen dağılım arasındaki sapmanın büyüklüğünü ifade etmektedir. İlişkide p değeri üzerinden ilişkilerin anlamlılık olasılığı değerlendirilmiştir. Eğer p değeri 0,05'ten küçük ise istatistiksel olarak anlamlı ilişki var iken 0,05'ten büyük ise anlamlı ilişki olmadığı anlaşılmaktadır.

Türkiye'de şirket türüne göre ise **Tablo 4.1**'de likert ölçeği kullanılan sorular arasındaki ilişki ki kare analizi ile incelenmiştir.

Tablo 4.1: TR şirket türüne göre ölçek soruları arasındaki ilişkinin dağılımı.

		Şirketinizin türü nedir?							X ² (p)
		Ahşap Üreticisi / Atölye	İç Mekân ve Mobilya Üreticisi	İnşaat Ofisi	Mimari Tasarım Ofisi	Mimari Tasarım ve Uygulama Ofisi	Modüler / Prefabrik Ahşap Yapı Şirketi	Toplam	
Kullandığımız dijital araçlar uluslararası standartlarla (Eurocode 5, NDS, vb.) uyumludur.	1	n	2	1	1	0	0	5	15,383 (,424)
		%	100,0	50,0	50,0	0,0	0,0	25,0	
	2	n	0	0	0	0	1	1	
		%	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	5,0	
	3	n	0	0	1	1	2	6	
		%	0,0	0,0	20,0	50,0	40,0	30,0	
	5	n	0	1	3	0	2	8	
		%	0,0	50,0	60,0	0,0	50,0	40,0	
Bu standartlara uyum sağlamak için manuel müdahale gereklidir.	2	n	0	1	0	0	0	1	22,908 (,086)
		%	0,0	50,0	0,0	0,0	0,0	5,0	
	3	n	1	0	2	0	2	6	
		%	50,0	0,0	40,0	0,0	25,0	30,0	
	4	n	0	1	3	0	3	8	
		%	0,0	50,0	60,0	0,0	75,0	40,0	
	5	n	1	0	0	2	0	5	
		%	50,0	0,0	0,0	100,0	0,0	25,0	
IFC veri paylaşımı sırasında sık sık uyumsuzluk yaşanmaktadır.	1	n	1	1	0	0	2	5	32,467 (,039*)
		%	50,0	50,0	0,0	0,0	40,0	25,0	
	2	n	1	0	0	0	2	3	
		%	50,0	0,0	0,0	0,0	40,0	15,0	
	3	n	0	0	4	1	4	10	
		%	0,0	0,0	80,0	50,0	100,0	50,0	
	4	n	0	1	0	0	0	1	
		%	0,0	50,0	0,0	0,0	0,0	5,0	
	5	n	0	0	0	1	0	1	
		%	0,0	0,0	0,0	50,0	0,0	5,0	
Farklı ülkelere veri aktarımında biçim ve standart farkları sorun ortaya çıkarmaktadır.	1	n	1	1	0	0	0	3	19,200 (,509)
		%	50,0	50,0	20,0	0,0	0,0	15,0	
	2	n	0	1	2	0	0	4	
		%	0,0	50,0	40,0	0,0	0,0	20,0	
	3	n	1	0	2	1	3	10	
		%	50,0	0,0	40,0	50,0	75,0	50,0	
	4	n	0	0	0	0	1	1	
		%	0,0	0,0	0,0	0,0	25,0	5,0	
	5	n	0	0	0	1	0	2	
		%	0,0	0,0	0,0	50,0	0,0	10,0	

Tablo 4.1: Devamı.

		Ahşap Üreticisi / Atölye	İç Mekân ve Mobilya Üreticisi	İnşaat Ofisi	Mimari Tasarım Ofisi	Mimari Tasarım ve Uygulama Ofisi	Modüler / Prefabrik Ahşap Yapı Şirketi	Toplam	X² (p)
Ekip içinde dijital araçlara uyum süreci zorlayıcı olmuştur.	1	n	0	2	0	0	3	5	32,638 (,037*)
		%	0,0	40,0	0,0	0,0	60,0	25,0	
	2	n	1	0	0	0	0	3	
		%	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0	
	3	n	1	2	1	2	1	7	
		%	50,0	40,0	50,0	50,0	20,0	35,0	
	4	n	0	1	0	2	1	4	
		%	0,0	20,0	0,0	50,0	20,0	20,0	
	5	n	0	0	1	0	0	1	
		%	0,0	0,0	50,0	0,0	0,0	5,0	
Kullandığımız BIM/CAD yazılımlarıyla ahşap yapı elemanlarının 3B modellenmesi kolaydır.	2	n	0	1	2	0	0	3	24,583 (,056)
		%	0,0	20,0	100,0	0,0	0,0	15,0	
	3	n	2	2	0	1	2	7	
		%	100,0	40,0	0,0	25,0	40,0	35,0	
	4	n	0	2	0	2	2	6	
		%	0,0	100,0	0,0	50,0	40,0	30,0	
	5	n	0	2	0	1	1	4	
		%	0,0	40,0	0,0	25,0	20,0	20,0	
	2	n	0	0	1	0	0	1	16,614 (,342)
		%	0,0	0,0	50,0	0,0	0,0	5,0	
BIM yazılımları, ahşap yapı projelerinde geleneksel CAD'e göre avantaj sağlar.	3	n	1	3	0	3	2	11	
		%	50,0	60,0	0,0	75,0	40,0	55,0	
	4	n	1	1	1	0	1	4	
		%	50,0	20,0	50,0	0,0	20,0	20,0	
	5	n	0	1	0	1	2	4	
		%	0,0	20,0	0,0	25,0	40,0	20,0	
Kullanılan dijital araçlar sürdürülebilirlik sertifikaları (LEED/BREEAM) için yeterli desteği sağlamaktadır.	1	n	0	1	0	0	1	2	18,182 (,253)
		%	0,0	20,0	0,0	0,0	20,0	10,0	
	2	n	0	3	1	0	1	5	
		%	0,0	60,0	50,0	0,0	20,0	25,0	
	3	n	2	1	1	4	1	11	
		%	100,0	20,0	50,0	100,0	20,0	55,0	
	4	n	0	0	0	0	2	2	
		%	0,0	0,0	0,0	0,0	40,0	10,0	
Yazılım firmalarından aldığımız teknik destek genellikle etkilidir.	1	n	0	1	1	0	2	4	21,036 (,136)
		%	0,0	20,0	50,0	0,0	40,0	20,0	
	2	n	0	1	0	1	0	4	
		%	0,0	100,0	20,0	25,0	0,0	20,0	
	3	n	2	2	1	2	0	7	
		%	100,0	40,0	50,0	50,0	0,0	35,0	
	4	n	0	1	0	1	3	5	
		%	0,0	20,0	0,0	25,0	60,0	25,0	
Gelecekte en etkili dijital gelişme, yapay zekâ destekli detaylandırma olacaktır.	1	n	0	1	0	2	0	3	22,821 (,298)
		%	0,0	20,0	0,0	50,0	0,0	15,0	
	2	n	0	0	0	1	0	2	
		%	0,0	0,0	0,0	25,0	0,0	10,0	
	3	n	0	2	1	1	0	4	
		%	0,0	40,0	50,0	25,0	0,0	20,0	
	4	n	1	1	0	0	1	4	
		%	50,0	20,0	0,0	0,0	20,0	20,0	
	5	n	1	1	1	0	4	7	
		%	50,0	20,0	50,0	0,0	80,0	35,0	

*p<0,05

Analiz sonuçlarına göre **Tablo 4.1**'de ölçek maddelerinin büyük çoğunluğunda anlamlı farklılık saptanmamıştır. Bu durum Türkiye ölçeğinde çeşitli ahşap yapı şirketleri özelinde büyük oranda benzerlik gösterdiğini işaret etmektedir. Analizde ilişki barındıran “IFC veri paylaşımı sırasında sık sık uyumsuzluk yaşanmaktadır” (p

= ,039 < 0,05) ve “Ekip içinde dijital araçlara uyum süreci zorlayıcı olmuştur” (p = ,037 < 0,05) ifadelerinde şirket türüne göre anlamlı ilişkiler saptanmıştır. Bu sonuç, proje sürecinde veri paylaşımı ve ekip içi dijital araçlara uyum gibi süreçlerin şirketlerin iş organizasyonları ve disiplinler arası çalışma seviyesine göre farklılaşabildiğini göstermektedir.

Türkiye’deki şirketlerin yılda tamamladıkları ortalama ahşap yapı projesi sayısı ile dijital araç kullanımına ilişkin ölçek soruları arasındaki ilişkileri değerlendirmek için ki kare analizi yapılmıştır **Tablo 4.2**. Türkiye özelinde yıllık proje ölçeği ve dijital araç algıları setinin incelenmesinde, farklı proje kapasitelerinde ve benzer veya farklı ilişkiler gösterip göstermeyeceğini incelemek amaçlanmıştır.

Tablo 4.2: TR şirketin yılda tamamladığı ortalama ahşap yapı projesi sayısına göre ölçek soruları arasındaki ilişkinin dağılımı.

		Şirketinizin yılda tamamladığı ortalama ahşap yapı projesi sayısı nedir?							X ² (p)
		1-5	11-20	21-50	51 ve üzeri	6-10	Projem yok	Toplam	
Kullandığımız dijital araçlar uluslararası standartlarla (Eurocode 5, NDS, vb.) uyumludur.	1 n	2	1	1	0	0	1	5	26,375 (,034*)
	%	33,3	25,0	50,0	0,0	0,0	33,3	25,0	
	2 n	0	0	0	0	1	0	1	
	%	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	5,0	
	3 n	2	1	0	1	0	2	6	
	%	33,3	25,0	0,0	25,0	0,0	66,7	30,0	
	5 n	2	2	1	3	0	0	8	
	%	33,3	50,0	50,0	75,0	0,0	0,0	40,0	
	2 n	0	0	1	0	0	0	1	
	%	0,0	0,0	50,0	0,0	0,0	0,0	5,0	
Bu standartlara uyum sağlamak için manuel müdahale gereklidir.	3 n	2	2	0	2	0	0	6	17,264 (,303)
	%	33,3	50,0	0,0	50,0	0,0	0,0	30,0	
	4 n	2	2	1	1	0	2	8	
	%	33,3	50,0	50,0	25,0	0,0	66,7	40,0	
	5 n	2	0	0	1	1	1	5	
	%	33,3	0,0	0,0	25,0	100,0	33,3	25,0	
IFC veri paylaşımı sırasında sık sık uyumsuzluk yaşanmaktadır.	1 n	1	1	2	0	1	0	5	24,167 (,235)
	%	16,7	25,0	100,0	0,0	100,0	0,0	25,0	
	2 n	0	2	0	1	0	0	3	
	%	0,0	50,0	0,0	25,0	0,0	0,0	15,0	
	3 n	4	1	0	2	0	3	10	
	%	66,7	25,0	0,0	50,0	0,0	100,0	50,0	
	4 n	0	0	0	1	0	0	1	
	%	0,0	0,0	0,0	25,0	0,0	0,0	5,0	
	5 n	1	0	0	0	0	0	1	
	%	16,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	
Farklı ülkelere veri aktarımında biçim ve standart farkları sorun ortaya çıkarmaktadır.	1 n	1	0	2	0	0	0	3	32,278 (,040*)
	%	16,7	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	15,0	
	2 n	1	0	0	2	1	0	4	
	%	16,7	0,0	0,0	50,0	100,0	0,0	20,0	
	3 n	4	4	0	1	0	1	10	
	%	66,7	100,0	0,0	25,0	0,0	33,3	50,0	
	4 n	0	0	0	0	0	1	1	
	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,3	5,0	
	5 n	0	0	0	1	0	1	2	
	%	0,0	0,0	0,0	25,0	0,0	33,3	10,0	

Tablo 4.2: Devamı.

		1-5	11-20	21-50	51 ve üzeri	6-10	Projem yok	Toplam	X ² (p)
Ekip içinde dijital araçlara uyum süreci zorlayıcı olmuştur.	1 n	1	2	0	1	1	0	5	15,540 (,745)
	%	16,7	50,0	0,0	25,0	100,0	0,0	25,0	
	2 n	1	0	1	1	0	0	3	
	%	16,7	0,0	50,0	25,0	0,0	0,0	15,0	
	3 n	3	1	1	1	0	1	7	
	%	50,0	25,0	50,0	25,0	0,0	33,3	35,0	
	4 n	1	1	0	1	0	1	4	
	%	16,7	25,0	0,0	25,0	0,0	33,3	20,0	
	5 n	0	0	0	0	0	1	1	
	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,3	5,0	
Kullandığımız BIM/CAD yazılımlarıyla ahşap yapı elemanlarının 3B modellenmesi kolaydır.	2 n	2	0	0	0	0	1	3	15,278 (,432)
	%	33,3	0,0	0,0	0,0	0,0	33,3	15,0	
	3 n	3	1	1	1	1	0	7	
	%	50,0	25,0	50,0	25,0	100,0	0,0	35,0	
	4 n	0	3	1	1	0	1	6	
	%	0,0	75,0	50,0	25,0	0,0	33,3	30,0	
	5 n	1	0	0	2	0	1	4	
	%	16,7	0,0	0,0	50,0	0,0	33,3	20,0	
	2 n	1	0	0	0	0	0	1	19,962 (,173)
	%	16,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	
BIM yazılımları, ahşap yapı projelerinde geleneksel CAD'e göre avantaj sağlar.	3 n	4	1	2	4	0	0	11	
	%	66,7	25,0	100,0	100,0	0,0	0,0	55,0	
	4 n	1	2	0	0	0	1	4	
	%	16,7	50,0	0,0	0,0	0,0	33,3	20,0	
	5 n	0	1	0	0	1	2	4	
	%	0,0	25,0	0,0	0,0	100,0	66,7	20,0	
Kullanılan dijital araçlar sürdürülebilirlik sertifikaları (LEED/BREEAM) için yeterli desteği sağlamaktadır.	1 n	1	0	0	0	1	0	2	15,091 (,445)
	%	16,7	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	10,0	
	2 n	2	1	0	1	0	1	5	
	%	33,3	25,0	0,0	25,0	0,0	33,3	25,0	
	3 n	3	2	2	2	0	2	11	
	%	50,0	50,0	100,0	50,0	0,0	66,7	55,0	
	4 n	0	1	0	1	0	0	2	
	%	0,0	25,0	0,0	25,0	0,0	0,0	10,0	
Yazılım firmalarından aldığımız teknik destek genellikle etkilidir.	1 n	1	1	0	2	0	0	4	14,381 (,497)
	%	16,7	25,0	0,0	50,0	0,0	0,0	20,0	
	2 n	1	0	1	1	0	1	4	
	%	16,7	0,0	50,0	25,0	0,0	33,3	20,0	
	3 n	4	1	1	0	0	1	7	
	%	66,7	25,0	50,0	0,0	0,0	33,3	35,0	
	4 n	0	2	0	1	1	1	5	
	%	0,0	50,0	0,0	25,0	100,0	33,3	25,0	
Gelecekte en etkili dijital gelişme, yapay zekâ destekli detaylandırma olacaktır.	1 n	2	0	0	1	0	0	3	22,659 (,306)
	%	33,3	0,0	0,0	25,0	0,0	0,0	15,0	
	2 n	0	0	1	0	0	1	2	
	%	0,0	0,0	50,0	0,0	0,0	33,3	10,0	
	3 n	3	1	0	0	0	0	4	
	%	50,0	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	
	4 n	0	1	1	2	0	0	4	
	%	0,0	25,0	50,0	50,0	0,0	0,0	20,0	
	5 n	1	2	0	1	1	2	7	
	%	16,7	50,0	0,0	25,0	100,0	66,7	35,0	

*p<0,05

Türkiye örneklemine göre yapılan ki kare analiz sonuçlarına göre **Tablo 4.2'**de anketteki bazı likert ölçekli soruların şirketlerin yıllık ortalama ahşap proje adetleri ile sorulara verdikleri yanıtlar arasında bazı anlamlı ilişkilerin bulunduğu görülmektedir. Dijital araçların uluslararası standartlara uyumuna ilişkin algının ve farklı ülkelere veri

aktarımında biçim ve standart farklarına ilişkin algının yıllık ortalama ahşap proje adetleri ile farklılaştığı görülmektedir. Bu durum, şirketlerin üretim potansiyeli arttıkça uluslararası standartlar ve farklı ülkeler ile proje verilerinin paylaşım süreçleri ile daha sık karşılaşmalarıyla ilişkili olabilir.

Türkiye örnekleminde CAD ve BIM araçlarının çeşitleri ve araçların kullanımına ilişkin değerlendirmelerin farklı varyasyonlardan oluştuğu görüldüğü için her dijital araç seçeneği yerine BIM ve CAD aracın kullanılıp kullanılmadığı şeklinde ikili ayrımlar üzerinden bulguların bütüncül değerlendirilebilmesi yapılmıştır. Türkiye örnekleminde **Tablo 4.3**'te CAD aracı kullanan ve kullanmayan şirketlerin, dijital araçlara ilişkin değerlendirmeleri arasındaki ilişki ki kare analizi yöntemi ile incelenmiştir.

Tablo 4.3: TR CAD aracı kullanımı arasındaki ilişkinin dağılımı.

			CAD Aracı		Toplam	X ² (p)
			Var	Yok		
9) Tasarım sürecinizde kullandığınız dijital araçların en güçlü yönleri nelerdir?	BIM uyumluluğu	n	1	0	1	1,349 (,717)
		%	5,6	0,0	5,0	
	CNC veya üretim entegrasyonu	n	3	1	4	
		%	16,7	50,0	20,0	
	Esnek geometrik üretim	n	1	0	1	
		%	5,6	0,0	5,0	
	Hızlı modelleme	n	13	1	14	
		%	72,2	50,0	70,0	
10) Kullandığınız yazılım hangi modelleme bileşenlerini destekliyor? (Birden fazla seçebilirsiniz.)	Duvar;Çatı	n	1	0	1	2,716 (,951)
		%	5,6	0,0	5,0	
	Duvar;Çatı;Döşeme	n	1	0	1	
		%	5,6	0,0	5,0	
	Duvar;Çatı;Kapı ve Pencere;Kolon;Döşeme	n	1	0	1	
		%	5,6	0,0	5,0	
	Duvar;Çatı;Kapı ve Pencere;Kolon;Döşeme;Özel taşıyıcı parçalar	n	7	2	9	
		%	38,9	100,0	45,0	
	Duvar;Çatı;Kolon;Döşeme	n	1	0	1	
		%	5,6	0,0	5,0	
	Duvar;Çatı;Kolon;Döşeme;Özel taşıyıcı parçalar	n	2	0	2	
		%	11,1	0,0	10,0	
	Duvar;Kolon;Döşeme	n	1	0	1	
		%	5,6	0,0	5,0	
	Kapı ve Pencere	n	2	0	2	
		%	11,1	0,0	10,0	
	Özel taşıyıcı parçalar	n	2	0	2	
		%	11,1	0,0	10,0	
11) Bu araçları en çok hangi tasarım amaçları için kullanıyorsunuz?	Detaylı modelleme	n	6	0	6	1,790 (,617)
		%	33,3	0,0	30,0	
	Konsept tasarımı	n	8	1	9	
		%	44,4	50,0	45,0	
	Malzeme ve maliyet hesaplama	n	1	0	1	
		%	5,6	0,0	5,0	
	Teknik çizimler	n	3	1	4	
		%	6	0	6	
		n	33,3	0,0	30,0	
		%	33,3	0,0	30,0	

Tablo 4.3: Devamı.

			Var	Yok	Toplam	X ² (p)
12) Hangi çıktı özelliklerinden faydalaniyorsunuz?	2B çizim çıktıları	n	9	1	10	,476 (,976)
		%	50,0	50,0	50,0	
	Atölye çizimleri	n	6	1	7	
		%	33,3	50,0	35,0	
	CNC kodları	n	1	0	1	
		%	5,6	0,0	5,0	
	IFC uyumluluğu	n	1	0	1	
		%	5,6	0,0	5,0	
	Kesim listeleri	n	1	0	1	
		%	5,6	0,0	5,0	
13) Ahşap yapı projelerinde dijital araçları kullanırken karşılaştığınız en büyük zorluk nedir?	Çakışma kontrolü eksikliği	n	5	0	5	6,111 (,191)
		%	27,8	0,0	25,0	
	Dosya uyumsuzlukları	n	1	1	2	
		%	5,6	50,0	10,0	
	Ekip içi koordinasyon problemleri	n	2	0	2	
		%	11,1	0,0	10,0	
	Karmaşık formların modellenmesi	n	7	0	7	
		%	38,9	0,0	35,0	
	Yetersiz donanım	n	3	1	4	
		%	16,7	50,0	20,0	
14) Bu problemleri genellikle nasıl çözüyorsunuz?	Alternatif yazılım / eklenti kullanımı	n	3	0	3	4,568 (,335)
		%	16,7	0,0	15,0	
	Dış danışmanlık	n	1	1	2	
		%	5,6	50,0	10,0	
	Kurum içi yazılım / sistem geliştirme	n	2	0	2	
		%	11,1	0,0	10,0	
	Manuel çözümler	n	8	1	9	
		%	44,4	50,0	45,0	
	Üretici teknik desteği	n	4	0	4	
		%	22,2	0,0	20,0	
15) Tasarımı sınırlayan başlıca teknik kısıtlama nedir?	Malzeme simülasyonu eksikliği	n	6	1	7	,754 (,686)
		%	33,3	50,0	35,0	
	Model üzerinde değişiklik yapma zorluğu	n	5	0	5	
		%	27,8	0,0	25,0	
	Yavaş geri bildirim süreçleri	n	7	1	8	
		%	38,9	50,0	40,0	

*p<0,05

Analiz sonuçlarına göre **Tablo 4.3**'teki şirketlerin CAD aracı kullanıp kullanmama durumu özelinde dijital araçlara ilişkin değerlendirmeler arasında istatistiksel anlamlı bir ilişki saptanmamıştır. CAD aracının kullanım durumu, Türkiye örnekleminde kullanıcıların dijital araç deneyimlerini ayrıştıran belirleyici bir rol almadığı görülmüştür.

BIM dijital araçları Türkiye'de ahşap sektöründe yer edinmeye çalışmaktadır. Türkiye örnekleminde **Tablo 4.4**'te ise henüz ahşap sektöründe yaygın olmayan BIM araçlarını kullanan ve kullanmayan şirketlerin, dijital araçlara ilişkin değerlendirmeleri arasındaki ilişki ki kare analizi yöntemi ile incelenmiştir.

Tablo 4.4: TR BIM aracı kullanımı arasındaki ilişkinin dağılımı.

			BIM Aracı		Toplam	X ² (p)
			Var	Yok		
9) Tasarım sürecinizde kullandığınız dijital araçların en güçlü yönleri nelerdir?	BIM uyumluluğu	n	1	0	1	3,482 (,323)
		%	12,5	0,0	5,0	
	CNC veya üretim entegrasyonu	n	1	3	4	
		%	12,5	25,0	20,0	
	Esnek geometrik üretim	n	1	0	1	
		%	12,5	0,0	5,0	
	Hızlı modelleme	n	5	9	14	
		%	62,5	75,0	70,0	
10) Kullandığınız yazılım hangi modelleme bileşenlerini destekliyor? (Birden fazla seçebilirsiniz.)	Duvar;Çatı	n	1	0	1	7,269 (,508)
		%	12,5	0,0	5,0	
	Duvar;Çatı;Döşeme	n	1	0	1	
		%	12,5	0,0	5,0	
	Duvar;Çatı;Kapı ve Pencere;Kolon;Döşeme	n	0	1	1	
		%	0,0	8,3	5,0	
	Duvar;Çatı;Kapı ve Pencere;Kolon;Döşeme;Özel taşıyıcı parçalar	n	2	7	9	
		%	25,0	58,3	45,0	
	Duvar;Çatı;Kolon;Döşeme	n	1	0	1	
		%	12,5	0,0	5,0	
	Duvar;Çatı;Kolon;Döşeme;Özel taşıyıcı parçalar	n	1	1	2	
		%	12,5	8,3	10,0	
	Duvar;Kolon;Döşeme	n	0	1	1	
		%	0,0	8,3	5,0	
	Kapı ve Pencere	n	1	1	2	
		%	12,5	8,3	10,0	
	Özel taşıyıcı parçalar	n	1	1	2	
		%	12,5	8,3	10,0	
11) Bu araçları en çok hangi tasarım amaçları için kullanıyorsunuz?	Detaylı modelleme	n	5	1	6	10,046 (,018*)
		%	62,5	8,3	30,0	
	Konsept tasarımı	n	2	7	9	
		%	25,0	58,3	45,0	
	Malzeme ve maliyet hesaplama	n	1	0	1	
		%	12,5	0,0	5,0	
	Teknik çizimler	n	0	4	4	
		%	0,0	33,3	20,0	
12) Hangi çıktı özelliklerinden faydalaniyorsunuz?	2B çizim çıktıları	n	1	9	10	9,107 (,058)
		%	12,5	75,0	50,0	
	Atölye çizimleri	n	4	3	7	
		%	50,0	25,0	35,0	
	CNC kodları	n	1	0	1	
		%	12,5	0,0	5,0	
	IFC uyumluluğu	n	1	0	1	
		%	12,5	0,0	5,0	
	Kesim listeleri	n	1	0	1	
		%	12,5	0,0	5,0	
13) Ahşap yapı projelerinde dijital araçları kullanırken karşılaştığınız en büyük zorluk nedir?	Çakışma kontrolü eksikliği	n	3	2	5	6,220 (,183)
		%	37,5	16,7	25,0	
	Dosya uyumsuzlukları	n	1	1	2	
		%	12,5	8,3	10,0	
	Ekip içi koordinasyon problemleri	n	0	2	2	
		%	0,0	16,7	10,0	
	Karmaşık formların modellenmesi	n	1	6	7	
		%	12,5	50,0	35,0	
	Yetersiz donanım	n	3	1	4	
		%	37,5	8,3	20,0	

Tablo 4.4: Devamı.

			Var	Yok	Toplam	X ² (p)
14) Bu problemleri genellikle nasıl çözüyorsunuz?	Alternatif yazılım / eklenti kullanımı	n	2	1	3	10,394 (,034*)
	Dış danışmanlık	%	25,0	8,3	15,0	
		n	0	2	2	
		%	0,0	16,7	10,0	
	Kurum içi yazılım / sistem geliştirme	n	2	0	2	
		%	25,0	0,0	10,0	
	Manuel çözümler	n	1	8	9	
		%	12,5	66,7	45,0	
15) Tasarımı sınırlayan başlıca teknik kısıtlama nedir?	Üretici teknik desteği	n	3	1	4	3,095 (,213)
		%	37,5	8,3	20,0	
	Malzeme simülasyonu	n	1	6	7	
	eksikliği	%	12,5	50,0	35,0	
	Model üzerinde değişiklik yapma zorluğu	n	3	2	5	
		%	37,5	16,7	25,0	
	Yavaş geri bildirim süreçleri	n	4	4	8	
		%	50,0	33,3	40,0	

*p<0,05

Tablo 4.4'te verilen ki kare analiz sonuçlarına göre Türkiye örnekleminde BIM aracı kullanıp kullanmama durumu ile bu dijital araçların özellikleri konusundaki değerlendirmeler arasında bazı istatistiksel anlamlı ilişkiler tespit edilmiştir. Bu ilişkilerde, BIM aracı kullanan ve kullanmayan şirketler arasında, özellikle tasarım amacı ve problem çözme yaklaşımları konusundaki değerlendirmeleri açısından farklılık olduğu görülmektedir. Anket veri setine göre BIM aracı kullanmadığını ifade eden (Yok Grubu) katılımcıların tamamının CAD tabanlı dijital araçları kullandığı görülmektedir. Bu değerlendirme, BIM ve CAD çalışma metotlarının belirli yönlerden ayrıştığını ortaya koymaktadır.

BIM araçlarını kullananların tasarım amaçlarına ilişkin dağılımda detaylı modelleme amacı öne çıkarken, BIM araçlarını kullanmayanlarda ise konsept tasarımı ve teknik çizimler konularına yönelerek daha erken aşamalara yöneldiği değerlendirilebilir. Bu durum BIM araçlarının ileri seviye ve ayrıntı gerektiren projeler ile ilişkilendiği düşünülebilir. Karşılaşılan problemlerin nasıl çözüldüğüne ilişkin dağılımda BIM kullanım durumu ile istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanmıştır.

BIM dijital araçlarını kullanan katılımcıların üretici teknik desteği, kurum içi yazılım/sistem geliştirme ve alternatif yazılım/eklenti kullanımı gibi seçeneklere yöneldiği; bu dijital araçları kullanmayanların ise manuel çözümlere daha fazla yöneldiği görülmektedir. Bu durum, BIM kullanımının yaşanan problemlere yaklaşım şeklini de etkileyebileceğini işaret etmektedir.

Dijital araçların tasarım sürecindeki güçlü yönleri **Tablo 4.4**'e göre incelendiğinde BIM aracı kullanan veya kullanmayan grupların ikisinde de hızlı modelleme yönünün öne çıktığı görülmektedir. Analizde, dijital araçlardan faydalanılan çıktı özellikleri için ise 2B çizim çıktıları BIM araçlarını kullanmayan katılımcılar için öne çıktığı dikkat çekmektedir. BIM kullanan katılımcıların ise atölye çizimleri, CNC kodları, IFC uyumluluğu ve kesim listeleri gibi üretim süreçleriyle ilişkili çıktılara dağıldığı gözlenmektedir. Fakat bu durumlar istatistiksel olarak anlamlılık sınırına yakın olsa da ki kare analizinde net bir farklılığı göstermemektedir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ahşap yapı tasarım ve üretim sürecinde CAD ve BIM tabanlı araçlar ile dijitalleşme katmanlı bir şekilde incelenmektedir. Ahşap yapı sektöründe dijital araçların kullanım durumu, tasarım ve üretim süreçlerine entegrasyonu, Türkiye’de mevzuattaki yeri ve Türkiye’deki ahşap sektörün uluslararası karşılaştırmalı bir ortamda dijital tasarım araçlarına karşı yaklaşımı değerlendirilmiştir. CAD ve BIM tabanlı dijital araçların tasarım işlevleri ve bu araçların üretim teknikleri ile olan ilişkisi incelenmiştir.

Tez çalışmasında uluslararası ve ulusal ölçekte ahşap yapı sektöründe tasarım ve üretimde kullanılan CAD ve BIM tabanlı dijital araçların kullanım ve uygulama düzeyini sorgulamaya yönelik iki farklı anket çalışması yapılmıştır. Uluslararası ölçekte çoğunlukla Avrupa ve Amerika kıtalarında faaliyet gösteren ahşap yapı tasarımı ve üretimi alanındaki şirket gruplarından oluşan yedi katılımcı, ulusal ölçekte ise Türkiye’de faaliyet gösteren 20 yerel katılımcının görüşleri alınmıştır.

Uluslararası ve Türkiye örneklemeleri olarak her iki grup için de dijital araçlar, tasarım süreçleri için önemli bir konumda yer almaktadır. Bu araçlara genellikle konsept geliştirme, hızlı modelleme ve teknik çizim üretme amacıyla sıkça başvurulmaktadır. Bu durum ahşap sektöründe dijital araç kullanımının hem uluslararası hem Türkiye bağlamındaki tasarım ortamında giderek yaygınlaştığını göstermektedir. Öte yandan CAD ve BIM tabanlı araçların aynı düzeyde ve aynı amaçlarla kullanımın gerçekleşmediği edinilen bulgularda sonuç olarak ortaya çıkmaktadır. Türkiye örnekleminde özellikle BIM kullanmayan grupların dijital araçların temel modelleme, teknik belgelendirme süreçlerinde öne çıktığı görülmektedir. BIM kullanımını tercih eden şirketlerin ise üretime işaret eden daha kapsamlı düzeyde bilgi içeren modeller oluşturma amacıyla tercih ettiği düşünülmektedir.

Çalışmada, ahşap yapıların tasarım ve üretim süreçlerinin dijitalleşmesi için önemli dijital araçlar olarak CAD ve BIM araçları değerlendirilmektedir. Değerlendirilen bu dijital araçların tasarım, üretim, uygulama ve imalat süreçleri ile kurdukları ilişkiler ve bu araçlar ile kullanıcıların karşılaştıkları zorluklar Türkiye ve uluslararası örneklemeler üzerinden ele alınmıştır. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen anket ve

literatür bulgularına göre ahşap sektöründe dijital araçlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Buna karşın, tasarım aşamasında kullanılan araçların üretim sürecine sınırlı düzeyde entegre edildiği görülmektedir.

BIM araçları ile ahşap üretim ve imalat süreçleri arasındaki bağlantı sorunları nedeniyle üreticiler, CAD tabanlı 2B çözümler ile sıkça kendi çizim ve imalat detaylarını üretmek durumunda kalmaktadır. Karşılaşılan sorunlara yönelik tasarım üretim bağlantısının sağlanabilmesi için 3B modeller ve CNC makineler arasında doğrudan bir bilgi akışının sağlanabilmesi için girişimler sürdürülmektedir.

Elde edilen sonuçlara göre uluslararası örnekleme CAD ve BIM tabanlı araçların birlikte değerlendirildiği görülürken, Türkiye örnekleminde daha temel tasarım ölçeğinde genellikle CAD araçları ile süreçler yürütülmektedir. Uluslararası örnekleme ise BIM tabanlı araçların, tasarım süreçlerinin yanında üretim aşamalarında gerekli çıktılar ile de yer yer rol aldığı görülmektedir. Bu durum dijital araçların tasarım sürecine entegre edilmiş fakat bu araçlar üretime entegre kullanım işlevlerini aynı oranda benimsemediğini göstermektedir.

Dijitalleşme sürecinde tercih edilen malzeme ve yapım sistemleri üzerinden değerlendirme yapıldığında ise uluslararası örnekleme endüstriyel ahşap çözümler biraz daha öne çıkarken Türkiye örnekleminde geleneksel ahşap çerçeve sistem öne çıkmaktadır. Ahşap bir projenin taşıyıcı sistemi, tasarım ve üretim süreçlerinin organizasyonu, detaylandırma kriterleri üzerinde önemli rol oynamaktadır. CLT, DLT gibi endüstriyel ahşap ve geleneksel ahşap çerçeve sistemleri; malzeme farklılığının yanında, proje ölçeği, yapı bileşenlerinin tasarımında tolerans oranı ve bu bileşenlerin çeşitliliği gibi konularda ayrılmaktadır. Planlanan projenin taşıyıcı sistem türü, tasarım sürecinin detay seviyesini, karmaşıklığını ve BIM aracılığıyla tasarlanıyorsa LOD seviyesinin kriterlerini de belirlediği için dijital araç tercihinde önemli bir parametre olabilmektedir. Bu sebeple, dijital araç kullanımı ve taşıyıcı sistem dağılımlarına ilişkin değerlendirmelerin analizler ile ele alınması bu analizlerin birbirini tamamlamasını sağlamıştır.

Ahşap taşıyıcı sistem türünün, BIM 'LOD' seviyeleri kurgusunda belirleyici olması gibi BIM kullanım tercihi karşılaşılan sorunlara getirilen çözümlerin de

farklılaşmasına neden olmaktadır. Çalışma kapsamında yapılan analizlerde Türkiye örnekleminde BIM dijital araçlarının kullanımı ile dijital araçlarda karşılaşılan problemlerin çözümleri arasında anlamlı bir ilişki olduğu yapılan ki kare analizine göre saptanmıştır. BIM araçlarını kullanan örnekleme problem çözümlerinde kurum dışı sistematik ilişkiler ile çözümlere gidildiği, BIM kullanmayan örneklemin ise manuel çözümlere belirgin bir biçimde yöneldiği görülmektedir. Bu farklılığın nedeni BIM ortamının ortak veri ortamına ulaşılabilmesi ve koordinasyonlu bir çalışma ortamı sağlaması problem çözümünü kurumsal ve kolektif bir sistemde sağlamaktadır. Bu kurumsal koordinasyonun sağlanabilmesi için ahşap sektöründe standartlar ve teşvik politikaları ile BIM tabanlı dijital araçların kullanımının arttırılması gerekmektedir.

Anketlere katılım sağlayan ulusal şirketlerin türleri ve yıllık ortalama üretim ölçekleri ile dijital araçlar hakkındaki değerlendirmeler arasında istatistiksel bir fark olup olmadığını göstermek için ki kare analizi uygulanmıştır. Fakat şirket türü ve yıllık ortalama proje ölçeği verilerinin, dijital araçlara ilişkin likert ölçekli sorularda yapılan değerlendirmeler ile ilişkilerin büyük oranda sınırlı olduğu görülmektedir. Bu durum dijital araçların kullanım biçimlerinin ve araçlara karşı yaklaşımlarının, kurumsal ölçekten ziyade proje bazlı gereksinimlere ve uygulama tercihlerine bağlı değişebileceğini göstermektedir.

Türkiye’de ahşap yapı sektöründe dijitalleşme özellikle CAD tasarım araçları ile ilerlemektedir. BIM tabanlı araçların etkili bir şekilde hayata geçirilebilmesi için üretim ölçeği, şirket yapısı, eğitim düzeyi ve mevzuat gibi değişkenlerin birlikte şekillenmesi gerekmektedir. Ayrıca, Türkiye’de üretim sürecinin tasarım sürecine entegrasyonu konusundaki boşlukların dolması beklenmektedir. Bunun yanında ahşap sektörü için önemli olan fakat bilinmeyen veya yaygın şekilde kullanılmayan CAD ve BIM araçlarının teşvik edilmesi gerekmektedir.

Türkiye’de ahşap yapılar için BIM tabanlı araçlar, mevzuat ve ruhsat süreçlerinde zorunlu tutulmamakta, araçların kullanımı sınırlı ve isteğe bağlı kalmaktadır. Bu anlamda, ahşap yapı tasarım sürecinde dijital araçlar teknik bir destek aracı olarak kullanılsa da mevzuat tarafından yönlendirilen bütünsel bir dijitalleşme sürecinin oluşmadığı anlaşılmaktadır.

5.1. Öneriler

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen literatür incelemeleri, dijital araç karşılaştırmaları ve istatistiksel analizler; ahşap yapı tasarım ve üretiminde dijital araçların tasarım sürecinde kullanımının yaygınlaştığını, ancak bu kullanımın çoğu durumda araçların sunduğu potansiyelin gerisinde kaldığını ortaya koymaktadır. CAD ve BIM tabanlı dijital araçların kullanım biçimleri, şirket türü, üretim ölçeği, kullanılan taşıyıcı sistemler ve ülkesel bağlamlara göre farklılaşmaktadır. Bu doğrultuda geliştirilen öneriler, dijitalleşmenin yalnızca araç temelli değil; kültürel, organizasyonel, teknik ve mevzuatsal boyutlarıyla da ele alınması gerektiğini göstermektedir.

Çalışma kapsamında yapılan anket analizleri incelendiğinde her iki örneklem içinde şirket türü ve yıllık üretim ölçeği ile dijital araçlara ilişkin değerlendirmeler arasında sınırlı sayıda anlamlı ilişki bulunmuş olması, dijitalleşmenin kurumsal ölçeklere göre değil bireysel deneyim ve tercihlere göre ilerlediğini göstermektedir. Kullanılan dijital araçların sadece tasarım sürecine yardımcı araçlar olarak kullanılmaması üretimi de takip eden bütüncül bir çalışma sisteminin parçası olması gerekmektedir.

Ahşap sektörünün yapısal olarak parçalanmış bir üretim organizasyonuna sahip olması da bu dijitalleşmenin önünde engel olmaktadır. Tasarımcı, üretici, uygulayıcı ve tedarikçi aktörlerin çoğu zaman farklı dijital araçlar ve çalışma kültürleriyle sürece dâhil olması, ortak bir dijital dilin oluşmasını zorlaştırmaktadır. Sektördeki bu kopukluk bütüncül dijitalleşmenin önünde bir engel olmaktadır. Ahşap sektörüne özgün kullanılan CAD ve BIM tabanlı araçların kullanımının sektörel bir kültüre dönüşmesi ve yaygınlaştırılması gerekmektedir. Bu araçların konsept tasarımdan, imalat sürecine kadar kullanıldığı bütüncül süreçlerin uygulandığı pilot uygulamalar ve bu konudaki dönüşümü destekleyecek dünya örnekleri yaygınlaştırılmalıdır. Türkiye’de ahşap sektörünün dijitalleşme sürecinin sadece çizimden öte bir veri akış süreci olarak tasarım, üretim ve uygulama için bütüncül ve verimli bir süreç olabildiğini benimsemesi ve bu süreçte BIM dijital araçlarına yönelmesi gerekmektedir.

Ahşap sektöründe proje tasarımlarında kullanılan CAD tabanlı araçlar ile yapılan çizimlerin, üretici ve uygulayıcı tarafından tekrar ele alınması, iş akışı sürecinde gecikmelere ve proje verilerinde hatalara sebep olmaktadır. Bu noktada, CAD tabanlı araçlar ile çizilen projeler için belirli katman planının ve teknik detayların bulunduğu üretim esaslı standart şablonların oluşturularak kullanılması önerilmektedir.

Yapılan anket çalışmalarına göre ise karşılaşılan sorunlar değerlendirildiğinde karmaşık formları modelleme konusunda zorluk yaşandığı görülmektedir. Özellikle Türkiye örnekleminde konsept tasarım, modelleme gibi süreçlerde bu tür modellemelerde dijital araçların kullanılması yaşanan zorluğun öne çıkmasına neden olmuştur. Karşılaşılan sorunlara yapılan manuel müdahaleler yerine ise profesyonel bir destek ile yazılım şirketlerinden danışmanlık almaları sürdürülebilirlik açısından önerilmektedir. Mevcut dijital araçlar ile karmaşık formların nasıl yapılabildiğini gösteren eğitimlerin alınması ve şirketlerin gerekli yazılım uzmanlarından da bu konuda destek almaları gerekmektedir.

Ahşap yapı sektörü özelinde farklı firmalara ait BIM tabanlı dijital araçlar bulunmaktadır fakat Türkiye özelinde şirketler genellikle bu araçları kullanmamaktadır. Türkiye’de BIM araçlarını kullanmayan şirketlerin sektörler arası iş birliğini güçlendiren bir koordinasyon altyapısını oluşturabilmesi için bu alanda adımlar atmaya başlaması gerekmektedir. BIM araçlarına sahip olan şirketlerin, ahşap şirketlerine bilgi ve kullanıma yönelik tanıtım faaliyetlerinin artırılması önerilmektedir. Bu araçların yeterince sektörde yaygın olarak kullanılmaması ve yeterince bilinir olmaması bu durumun sebeplerinden biri olduğu düşünülmektedir. Fakat BIM tabanlı araçların üretime hazır çıktılar sağlayabilecek özelliklere sahip olması güçlü yönleri olarak öne çıkmaktadır. Tasarım aşamasında, üretime bağlanacak olan dijital çıktıların çıktıyı üretecek kişinin ve bu konudaki net iş bölümlerinin proje başında belirlenmesi gerekmektedir. Bu durumda ahşap yapı elemanları için parametrik nesne kütüphanelerinin oluşturulması önerilmektedir. Kademeli detay yaklaşımı ile sürekli nesne üretim ihtiyacı azalacaktır.

Türkiye örnekleminin BIM araçları kullanımında ‘Hiçbiri’ tercihinin yüksek oranda olması, BIM tabanlı dijital araçların bilinmemesi veya dijital araç tercihlerinde CAD tabanlı dijital araçların tercih edildiği sonucuna yönlendirmektedir. Türkiye’de BIM

araçlarının yeterince kullanılmama sorunu için özellikle tasarım ve üretim entegrasyonunu güçlendirmek amacıyla ArchiFrame ve AGACAD gibi Revit tabanlı ahşap eklentilerinin kullanımı yaygınlaştırılabilir.

Uluslararası örneklemin büyük bir bölümü BIM tabanlı dijital araçları tercih ederken ahşap şirketlerinin tasarım süreçlerini BIM araçları ile kurum içi iş akışlarına entegre ettiği anlaşılmaktadır. Türkiye örnekleminde ise katılımcıların büyük çoğunluğunun BIM araçlarını tercih etmemiş olması ve kullanılan dijital araçlar ile karşılaşılan problemlerin büyük çoğunluğunun manuel şekilde çözülmesi, dijital tasarım sürecinin daha esnek ve bireysel deneyimler ile ilerlediğini göstermektedir. Türkiye’de ahşap şirketlerinin da BIM odaklı kurumsal modele geçmesi önerilmektedir. Ahşap şirketlerinin teknik altyapılarını güçlendirmesi, ortak veri ağları kurması ve çalışma sistemlerini dijitalleştirilmesi gerekmektedir. BIM tabanlı dijital araçların üreticileri ile iş birlikleri ve pilot projeler ile geçiş süreci kolaylaştırılabilir. Bu süreç ahşap sektörü dışındaki diğer mimari sektörlerin de BIM araçlarına geçişine örnek olacaktır.

Modüler ve prefabrik ahşap yapı şirketlerinin ön üretimli sistemleri için tasarım ve üretim süreci oldukça önemlidir. Bu bütüncül sürecin doğru, hata oranı az ve hızlı üretim ile tamamlanması için süreçlerde özellikle ahşaba özel BIM tabanlı dijital araçlar kullanılmalıdır. Projeler için CNC, atölye çizimleri ve kesim listeleriyle doğrudan ilişkilendirilebilen BIM tabanlı araçlar ile bütünleşmiş dijital iş akışı oluşturulmalıdır.

Dijital araçların uluslararası standartlarla uyumluluk düzeyi yapılan araştırmada değerlendirildiğinde, uluslararası örnekleme yüksek oranda uyumluluk gösterdiği değerlendirilirken; Türkiye örnekleminde uyum genellikle manuel müdahalelerle sağlandığı belirtilmiştir. Uluslararası örneklemin BIM ağırlıklı, Türkiye örneklemini ise CAD ağırlıklı dijital araçlara yönelirken bu tercihleri yapması BIM tabanlı araçların standartlara uyumu sağlayabildiğini gösterir niteliktedir. Buna göre Türkiye’de ahşap yapı tasarımına ilişkin mevzuatın, BIM tabanlı hesaplama ve doğrulama süreçlerini de destekleyecek şekilde güncellenmesi önerilmektedir. Bu konuda ahşap yapı projelerinde BIM kullanımını teşvik eden politikalar uygulanmalıdır.

Ahşap sektöründe uluslararası projelerde yaşanan IFC uyumsuzluk sorunları, yazılımsal eksiklikten ziyade sektörel anlamda veri standartlarının eksikliğinden kaynaklanmaktadır. Türkiye’de ahşap yapı tasarımları için uluslararası ve ulusal standart ve yönetmeliklere uyumlu parametrelerin işlendiği ortak BIM kütüphaneleri zenginleştirilmelidir.

Türkiye’de ahşap yapı tasarımında kullanılan dijital araçlar ile ilgili yüksek oranda bilgi ve deneyim bulunmamaktadır. Bu konuda mimarlık ve inşaat mühendisliği eğitim müfredatlarında, ahşap yapı tasarımının CAD ve BIM tabanlı dijital araçlar eşliğinde ele alındığı, konsept tasarımdan imalata kadar uzanan sürecin yer alması gerekmektedir. Sürekli eğitim merkezleri ve benzeri mesleki gelişim kuruluşları aracılığıyla BIM tabanlı dijital araçlara yönelik eğitim programları geliştirilebilir. Ayrıca BIM alanında uzmanlaşmış lisans ve lisansüstü mezunların programlarda eğitmen olarak görevlendirilmesi bilgi aktarımının sağlanmasında sektörün BIM araçlarına entegrasyonuna fayda sağlayacaktır.

Profesyonel alanda ahşap sektöründe uzmanlaşma adına, CAD ve BIM tabanlı araçların etkin kullanımını hedefleyen, uygulamaya dönük sertifika programları ve mesleki eğitimlerin yaygınlaştırılması, dijital araçların üretim süreçlerine daha etkin biçimde entegre edilmesi önerilmektedir.

Yapılan anket çalışmalarında, uluslararası örneklemin, geleceğe yönelik en belirleyici dijital gelişme olarak yapay zekâ destekli detaylandırmanın olacağını belirtmesi, sektördeki dijitalleşmenin sadece CAD ve BIM tabanlı araçlar ile sınırlı olmadığını ortaya koymaktadır. Bu farkındalığın Türkiye’de parametrik tasarım, CAD ve BIM süreçlerinin birlikte kullanımı ile otomasyon ve yapay zekâ destekli üretime yönelik becerilerin erken aşamada kazandırılması ve pilot projelerde uygulanması önemlidir.

KAYNAKLAR

- Abrahamsen, R. (2017, December). Mjøstårnet-Construction of an 81 m tall timber building. In *Internationales Holzbau-Forum IHF* (Vol. 2017).
- Abushwereb, M., Liu, H., & Al-Hussein, M. (2019). A knowledge-based approach towards automated manufacturing-centric BIM: wood frame design and modelling for light-frame buildings. *Modular and Offsite Construction (MOC) Summit Proceedings*, 100-107.
- Akça, C., Akarca, H., Erdoğan, E., & Demirel, A. (2014). Ulusal Ahşap Birliği. <https://www.scribd.com/document/708457931/Ahsap-Yapi-Sektor-Raporu-2> (Erişim Tarihi:22.10.2025).
- Atabay, Ş., & Öztürk, M. B. (2019). Yapi Bilgi Modellemesi (YBM) Uygulama Planı Üzerine İnceleme. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(2), 418-430.
- Avcı, Ş. T., & Öztaş, S. K. (2025). Ahşap Teknolojilerinin Süreç ve Performans Kriterleri Bağlamında Değerlendirilmesi: Sürdürülebilir Tasarım ve Üretim Yaklaşımları. *Kent Akademisi*, 18(5), 2813-2830.
- Avlar, E. (1995). Türkiye'deki konut açığının giderilebilmesinde önyapımlı ahşap konut üretiminin uygulanabilirliği yönünde bir model araştırması: Bursa örneği.
- Avlar, E. (2021). Ahşabın Yapıda Kullanım Olanakları. *Yapı*, (467).
- Ay, B.Ö., Azak, T.E., (2021). Türkiye’de Değişen Yapı Özelliklerinin Karşılaştırmalı İncelemesi. *Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 36(4), 1111-1126.
- Bakanlığı, K. (2013). Onuncu Kalkınma Planı 2014-2018. T.C. Kalkınma Bakanlığı. (<https://dspace.ceid.org.tr/handle/1/114>) (Erişim Tarihi: 06.08.2025).
- Barış, R., & Gür, N. V. (2021). Ahşap Yapı Üretiminde Cephe Kuruluşunun Değerlendirilmesi. *Artium*, 9(2), 47-67.
- Barış, R. (2022). *Modern ahşap hibrit yapı teknolojisi ve uygulama örnekleri* (Master's thesis, Mimar Sinan Fine Arts University (Turkey)).
- Beale, P., & Morgan, T. (2019). Advanced timber concepts and the design of furniture and structures. In *Digital Wood Design: Innovative Techniques of Representation in Architectural Design* (pp. 159-194). Cham: Springer International Publishing.
- Boafo, F. E., Kim, J. H., & Kim, J. T. (2016). Performance of modular prefabricated architecture: Case study-based review and future pathways. *Sustainability*, 8(6), 558.
- Bostancıoğlu, E., & Birer, E. D. (2004). Ekoloji ve ahşap–Türkiye’de ahşap malzemenin geleceği.

Buri, H. U., & Weinand, Y. (2011). The tectonics of timber architecture in the digital age. *Building with Timber–Paths into the Future*, 56-63.

Calquin, D. L., Mata, R., Correa, C., Nuñez, E., Bustamante, G., Caicedo, N., ... & Roa, L. (2024). Implementation of Building Information Modeling Technologies in Wood Construction: A Review of the State of the Art from a Multidisciplinary Approach. *Buildings*, 14(3), 584.

Choi, T. I., Na, H. J., & Kim, J. W. (2015). A Study on Freeform Optimization using BIM Technology. *Modular and Offsite Construction (MOC) Summit Proceedings*, 340-347.

Codrón, C. (2018). *Análisis de las herramientas de las tecnologías BIM que permiten mejorar la etapa de diseño en la elaboración de los proyectos de construcción en madera* (Tesis de maestría). Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

Coşkun, B., & Yardımlı, S. (2022). Endüstriyel Ahşap Malzemenin Yapıda Kullanımı: Cambridge Merkez Camisi. *KAPU Trakya Mimarlık ve Tasarım Dergisi*, 2(1), 20-34.

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

Çobancoğlu, T. (2003). Türkiye’de Geleneksel Ahşap Ev Yapı Sistemlerinin İrdelenerek Gruplandırılmasına Yönelik Bir Değerlendirme. *Tasarım+ Kuram*, 2(3), 27-42.

Çolak, M. (2025). Ahşap Ev Yapım Teknikleri. *Tarı, Orman ve Su Bilimlerinde Modern Araştırmalar*, 18.

Day, G., Gasparri, E., & Aitchison, M. (2019). Knowledge-based design in industrialised house building: A case-study for prefabricated timber walls. In *Digital Wood Design: Innovative Techniques of Representation in Architectural Design* (pp. 989-1016). Cham: Springer International Publishing.

de Vasconcelos Feist, S. T. (2016). A-BIM: Algorithmic-based Building Information Modelling.

Duru, M. O., & Koç, İ. (2018). Ülkemiz konut üretiminde ahşap malzemenin kullanımının gerekliliği. *International Congress on Engineering and Architecture (ENAR-2018)*.

Eastman, C., & Henrion, M. (1977). GLIDE: a language for design information systems. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, 11(2), 24-33.

Erdoğan, D., & Begeç, H. (2021). Tall Timber Architecture: An Opportunity for Green Building as Mjøstårnet. In *International Symposium of Architecture, Technology and Innovation*. Yaşar University, Izmir, Turkey.

Ergen, E., & Kazado, D. (2018). YBM Uzmanı Sertifika Programı 1. Modül: YBM Süreçleri Eğitimi.

Erkoç, E. (2004). *Günümüz Teknolojileriyle Üretilen Ahşap Konutların Tasarım-Uygulama-Kullanım Üçgeninde Değerlendirilmesi* (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul).

Erşahin, M. M. (2022). *Günümüz mimarlığında ahşap prefabrikasyon, malzeme kullanımı ve strandparken örneği* (Master's thesis, Mimar Sinan Fine Arts University (Turkey)).

Fast, T. (2014). *Design Considerations for Mid-rise Steel Frame Structures Using Wood-based Flooring Systems* (Doctoral dissertation, University of British Columbia).

Gharaibeh, L., Eriksson, K. M., & Lantz, B. (2022). Building Information Modelling in the wood construction industry: Challenges and level of implementation. In *Brilliance in resilience: operations and supply chain management's role in achieving a sustainable future; 1-6 July 2022, University of Sussex, Business School, Berlin, Deutschland-programme Constantin Blome, Conference Chair* (p. 33).

Gharaibeh, L., Matarneh, S. T., Eriksson, K., & Lantz, B. (2022). An empirical analysis of barriers to building information modelling (BIM) implementation in wood construction projects: evidence from the Swedish context. *Buildings*, 12(8), 1067.

Gül, N., & Mayuk, S. G. (2019). Çağdaş Ahşap Yapım Sistemlerinin Çok Katlı Yapılarda Kullanımı: The Tree. *Kent Akademisi*, 12(3), 586-599.

İnceoğlu, M., İnan B., (2020), “Bilgisayar Destekli Tasarımın Gelişimi: Yeni Bir Mimari Metodoloji Olarak YBM”, GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies (AIST), 3 (1), 47-65.

Kaiser, A., Larsson, M., & Girhammar, U. A. (2019). From file to factory: Innovative design solutions for multi-storey timber buildings applied to project Zembla in Kalmar, Sweden. *Frontiers of Architectural Research*, 8(1), 1-16.

Karayılmazlar, S., Çabuk, Y., Atmaca, A., & Aşkın, A. (2007). Orman ürünleri endüstrisinde laminasyon tekniği ve önemi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 9(11), 78-86.

Khemlani, L. (2010). BIM Evaluation Study Report. *AIA Large Firm Round Table (LFRT) CEO Committee*.

Kim, M. Y., Kim, T. Y., & Park, C. B. (2009). Treatment of Western Wooden Roof Trusses in Early 20th Century Korea. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 8(1), 49-56.

Kleppe, O. H. (2017). The Tree- Dünyanın En Yüksek Ahşap Binası. *Ahşap Yapılarda Koruma ve Onarım Sempozyumu 5* (s. 193-207). İstanbul: İstanbul Büyükşehir Belediyesi KUDEB.

Koç, S. (2020). *Ahşap ızgara kabuk strüktürlerin incelenmesi* (Master's thesis, Mimar Sinan Fine Arts University (Turkey)).

Koç, S., & Gür, N. V. (2021). Mimaride Etkin Strüktürler Olarak Ahşap Izgara Kabuklar. *Mimarlık ve Yaşam*, 6(2), 349-369.

Kuma, K., Imperadori, M., Clozza, M., Hirano, T., Vanossi, A., & Brunone, F. (2019). KODAMA: a polyhedron sculpture in the forest at Arte Sella. In *Digital Wood Design: Innovative Techniques of Representation in Architectural Design* (pp. 1255-1286). Cham: Springer International Publishing.

Liu, Z. (2024). Comparison and analysis of advantages and disadvantages between BIM and CAD in civil drafting software. *ACE*, 62(1), 192-197.

Mallo, M. F. L., & Espinoza, O. (2015). Awareness, perceptions and willingness to adopt cross-laminated timber by the architecture community in the United States. *Journal of Cleaner Production*, 94, 198-210.

Mancık, E. (2023). *BIM teknolojisinin yapıların yenilenme süreçlerinde kullanımının irdelenmesi* (Yüksek Lisans tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Martens, B., & Peter, H. (2007). *Archicad v27*. Springer: Vienna, Austria.

Martín-Pastor, A., & García-Alvarado, R. (2019). Developable wooden surfaces for lightweight architecture: Bio-dune pavilion. In *Digital Wood Design: Innovative Techniques of Representation in Architectural Design* (pp. 1481-1500). Cham: Springer International Publishing.

Millî Eğitim Bakanlığı. (2019). *Üç ve beş eksen cam frezeleme*. Ankara: Millî Eğitim Bakanlığı.

Nawari, N. (2012). BIM standardization and wood structures. *Computing in Civil Engineering (2012)*, 293-300.

Paiu, I., Androne, A., & Coşereanu, C. (2020). CAD-CAM-CAE in wood industry. A case study for perforated ornaments processed on CNC router.

Pan, Y., Tannert, T., Kaushik, K., Xiong, H., & Ventura, C. E. (2021). Seismic performance of a proposed wood-concrete hybrid system for high-rise buildings. *Engineering Structures*, 238, 112194.

Pastori, S., Mazzucchelli, E. S., & Wallhagen, M. (2022). Hybrid timber-based structures: A state of the art review. *Construction and Building Materials*, 359, 129505.

Ramage, M., Foster, R., Smith, S., Flanagan, K. ve Bakker, R. (2017). Super Tall Timber: Design Research For The Next Generation Of Natural Structure. *The Journal Of Architecture*, 22:1, 104-122. doi:Dor: 10.1080/13602365.2016.1276094

Reisach, D., Schütz, S., Willmann, J., & Schneider, S. (2024). Digital fabrication for circular timber construction: a case study. *Circular Economy*, 1(2), 1-18.

ResGaz, (2024), Ahşap Binaların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik 24 Mart 2024 tarih ve 32499 sayılı Resmi Gazete.

Robeller, C. (2019). Timber plate shell structures: a digital resurgence of traditional joining methods. In *Digital Wood Design: Innovative Techniques of Representation in Architectural Design* (pp. 1117-1133). Cham: Springer International Publishing.

Santana-Sosa, A., & Riola-Parada, F. (2018). A theoretical approach towards resource efficiency in multi-story timber buildings through BIM and lean. In *WCTE 2018-World Conference on Timber Engineering*.

Svilans, T., Tamke, M., Thomsen, M. R., Runberger, J., Strehlke, K., & Antemann, M. (2019). New workflows for digital timber. In *Digital wood design: Innovative techniques of representation in architectural design* (pp. 93-134). Cham: Springer International Publishing.

Şanlı, E., & Vural, N. (2021a). Çapraz Lamine Ahşap (CLT) Yapı Malzemesinin Strüktürel Açısından Değerlendirilmesi. *Yapı Dergisi*, 467, 50-57.

Şanlı, E., & Vural, N. (2021b). Çapraz lamine ahşabın (CLT) ve tutkallı lamine ahşabın (GLULAM) üretim, strüktürel, teknik ve performans özellikleri açısından irdelenmesi. 5. *Ulusal Yapı Kongresi ve Sergisi*, 28–29 Mayıs 2021, Online.

Şişman, M. E. (2018). *Amerika Birleşik Devletleri'nde ahşap evin gelişimi ve prefabrik ahşap ev katalogları* (Master's thesis, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü).

Şişman, M. E., & Ökten, B. B. (2023). Yapı Sektöründe Ahşap Teşvik Politikaları ve Etkileri. *bab Journal of FSMVU Faculty of Architecture and Design*, (Special Issue), 48-64.

Tang, G., Chilton, J., & Beccarelli, P. (2013, September). Progressive development of timber gridshell design, analysis and construction. In *Proceedings of IASS Annual Symposia* (Vol. 2013, No. 14, pp. 1-6). International Association for Shell and Spatial Structures (IASS).

Tel, M. Z. (2021). *BIM uygulamalarının mevzuat ve yasal çerçevesi-ulusal değerlendirme* (Master's thesis, İstanbul Medipol Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

Tulebekova, S., Malo, K. A., Rønnquist, A., & Nåvik, P. (2022). Modeling stiffness of connections and non-structural elements for dynamic response of taller glulam timber frame buildings. *Engineering Structures*, 261, 114209.

Türkçü, Ç. (2017). *Çağdaş Taşıyıcı Sistemler*. İstanbul: Birsan Yayınevi.

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2024). *Yapı bilgi modellemesi uygulaması: Akıllı şehir uygulama rehberlik kılavuzu*. Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü.

Willmann, J., Knauss, M., Bonwetsch, T., Apolinarska, A. A., Gramazio, F., & Kohler, M. (2016). Robotic timber construction—Expanding additive fabrication to new dimensions. *Automation in construction*, 61, 16-23.

Yıldız, M. (2023). Geleneksel Türk Evi'nde Ahşabın Sanata Dönüşümü. *bab Journal of FSMVU Faculty of Architecture and Design*, 4(1), 64-77.

Yürekli, D. (2023). *Çapraz lamine ahşap çok katlı konutların Türkiye koşullarında üretimi için bir model önerisi* (Doktora tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Żmijewski, T., & Wojtowicz-Jankowska, D. (2017, October). Timber-Material of the future-Examples of small wooden architectural structures. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 245, No. 8, p. 082019). IOP Publishing.

Web 1, (2025), <https://web.fpinnovations.ca/> (Erişim Tarihi: 10.10.2025).

Web 2, (2025), Ondokuz Mayıs Üniversitesi. Prefabrik Yapılar. Yüzeysel Taşıyıcılarla Kurulan Sistemler 11.Hafta Ders Notu, <https://share.google/10yLkhF7YwMsWpLys>, (Erişim Tarihi: 19.10.2025).

Web 3, (2025), <https://architizer.com/projects/savill-building/>, (Erişim Tarihi:19.10.2025).

Web 4, (2025), <https://www.muwu1688.com/gcmuwu/hainanliuzong.html>, (Erişim Tarihi: 20.10.2025).

Web 5, (2025), <https://www.naswood.com.tr/proje/long-beach-otel/>, (Erişim Tarihi: 21.10.2025).

Web 6, (2025), <https://www.scribd.com/document/708457931/Ahsap-Yapi-Sektor-Raporu-2> (Erişim Tarihi:22.10.2025).

Web 7, (2025), <https://pasquill.co.uk/roof-solutions/glulam-beams/>, (Erişim Tarihi: 19.08.2025).

Web 8, (2025), <https://www.greenspec.co.uk/building-design/crosslam-timber-introduction/>, (Erişim Tarihi: 19.08.2025).

Web 9, (2025), <https://www.deesidetimberframe.com/build-systems/wall-systems/>, (Erişim Tarihi: 22.08.2025).

Web 10, (2025), <https://www.blumer-lehmann.com/en/implement-construction-projects/construction/modular-construction.html>, (Erişim Tarihi: 26.08.2025).

- Web 11, (2025), <https://www.archdaily.cl/cl/786121/c-plus-t-change-plus-timber-software-para-el-calculo-estructural-en-madera>, (Erişim Tarihi: 30.08.2025).
- Web 12, (2025), A Brief History of BIM. <https://www.archdaily.com/302490/a-brief-history-of-bim>, (Erişim Tarihi: 07.09.2025).
- Web 13, (2025), <https://www.autodesk.com/solutions/bim-levels-of-development>, (Erişim Tarihi: 09.09.2025).
- Web 14, (2025), <https://bimacademi.com/ybm-bim-koordinasyonu-temel-teori/?v=e7d707a26e7f>, (Erişim Tarihi: 09.09.2025).
- Web 15, (2025), <https://www.rhino3d.com/features/#grasshopper>, (Erişim Tarihi: 16.09.2025).
- Web 16, (2025), <https://dynamobim.org/>, (Erişim Tarihi: 16.09.2025).
- Web 17, (2025), <https://www.blender.org/>, (Erişim Tarihi: 16.09.2025).
- Web 18, (2025), <https://revitstructureblog.wordpress.com/2024/07/05/dynamo-3-1-0-new-panelisation-tools/>, (Erişim Tarihi: 16.09.2025).
- Web 19, (2025), <https://www.solidworks.com/product/3dexperience-solidworks>, (Erişim Tarihi: 22.09.2025).
- Web 20, (2025), <https://www.shapr3d.com/blog/shapr3d-2023-brand-update-is-coming>, (Erişim Tarihi: 30.09.2025).
- Web 21, (2025), <https://www.shapr3d.com/>, (Erişim Tarihi: 30.09.2025).
- Web 22, (2025), <https://www.autodesk.com/tr/products/fusion-360/overview>, (Erişim Tarihi: 30.09.2025).
- Web 23, (2025), <https://sketchup.com.tr/>, (Erişim Tarihi: 30.09.2025).
- Web 24, (2025), <https://extensions.sketchup.com/>, (Erişim Tarihi: 30.09.2025).
- Web 25, (2025), <https://www.archdaily.cl/cl/786121/c-plus-t-change-plus-timber-software-para-el-calculo-estructural-en-madera>, (Erişim Tarihi: 01.10.2025).
- Web 26, (2025), <https://eligemadera.com/descarga-change-timber/>, (Erişim Tarihi: 01.10.2025).
- Web 27, (2025), <https://www.autodesk.com/tr/products/autocad/features>, (Erişim Tarihi: 01.10.2025).
- Web 28, (2025), <https://www.sema-soft.com/en/solutions/timber-construction>, (Erişim Tarihi: 01.10.2025).
- Web 29, (2025), <https://archiframe.fi/en/>, (Erişim Tarihi: 05.10.2025).

Web 30, (2025), <https://www.graphisoft.com/partner-solutions/archiframe/>, (Erişim Tarihi:05.10.2025).

Web 31, (2025), <https://vertexcad.com/bd/> (Erişim Tarihi: 07.10.2025).

Web 32, (2025), <https://arkance.world/global/resources/read/blogs/agacad-integration-arkance-ecosystem>, (Erişim Tarihi: 07.10.2025).

Web 33, (2025), <https://arkance.world/global/products/be-smart/building/wood-framing>, (Erişim Tarihi: 07.10.2025).

Web 34, (2025), https://support.tekla.com/help/tekla-structures/usa_wood_frames, (Erişim Tarihi:09.10.2025).

Web 35, (2025), https://support.tekla.com/help/tekla-structures/not-version-specific/wall_wood_57_help, (Erişim Tarihi:09.10.2025).

Web 36, (2025), <https://strucsoftsolutions.com/fr/strucsoft-wood/>, (Erişim Tarihi:09.10.2025).

Web 37, (2025), <https://aecmag.com/digital-fabrication/gratec-acquires-strucsoft/>, (Erişim Tarihi: 09.10.2025).

Web 38, (2025), <https://www.autodesk.com/blogs/aec/2018/09/19/updates-to-revit-extensions-for-timber-and-rebar/?redirected=1>, (Erişim Tarihi: 09.10.2025).

Web 39, (2025), <https://www.autodesk.com/support/technical/article/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/Wood-framing-design-in-Revit.html>, (Erişim Tarihi: 09.10.2025).

Web 40, (2025), https://apps.autodesk.com/en/Detail/Index?id=8491603530514189145&appLang=en&os=Win32_64&mode=preview, (Erişim Tarihi: 09.10.2025).

Web 41, (2025), <https://offsitewood.org/>, (Erişim Tarihi: 09.10.2025).

Web 42, (2025), <https://offsitewood.org/content/workflow-template-for-automated-wood-framing-revit/>, (Erişim Tarihi:09.10.2025).

Web 43, (2025), [What Is the Difference Between CAD, CAE and CAM?](#), (Erişim Tarihi: 29.08.2025).

ÖZGEÇMİŞ

Şeyma Turan Avcı, 2022 yılında Gebze Teknik Üniversitesi'nden üniversite ikincisi olarak mezun olmuştur. Mimarlık lisans eğitimi boyunca kazandığı güçlü akademik birikimi ve disiplinli çalışma anlayışı, mezuniyet sonrası kariyerine yön vermesinde temel rol oynamıştır. Mezuniyetinin ardından modüler ahşap yapı alanında çalışmaya başlamış, daha sonra prefabrik yapı sektöründe deneyimlerini derinleştirerek sektöre katkı sağlamıştır. Gebze Teknik Üniversitesi'nde Mimarlık Yüksek Lisans eğitiminde tez çalışmasını dijital ahşap yapı teknolojileri üzerine hazırlamaktadır. Yüksek lisans tez sürecinde, çalışması Gebze Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) tarafından desteklenmiştir. Akademik ve mesleki deneyimleri, yenilikçi ve sürdürülebilir ahşap yapı çözümlerine olan ilgisini pekiştirmektedir.



TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR

Avcı, Ş. T., & Öztaş, S. K. (2025). Ahşap Teknolojilerinin Süreç ve Performans Kriterleri Bağlamında Değerlendirilmesi: Sürdürülebilir Tasarım ve Üretim Yaklaşımları. *Kent Akademisi*, 18(5), 2813-2830.



EKLER

Ek-A: Uluslararası Anket Soruları

1. What is your company type?

- ☐ Architectural Design Office
- ☐ Architectural Design and Implementation Office
- ☐ Construction Office
- ☐ Wood Manufacturer/Workshop
- ☐ Modular / Prefabricated Wood Construction Company
- ☐ Interior and Furniture Manufacturer

2. What is the average number of timber construction projects your company completes annually?

- ☐ 1–5
- ☐ 6–10
- ☐ 11–20
- ☐ 21–50
- ☐ 51 and more

3. Which structural system do you use most in timber construction systems?

- ☐ Traditional Timber Frame
- ☐ CLT (Cross Laminated Timber)
- ☐ Glulam
- ☐ SIP Panel
- ☐ Other: _____

4. In which country do you mainly operate?

[Open-ended answer]

.....

5. Which CAD/BIM software do you actively use in timber construction projects?

- ☐ Autodesk Revit
- ☐ ArchiCAD
- ☐ Rhino + Grasshopper
- ☐ Cadwork
- ☐ Agacad Wood Framing
- ☐ SketchUp
- ☐ Vertex VD

6. What are the greatest strengths of the digital tools you use in your design process?

- ☐Fast modeling
- ☐Flexible geometry generation
- ☐BIM compatibility
- ☐Easy data sharing with other disciplines
- ☐CNC or manufacturing integration

7. What modeling components does the software you use support? (You can select more than one)

- ☐Wall
- ☐Roof
- ☐Door and Window
- ☐Column
- ☐Floor
- ☐Special structural parts

8. What design purposes do you use these tools for most?

- ☐Concept design
- ☐Detailed modeling
- ☐Technical drawings
- ☐Material and cost calculation

9. What output features do you benefit from?

- ☐Cutting lists
- ☐Workshop drawings
- ☐CNC Codes
- ☐IFC compliance
- ☐2D drawing outputs

10. What is the biggest challenge you face when using digital tools on timber construction projects?

- ☐Modeling complex forms
- ☐Inadequate hardware
- ☐File incompatibilities
- ☐Lack of conflict control
- ☐Coordination problems within the team

11. How do you usually solve these problems?

- ☐Use of alternative software/plugins
- ☐In-house software/system development
- ☐Manufacturer technical support

- ☐ Manual solutions
- ☐ External consultancy

12. What is the major technical constraint limiting the design?

- ☐ Deficiencies in building systems such as CLT/LVL
- ☐ Slow feedback processes
- ☐ Difficulty in making changes to the model
- ☐ Lack of material simulation

(Likert scale: 1=Strongly Disagree, 5=Strongly Agree)

13. The digital tools we use are compatible with international standards (Eurocode 5, NDS, etc.).

- ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

14. Manual intervention is required to comply with these standards.

- ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

15. We frequently experience incompatibility during IFC data sharing.

- ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

16. Differences in format and standards create problems when sharing data with different countries.

- ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

17. The adaptation process to digital tools within the team was challenging.

- ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

18. 3D modeling of wooden building elements is easy with the BIM/CAD software we use.

- ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

19. BIM software has advantages over traditional CAD in timber construction projects.

- ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

20. The digital tools used provide sufficient support for sustainability certificates (LEED/BREEAM).

- ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

21. The technical support we receive from software companies is generally effective.

- ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

22. The most impactful digital advancement in the future will be AI-powered detailing.

- ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

Ek-B: Ulusal Anket Soruları

1. Mesleğiniz nedir?
 - ☐ Mimar
 - ☐ İnşaat Mühendisi
 - ☐ Endüstriyel Tasarımcı
 - ☐ Diğer:
2. Şirketinizin türü nedir?
 - ☐ Mimari Tasarım Ofisi
 - ☐ Mimari Tasarım ve Uygulama Ofisi
 - ☐ İnşaat Ofisi
 - ☐ Ahşap Üreticisi / Atölye
 - ☐ Modüler / Prefabrik Ahşap Yapı Şirketi
 - ☐ İç Mekân ve Mobilya Üreticisi
3. Şirketinizin yılda tamamladığı ortalama ahşap yapı projesi sayısı nedir?
 - ☐ Projem yok
 - ☐ 1-5
 - ☐ 6-10
 - ☐ 11-20
 - ☐ 21-50
 - ☐ 51 ve üzeri
4. Ahşap yapı sistemlerinde en çok hangi taşıyıcı sistemi kullanıyorsunuz?
 - ☐ Geleneksel Ahşap Çerçeve
 - ☐ CLT (Çapraz Lamine Ahşap)
 - ☐ Glulam
 - ☐ SIP Panel
 - ☐ Diğer: _____
5. Ağırlıklı olarak hangi şehirlerde faaliyet gösteriyorsunuz?
[Açık uçlu cevap]
6. Ahşapla ilgili hangi ölçekte projelerde görev aldınız?
 - ☐ Küçük ölçekli (mobilya, iç mekân vb.)
 - ☐ Orta ölçekli (pavyon, modül, geçici yapılar vb.)
 - ☐ Büyük ölçekli (konut, kamu yapıları vb.)
 - ☐ Henüz proje deneyimim yok
7. Aşağıdaki ahşap yapı tasarımı ve üretimi için geliştirilmiş BIM araçlarından hangilerini kullanıyorsunuz? (Birden fazla seçebilirsiniz.)
 - ☐ ArchiFrame
 - ☐ Vertex BD
 - ☐ AGACAD/ ARKANCE Be.Smart Wood Framing
 - ☐ WoodStud_Frame

- ☐ Metal Wood Framer
 - ☐ Offsite Wood
 - ☐ CADWork
 - ☐ Hiçbiri
8. Aşağıdaki ahşap tasarımı veya üretimi süreçlerinde kullanılan CAD araçlarından hangilerini kullanıyorsunuz? (Birden fazla seçebilirsiniz.)
- ☐ 3DExperience Solidworks
 - ☐ Shapr3D
 - ☐ Autodesk Fusion 360
 - ☐ SketchUp
 - ☐ C+T (Change+Timber)
 - ☐ AutoCAD
 - ☐ Hiçbiri
9. Tasarım sürecinizde kullandığınız dijital araçların en güçlü yönleri nelerdir?
- ☐ Hızlı modelleme
 - ☐ Esnek geometrik üretim
 - ☐ BIM uyumluluğu
 - ☐ Diğer disiplinlerle kolay veri paylaşımı
 - ☐ CNC veya üretim entegrasyonu
10. Kullandığınız yazılım hangi modelleme bileşenlerini destekliyor? (Birden fazla seçebilirsiniz.)
- ☐ Duvar
 - ☐ Çatı
 - ☐ Kapı ve Pencere
 - ☐ Kolon
 - ☐ Döşeme
 - ☐ Özel taşıyıcı parçalar
11. Bu araçları en çok hangi tasarım amaçları için kullanıyorsunuz?
- ☐ Konsept tasarımı
 - ☐ Detaylı modelleme
 - ☐ Teknik çizimler
 - ☐ Malzeme ve maliyet hesaplama
12. Hangi çıktı özelliklerinden faydalaniyorsunuz?
- ☐ Kesim listeleri
 - ☐ Atölye çizimleri
 - ☐ CNC kodları
 - ☐ IFC uyumluluğu
 - ☐ 2D çizim çıktıları

13. Ahşap yapı projelerinde dijital araçları kullanırken karşılaştığınız en büyük zorluk nedir?
- ☐ Karmaşık formların modellenmesi
 - ☐ Yetersiz donanım
 - ☐ Dosya uyumsuzlukları
 - ☐ Çakışma kontrolü eksikliği
 - ☐ Ekip içi koordinasyon problemleri
14. Bu problemleri genellikle nasıl çözüyorsunuz?
- ☐ Alternatif yazılım / eklenti kullanımı
 - ☐ Kurum içi yazılım / sistem geliştirme
 - ☐ Üretici teknik desteği
 - ☐ Manuel çözümler
 - ☐ Dış danışmanlık
15. Tasarımı sınırlayan başlıca teknik kısıtlama nedir?
- ☐ CLT/LVL gibi yapı sistemlerindeki eksiklikler
 - ☐ Yavaş geri bildirim süreçleri
 - ☐ Model üzerinde değişiklik yapma zorluğu
 - ☐ Malzeme simülasyonu eksikliği

(Likert ölçeği: 1=Kesinlikle Katılmıyorum, 5=Kesinlikle Katılıyorum)

16. Kullandığımız dijital araçlar uluslararası standartlarla (Eurocode 5, NDS, vb.) uyumludur.
- ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
17. Bu standartlara uyum sağlamak için manuel müdahale gereklidir.
- ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
18. IFC veri paylaşımı sırasında sık sık uyumsuzluk yaşanmaktadır.
- ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
19. Farklı ülkelere veri aktarımında biçim ve standart farkları sorun çıkarmaktadır.
- ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
20. Ekip içinde dijital araçlara uyum süreci zorlayıcı olmuştur.
- ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
21. Kullandığımız BIM/CAD yazılımlarıyla ahşap yapı elemanlarının 3B modellenmesi kolaydır.
- ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5
22. BIM yazılımları, ahşap yapı projelerinde geleneksel CAD'e göre avantaj sağlar.
- ☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

23. Kullanılan dijital araçlar sürdürülebilirlik sertifikaları (LEED/BREEAM) için yeterli desteği sağlamaktadır.

☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

24. Yazılım firmalarından aldığımız teknik destek genellikle etkilidir.

☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

25. Gelecekte en etkili dijital gelişme, yapay zekâ destekli detaylandırma olacaktır.

☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5



Ek-C: Uluslararası Anket için Etik Uygunluk Belgesi



T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
İnsan Araştırmaları Etik Kurulu



Sayı : E-43633178-199-201857
Konu : İnsan Araştırmaları Etik Kurulu Şeyma
TURAN AVCIQ

05.06.2025

Sayın Şeyma TURAN AVCI

İlgi : 26.05.2025 tarihli ve E-200404 sayılı yazınız

İlgi yazıya istinaden yapmış olduğunuz başvuru, Üniversitemiz İnsan Araştırmaları Etik Kurulu'nun 04.06.2025 tarih ve 2025/13-04 oturum sayılı toplantısında incelenmiş ve değerlendirilmiştir. "Ahşabın Mimari Tasarım ve Uygulanmasında Gelişen Teknolojiler Üzerine Bir Araştırma" konulu araştırma kapsamında kullanacağımız belgelerin etik açısından bir sakıncası olmamakla birlikte, tarafınıza iletilen bu yazıyı "Etik Uygunluk" belgesi niteliğinde değerlendirmenizi rica ederim.

Prof.Dr. Mahmut DURMUŞ
Başkan

Ek:İnsan Araştırmaları Etik Kurulu Kararı (1 Adet)

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Doğrulama Kodu: BSFBF3UZ04 Pin Kodu: 15752

Adres: GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ, İnsan Araştırmaları Etik Kurulu, 41400,
Gebze/KOCAELİ
Telefon: +90 262 605 (10 00) Faks: +90 262 653 84 90
Elektronik Adres: www.gtu.edu.tr

Belge Takip Adresi :

Bilgi için: Şeyma Gürel Dağkiran
Unvanı: Raportör

Ek-D: Ulusal Anket için Etik Uygunluk Belgesi



T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
İnsan Araştırmaları Etik Kurulu



Sayı : E-43633178-199-226095
Konu : İnsan Araştırmaları Etik Kurulu(Şeyma
TURAN AVCI)

19.11.2025

Sayın Şeyma TURAN AVCI

İlgi : 13.11.2025 ve E-225106 sayılı yazınız.

İlgi yazıya istinaden yapmış olduğunuz başvuru, Üniversitemiz İnsan Araştırmaları Etik Kurulu'nun 19.11.2025 tarih ve 2025/22-03 oturum sayılı toplantısında incelenmiş ve değerlendirilmiştir. "Ahşabın Mimari Tasarım ve Uygulanmasında Gelişen Teknolojiler Üzerine Bir Araştırma" konulu araştırma kapsamında kullanacağınız belgelerin etik açısından bir sakıncası olmamakla birlikte, tarafınıza iletilen bu yazıyı "Etik Uygunluk" belgesi niteliğinde değerlendirmenizi rica ederim.

Prof.Dr. Mahmut DURMUŞ
Başkan

Ek:İnsan Araştırmaları Etik Kurulu Kararı (1 Adet)

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Doğrulama Kodu: BSFBSCY8CB Pin Kodu: 76472

Adres: GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ, İnsan Araştırmaları Etik Kurulu, 41400,

Gebze/KOCAELİ

Telefon: +90 262 605 (10 00) Faks: +90 262 653 84 90

Elektronik Ağ: www.gtu.edu.tr

Belge Takip Adresi :

Bilgi için: Şeyma GÜREL DALKIRAN

Unvanı: Raportör

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Evrak sorgulaması <https://turkiye.gov.tr/ebd?eK=5466&eD=BSFBSCY8CB&eS=226095> adresinden yapılabilir.