

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**AHŞAP-CAM KOMPOZİT CEPHE MALZEMESİNİN ATMOSFERİK
KOŞULLAR ALTINDA PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Buse İLİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı

ŞUBAT 2025

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**AHŞAP-CAM KOMPOZİT CEPHE MALZEMESİNİN ATMOSFERİK
KOŞULLAR ALTINDA PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Buse İLİ
(502201503)**

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet Serkan YATAĞAN

ŞUBAT 2025

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**PERFORMANCE EVALUATION OF WOOD-GLASS COMPOSITE FACADE
MATERIAL UNDER ATMOSPHERIC CONDITIONS**

M.Sc. THESIS

**Buse İLİ
(502201503)**

Department of Architecture

Environmental Control and Construction Technologies Programme

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet Serkan YATAĞAN

FEBRUARY 2025

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 502201503 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Buse İLİ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "AHŞAP-CAM KOMPOZİT CEPHE MALZEMESİNİN ATMOSFERİK KOŞULLAR ALTINDA PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Mehmet Serkan YATAĞAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Leyla TANAÇAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Dilek EKŞİ AKBULUT
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **10 Ocak 2025**
Savunma Tarihi : **04 Şubat 2025**





Aileme,



ÖNSÖZ

Yüksek lisans süresince bana her zaman destek olan, bu tezin ortaya çıkmasındaki büyük katkıları için değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Mehmet Serkan YATAĞAN'a, laboratuvarında deneyleri gerçekleştirmemde bana yardımcı olan İTÜ Mimarlık Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarının değerli çalışanı tekniker İbrahim ÖZTÜRK'e, bu sürecin tamamlanmasına imkan sağlayıp her daim beni destekleyen değerli yöneticilerim Çağla ATMACA ve Onur ATMACA'ya, malzeme temin sürecinde ilgileri ve yardımları ile DOSTCAM Anonim Şirketi'nden Nevin DONAT ve Tamer DONAT'a, bu süreçte desteğini hiçbir zaman esirgemeyen dostum İpek KAPLAN'a, maddi ve manevi her türlü desteği sağlayan, her daim yanımda olan ve varlıklarına minnettar olduğum sevgili aileme ve son olarak, çalışırken farklı bir ilde okumanın getirdiği ek zorluklara rağmen vazgeçmediğim için kendime teşekkür ederim.

Şubat 2025

Buse İLİ
(Mimar)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı.....	2
1.2 Tezin Kapsamı	2
1.3 Tezin Yöntemi	2
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
2.1 Ahşap	3
2.1.1 Ahşabın yapısı ve genel özellikleri.....	3
2.1.1.1 Fiziksel özellikler	3
2.1.1.2 Kimyasal özellikler.....	8
2.1.1.3 Mekanik özellikler.....	8
2.1.2 Ahşap ve ahşap esaslı ürünler.....	12
2.1.2.1 Masif ahşap.....	12
2.1.2.2 Kontrplak.....	14
2.1.2.3 Orta yoğunluklu lif levha (MDF)	15
2.1.2.4 Yönledirilmiş yonga levha (OSB).....	15
2.1.2.5 Sunta	16
2.1.2.6 Yapıştırılmış lamine ahşap (Glulam).....	16
2.1.2.7 Çapraz lamine ahşap (CLT).....	17
2.1.2.8 Lamine kaplama ahşap (LVL).....	18
2.2 Cam.....	19
2.2.1 Camın yapısı ve genel özellikleri	19
2.2.2 Cam türleri.....	21
2.2.2.1 Float cam	21
2.2.2.2 Temperli cam.....	22
2.2.2.3 Lamine cam	23
2.2.2.4 Isı yalıtım camları.....	23
2.3 Ahşap ve Cam Birleşiminde Kullanılan Yapıştırıcılar	24
2.3.1 Yapıştırıcı türleri ve seçimi	24
2.3.1.1 Silikon yapıştırıcı.....	26
2.3.2 Ahşap-cam kompozit elemanlarda yapıştırma türleri.....	27
2.4 Ahşap-Cam Kompozit Elemanlar.....	29

3. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	35
3.1 Amaç	35
3.2 Kapsam	35
3.3 Yöntem.....	35
3.3.1 Denede kullanılan malzemeler	36
3.3.2 Kayma deneyi numunelerinin oluşturulması	38
3.3.3 Kayma deneyi	39
3.3.4 Çekme (pull-off) deneyi numunelerinin oluşturulması	40
3.3.5 Çekme (pull-off) deneyi	41
3.3.6 Dayanıklılık deneyleri	43
3.3.6.1 Islanma - kuruma	43
3.3.6.2 Donma - çözünme.....	43
3.3.6.3 UV ışığına karşı dayanım	44
3.3.6.4 Asitlere karşı dayanım	45
3.3.6.5 Yüksek sıcaklığa karşı dayanım	46
4. DENEY SONUÇLARI	47
4.1 Kayma Deneyleri Sonuçları.....	47
4.1.1 Laboratuvar koşulu	48
4.1.2 Islanma-kuruma koşulu	48
4.1.3 Donma-çözünme koşulu	49
4.1.4 UV ışığına maruziyet koşulu	49
4.1.5 Asite maruziyet koşulları	50
4.1.6 Yüksek sıcaklık koşulu	50
4.2 Kayma Deneyleri Sonrasında Numunelerde Görülen Kopma Türleri.....	51
4.2.1 Masif çam ile oluşturulmuş numuneler	51
4.2.2 Masif kayın ile oluşturulmuş numuneler	55
4.2.3 Masif meşe ile oluşturulmuş numuneler.....	58
4.2.4 Huş kontrplak ile oluşturulmuş numuneler.....	61
4.3 Pull-off Deneylerinin Sonuçları.....	61
4.3.1 Laboratuvar koşulu	63
4.3.2 Donma-çözünme koşulu	64
4.3.3 Islanma-kuruma koşulu	65
4.4 Pull-off Deneyleri Sonrasında Numunelerde Görülen Kopma Türleri.....	66
4.4.1 Masif çam ile oluşturulmuş numuneler	67
4.4.2 Masif kayın ile oluşturulmuş numuneler	67
4.4.3 Masif meşe ile oluşturulmuş numuneler.....	68
4.4.4 Huş kontrplak ile oluşturulmuş numuneler.....	68
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	69
KAYNAKLAR.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	75

KISALTMALAR

ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu
BN	: Bağıl Nem
CLT	: Çapraz Lamine Ahşap
LDN	: Lif Doygunluğu Noktası
LSL	: Lamine Yonga Ahşap
LVL	: Lamine Kaplama Ahşap
MDF	: Orta Yoğunluklu Lif Levha
OSB	: Yönlendirilmiş Yonga Levha
OSL	: Yönlendirilmiş Yonga Ahşap
PVB	: Polivinil Butiral
PUR	: Poliüretan
UV	: Ultraviyole



SEMBOLLER

A_s	: Yapışma mukavemeti
A	: Yapışma alanı
L	: Kopma anındaki yük
$a_{(0)}$: UV lambasına maruz kalmadan önceki kolorimetrik koordinatlar
$a_{(final)}$: UV lambasına maruziyet sonrası kolorimetrik koordinatlar
$R_{(final)}$: Renk değişiminin yüzdesi



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Soda-kireç-silikat camın kimyasal bileşimi.	19
Çizelge 2.2 : Soda-kireç-silikat camın mekanik özellikleri.....	20
Çizelge 2.3 : Soda-kireç camının çeşitli mekanik ve termal özelliklerinin başka malzemeler ile karşılaştırması.....	20
Çizelge 3.1 : Kayma deneyi için oluşturulan ahşap-cam kompozit numune adetleri.	40
Çizelge 3.2 : Pull-off deneyi için oluşturulan ahşap-cam kompozit numune adetleri.	42
Çizelge 4.1 : Dayanıklılık deneyleri öncesi ve sonrası ortalama kayma mukavemeti değerleri ve dayanıklılık deneyleri sonrası değişim oranları.	47
Çizelge 4.2 : UV etkisi sonrası spektrofotometrede ölçülen renk değişim yüzdeleri.	50
Çizelge 4.3 : Masif çam ile oluşturulmuş numunelerin dayanıklılık deneyleri öncesi ve sonrası mukavemet değerleri ile meydana gelen kopma şekilleri.	52
Çizelge 4.4 : Masif kayın ile oluşturulmuş numunelerin dayanıklılık deneyleri öncesi ve sonrası mukavemet değerleri ile meydana gelen kopma şekilleri.	55
Çizelge 4.5 : Masif meşe ile oluşturulmuş numunelerin dayanıklılık deneyleri öncesi ve sonrası mukavemet değerleri ile meydana gelen kopma şekilleri.	58
Çizelge 4.6 : Huş kontrplak ile oluşturulmuş numunelerin dayanıklılık deneyleri öncesi ve sonrası mukavemet değerleri ile meydana gelen kopma şekilleri.....	61
Çizelge 4.7 : Pull-off deneyleri sonucu numunelerin ortalama kayma mukavemeti değerleri.	62
Çizelge 4.8 : Masif çam numunelerinde gözlenen kopma şekilleri.	67
Çizelge 4.9 : Masif kayın numunelerinde gözlenen kopma şekilleri.....	67
Çizelge 4.10 : Masif meşe numunelerinde gözlenen kopma şekilleri.	68
Çizelge 4.11 : Huş kontrplak numunelerinde gözlenen kopma şekilleri.	68



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Ağaç gövde kesiti (Kermani, 1998).	4
Şekil 2.2 : Ahşabın mukavemet ve sertlik özellikleri ile nem içeriği arasındaki ilişki.	5
Şekil 2.3 : Bazı ahşap kusurları a.) Çatlak b.) Budak c.) Çalık kenar.	6
Şekil 2.4 : Kerestede budak örneği.	6
Şekil 2.5 : Ahşapta gerilme-deformasyon grafiği.	8
Şekil 2.6 : Kereste örnekleri a.) Yumuşak/ sert ağaç kerestesi b.) Kama dişli birleştirilmiş kereste (Kaufman ve diğ, 2018).	12
Şekil 2.7 : İğne yapraklı (çam) ve geniş yapraklı (meşe) ağaç odunlarının enine kesitlerinde incelenen bazı makroskobik özellikler (Akbulut, 2024).	13
Şekil 2.8 : Kontrplak örneği (Kaufman ve diğ, 2018).	14
Şekil 2.9 : Orta yoğunluklu lif levha örneği (Kaufman ve diğ, 2018).	15
Şekil 2.10 : Yönlendirilmiş yonga levha örneği (Kaufman ve diğ, 2018).	16
Şekil 2.11 : Sunta örneği (Kaufman ve diğ, 2018).	16
Şekil 2.12 : Glulam örnekleri (Kaufman ve diğ, 2018; Structural Timber Association, 2014).	17
Şekil 2.13 : Çapraz lamine ahşap örnekleri. (Url-1, Url-2).	18
Şekil 2.14 : Lamine kaplama ahşap örneği (Kaufman ve diğ, 2018).	18
Şekil 2.15 : Çelik ve camın gerilme altında mekanik davranışlarının karşılaştırılması.	21
Şekil 2.16 : İşlenmemiş ve termal olarak sertleştirilmiş camların kırılma modellerinin şematik gösterimi a.) Düz (Float) cam b.) Kısmi temperli cam c.) Temperli cam.	22
Şekil 2.17 : Standart cam türlerinin kırılma biçimleri (Mocibob, 2008).	23
Şekil 2.18 : Yapıştırma türleri (Cruz ve diğ, 2010).	27
Şekil 2.19 : Ahşap-cam kompozit cephe malzemesi üzerine yapılan deneysel çalışmalardan numuneler (Nicklisch ve diğ, 2014).	28
Şekil 2.20 : Ahşap-cam kompozit cephe sistemi örneği (Url-3).	28
Şekil 2.21 : BUWAL EPFL tarafından geliştirilen sistemin detayı (Weinand, 2005).	29
Şekil 2.22 : Ahşap-cam kompozit elemanların genel yapısı ve yük taşıma prensibi (Nicklisch ve diğ, 2016).	30
Şekil 2.23: Ahşap-cam kompozit kirişler için gerçekleştirilmiş deneyler (Drzecnik ve diğerleri, 2022).	31
Şekil 2.24 : Ahşap-cam kompozit duvar üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışma (Nicklisch ve diğ, 2015).	31
Şekil 2.25 : WoodWisdom-Net projesi kapsamında gerçekleştirilen çalışmadaki yapışma deneyi (Büyüktaşkın ve diğ, 2019).	32
Şekil 2.26 : Küçük ölçekli ahşap-cam numunelerinde çekme ve kayma deneyleri (Nicklisch ve diğ, 2016).	33

Şekil 3.1 : Dayanıklılık deneyleri öncesi ve sonrası uygulanan kayma ve pull-off deneyleri.....	36
Şekil 3.2 : Masif kayın ahşap numuneleri.....	37
Şekil 3.3 : Kayma deneyi numunelerinin boyutları.....	38
Şekil 3.4 : Kayma deneyi için oluşturulan ahşap-cam kompozit numuneler.....	38
Şekil 3.5 : Kayma deneyinde kullanılan Universal cihazı.....	39
Şekil 3.6 : Pull-off deneyi için hazırlanan numune ölçüleri.....	40
Şekil 3.7 : Pull-off başlıklarının yapıştırılması.....	40
Şekil 3.8 : Pull-off deneyi için hazırlanan numuneler şablonları ile ve şablon çıkarıldıktan sonra.....	41
Şekil 3.9 : Pull-off deneyi için oluşturulan düzenek.....	42
Şekil 3.10 : Donma-çözünme deneyi numuneleri.....	43
Şekil 3.11 : UV ışığına maruz kalan deney numuneleri.....	44
Şekil 3.12 : Renk değişimi tayini için kullanılan spektrofotometre cihazı.....	45
Şekil 3.13 : SO ₂ (solda) ve HCl konsantrasyonu (sağda) üzerine yerleştirilen numuneler.....	46
Şekil 4.1 : Kayma numunelerinin başlangıç mukavemetleri referans alınarak oluşturulmuş değer değişimleri.....	48
Şekil 4.2 : UV ışığına maruz bırakılan çam, meşe ve kayın numunelerindeki renk değişimleri.....	49
Şekil 4.3 : Ahşap-cam kompozitlerde meydana gelen kopma şekilleri. 1.) Silikon yapıştırıcı, 2.) Cam, 3.) Masif ahşap.....	51
Şekil 4.4 : Masif çam ile oluşturulmuş numunelerin laboratuvar koşulları kayma deneyi sonucu.....	52
Şekil 4.5 : Masif çam ile oluşturulmuş numunelerin ıslanma-kuruma sonrası kayma deneyi sonucu.....	52
Şekil 4.6 : Masif çam ile oluşturulmuş numunelerin donma-çözünme çevrimleri ardından yapılan kayma deneyi sonucu.....	53
Şekil 4.7 : Masif çam ile oluşturulmuş numunelerin HCl asite maruz bırakılmasının ardından yapılan kayma deneyi sonucu.....	53
Şekil 4.8 : Masif çam ile oluşturulmuş numunelerin SO ₂ asite maruz bırakılmasının ardından yapılan kayma deneyi sonucu.....	53
Şekil 4.9 : Masif çam ile oluşturulmuş numunelerin UV ışığa maruziyetinin ardından yapılan kayma deneyi sonucu.....	54
Şekil 4.10 : Masif çam ile oluşturulmuş numunelerin yüksek sıcaklığa maruziyetinin ardından yapılan kayma deneyi sonucu.....	54
Şekil 4.11 : Masif kayın ile oluşturulmuş numunelerin laboratuvar koşulları kayma deneyi sonucu.....	55
Şekil 4.12 : Masif kayın ile oluşturulmuş numunelerin ıslanma-kuruma sonrası kayma deneyi sonucu.....	56
Şekil 4.13 : Masif kayın ile oluşturulmuş numunelerin donma-çözünme çevrimleri ardından yapılan kayma deneyi sonucu.....	56
Şekil 4.14 : Masif kayın ile oluşturulmuş numunelerin HCl asite maruz bırakılmasının ardından yapılan kayma deneyi sonucu.....	56
Şekil 4.15 : Masif kayın ile oluşturulmuş numunelerin SO ₂ asite maruz bırakılmasının ardından yapılan kayma deneyi sonucu.....	57
Şekil 4.16 : Masif kayın ile oluşturulmuş numunelerin UV ışığa maruziyetinin ardından yapılan kayma deneyi sonucu.....	57
Şekil 4.17 : Masif kayın ile oluşturulmuş numunelerin yüksek sıcaklığa maruziyetinin ardından yapılan kayma deneyi sonucu.....	57

Şekil 4.18 : Masif meşe ile oluşturulmuş numunelerin laboratuvar koşulları kayma deneyi sonucu.....	58
Şekil 4.19 : Masif meşe ile oluşturulmuş numunelerin ıslanma-kuruma sonrası kayma deneyi sonucu.	59
Şekil 4.20 : Masif meşe ile oluşturulmuş numunelerin donma-çözünme çevrimleri ardından yapılan kayma deneyi sonucu.	59
Şekil 4.21 : Masif meşe ile oluşturulmuş numunelerin HCl asite maruz bırakılmasının ardından yapılan kayma deneyi sonucu.	59
Şekil 4.22 : Masif meşe ile oluşturulmuş numunelerin SO ₂ asite maruz bırakılmasının ardından yapılan kayma deneyi sonucu.	60
Şekil 4.23 : Masif meşe ile oluşturulmuş numunelerin UV ışığa maruziyetinin ardından yapılan kayma deneyi sonucu.	60
Şekil 4.24 : Masif meşe ile oluşturulmuş numunelerin yüksek sıcaklığa maruziyetinin ardından yapılan kayma deneyi sonucu.	60
Şekil 4.25 : Pull-off numunelerinin ıslanma-kuruma ve donma çözünme deneyleri sonrası başlangıç mukavemetleri referans alınarak oluşturulmuş değer değişimleri.....	62
Şekil 4.26 : Laboratuvar koşullarındaki a.) çam b.) kayın c.) meşe numunelerinin pull-off deneyi sonuçları.	63
Şekil 4.27 : Donma-çözünme deneyleri sonrası a.) çam b.) kayın c.) meşe numunelerinin pull-off deneyi sonuçları.	64
Şekil 4.28 : Islanma-kuruma deneyleri sonrası a.) çam b.) kayın c.) meşe numunelerinin pull-off deneyi sonuçları.	65
Şekil 4.29 : A.) Yapıştırıcının kendi içerisinde kopma B.) Ahşap ile yapıştırıcı arasında kopma	66
Şekil 4.30 : C.) Ahşap içerisinde kopma. D.) Ahşap ile pull-off başlığı arasında kopma.....	66
Şekil 4.31 : E.) Cam içerisinde kopma F.) Yapıştırıcı ile cam arasında kopma.....	66



AHŞAP-CAM KOMPOZİT CEPHE MALZEMESİNİN ATMOSFERİK KOŞULLAR ALTINDA PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Ahşap doğal, dayanıklı, kolay işlenebilen, estetik ve sürdürülebilir bir malzeme olması nedeniyle geçmişten günümüze yapı malzemesi olarak sıklıkla tercih edilmiştir. Cam ise saydamlığıyla günümüz mimarisinde tasarımlara yön veren bir malzemedir. Cam yüzeyler gün ışığını geçirerek binalarda yaşayan insanların sağlığı üzerinde olumlu etki yaratmaktadır. Görsel etkileşim, estetik görünüm, doğal aydınlatma gibi pek çok nedenle cephede kullanılan cam yüzeyler artırılmaktadır. Sürdürülebilir malzemeler kullanılarak hızlı ve düşük enerji sarfiyatı ile üretilen kompozit malzemelerin kullanımına yönelik çalışmalarda, ahşabın cam ile birleşiminden elde edilen kompozit malzemelerden optimum performansın elde edilmesine yönelik araştırmalar son zamanlarda önem kazanmıştır. Bu kapsamda gerçekleştirilmiş olan çalışmalarda, yük taşıyan ahşap-cam kompozit malzemenin potansiyeli, bağ özellikleri araştırılmakta ve kompozitin yük taşıma davranışı incelenmektedir.

Malzemelerin kullanım süresi boyunca işlevlerini yerine getirmeleri beklenir. İklim koşullarına maruz kalan cephe malzemelerinde zaman içerisinde performans azalması gözlemlenebilir. Ahşap-cam kompozit cephe malzemelerinin yük taşıma kapasitesini etkileyen en önemli parametre ahşap çerçeve ile cam panel arasındaki bağlantı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle çevresel etkenlerin ahşap-cam kompozit cephe malzemesinin bağlantı performansı üzerindeki etkisini dikkate almak önemlidir.

Bu tez çalışmasında farklı masif ahşap türleri ile oluşturulmuş ahşap-cam kompozit cephe malzemelerinin mukavemetlerini incelemek ve hızlandırılmış yaşlanma etkisi altındaki performanslarını gözlemlemek amaçlanmıştır. Bu kapsamda orta-sert ve sert ağaç türleri kullanılarak küçük ölçekli numuneler üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde çam, kayın ve meşe olmak üzere üç farklı masif ahşap, silikon esaslı yapıştırıcı ve temperli cam kullanılmıştır.

Ahşap-cam kompozit numunelerin hızlandırılmış yaşlandırma etkisi öncesi ve sonrası mekanik mukavemetleri kayma ve çekme (pull-off) deneyleri ile ölçülmüştür. Hızlandırılmış yaşlandırma deneyleri; donma-çözünme, ıslanma-kuruma, yüksek sıcaklığa maruz kalma, asitlere ve UV ışınlarına karşı dayanım deneylerini içermektedir. Deneyler, İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Malzeme Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen veriler, WoodWisdom-Net Programı kapsamında yapılmış araştırma projesinde huş kontrplak kullanılarak gerçekleştirilmiş olan deney sonuçları ile karşılaştırılarak analiz edilmiştir.

Kayma deneyi sonuçları, ahşap-cam kompozit cephe malzemesinde masif meşe ahşap kullanımının huş kontrplağa kıyasla daha iyi performans sergilediğini göstermiştir. Ayrıca kullanılan masif ahşap türünün de yapışma mukavemeti üzerinde etkisi olduğunu ortaya koymaktadır.



PERFORMANCE EVALUATION OF WOOD-GLASS COMPOSITE FACADE MATERIAL UNDER ATMOSPHERIC CONDITIONS

SUMMARY

Wood has been frequently preferred as a building material from past to present since it is a natural, durable, easily processable, aesthetic and sustainable material. Wood as a structural material has several advantages over other building materials such as steel and reinforced concrete. For example, its high strength-to-weight ratio makes it particularly advantageous for structures that require both durability and lightness. Wood is a natural material that can decompose over time. When it reaches the end of its life cycle, unlike many synthetic materials that can remain in the environment for much longer, it can break down into non-toxic components. Its production also has a lower carbon footprint compared to steel or concrete, making it more environmentally friendly. Additionally, the thermal expansion of wood is quite small compared to steel or concrete and also the thermal conductivity coefficient of wood is low. This can reduce energy needs for heating and cooling in buildings, making them more energy-efficient. Wood is a combustible material but large sections of wood burn relatively slowly and uniformly due to the char layer that forms on the surface. Therefore, it takes time for wood to lose its load-bearing capacity. In addition to these positive properties of wood, it is susceptible to natural deterioration such as rot, fungus and insect damage in moist environments. Since wood is a natural material, it has properties such as water absorption, shrinkage and swelling depending on humidity and temperature differences. For this reason, the behavior of wood under environmental conditions should be carefully examined.

On the other hand, glass is a material that shapes designs in today's architecture with its transparency. Modern architecture increasingly requires facade designs that allow the interior to visually integrate with the outdoor environment. This has increased the importance of glass as a material. Thanks to its transparency, glass not only enables visual interaction between indoor and outdoor spaces but also helps daylight penetrate the interior as a facade material. Glass surfaces allow daylight to pass through, creating a positive impact on the health of people living in buildings. The widespread use of glass in various fields has led to the development of its properties. One of these is glass that is heated at high temperatures and then rapidly cooled to become durable. When these glasses break, they shatter into small pieces, reducing the risk of injury. In this context, tempered and laminated glass are usually used, especially in architecture.

Although glass has many advantages as a building material, it also has negative properties. Since glass does not exhibit plastic behavior, it breaks when critical stress is exceeded. Its brittleness and, most importantly, sudden fracture are characteristics that must always be considered when using glass as a building material, and it is important to compensate for this by taking appropriate structural precautions.

The timber-glass composite element consists of three main structural components: a glass panel, a wooden frame, and a load-bearing adhesive that holds these two pieces

together. Timber-glass composites aim to leverage the most advantageous properties of wood and glass while minimizing their weaknesses. Among the advantageous properties, glass offers transparency, rigidity, and durability, while wood demonstrates ductility under compression. By combining these materials with suitable structural adhesives, the primary disadvantage of glass, its brittleness, can be mitigated.

The use of adhesives provides many advantages such as reducing the fragility of materials by avoiding drilling and ensuring ductility within the system integrity. Also, adhesive bonding can distribute the applied load over the entire bonded area, resulting in a more uniform stress distribution with little or no damage to the adherends. Another advantage is that adhesive bonded joints provide higher bonding strength at a lower cost compared to alternative methods like mechanical connectors.

Structural silicone is commonly used to bond glass panels to supporting frames and other glass pieces. Inherently, silicones have lower adhesion strength compared to other structural adhesives like epoxies. However, this property provides an advantage in many applications. This is one of the reasons why silicone is preferred, especially in combinations where fragile materials such as glass are used. Despite their lower strength, silicones exhibit much more consistent behavior under the effects of moisture and temperature. Additionally, it is noted that the long-term effects of silicones are well understood, especially since they are used in structural silicone facades.

Although wood-glass composite elements have been known for a while, traditional solutions used on facades assume that the glass does not contribute to the overall load-bearing behavior, but merely transfers wind loads to the structural elements and therefore functions as an infill element. On the contrary, load-bearing timber-glass composite elements contribute to the structural integrity of the building by carrying load and providing stabilization. Therefore, studies investigating the potential of timber-glass composite elements on facades have gained importance recently.

Materials are expected to perform their functions throughout their lifespan. The building envelope faces a variety of environmental factors such as temperature, humidity, UV light, water and corrosive atmospheric conditions. A decrease in performance may be observed over time in facade materials exposed to climatic conditions.

The most important parameter affecting the load-bearing capacity of wood-glass composite facade materials is the connection between the wooden frame and the glass panel. Therefore, it is important to consider the impact of environmental factors on wood-glass composite facade materials and the connection performance.

In this study, it was aimed to examine the strength of wood-glass composite facade materials using different types of solid wood and to observe their performance under the effect of atmospheric conditions. In this context, experiments were carried out on small-scale specimens using medium-hard and hardwood species. Three different solid woods; pine, beech and oak, silicone-based adhesive and tempered glass were used in the experiments.

The testing procedure is divided into three stages. First, the shear and tensile adhesion tests were performed to determine the initial value of the mechanical strength of timber-glass composite specimens at laboratory condition. Then five different aging scenarios; wetting-drying, freezing-thawing, resistance to acids, UV effects and resistance to high temperature were performed to examine the strength of timber-glass composite facade materials under the effect of atmospheric conditions. Afterwards, the

shear and tensile adhesion tests were performed again and the results were compared to initial strength in order to determine the effect of environmental conditions on the composite material. The experiments were carried out at Istanbul Technical University, Faculty of Architecture.

The data obtained from this study were analyzed by comparing them with the experimental results carried out using birch plywood in the research project within the scope of the WoodWisdom-Net Program. According to the results of the experimental study, shear specimens made of solid oak exhibited the highest durability against atmospheric conditions, while specimens made of solid pine were the most affected by these conditions. On the other hand, specimens made from solid pine have a higher load-bearing capacity under laboratory conditions. It also reveals that the type of solid wood has an effect on adhesion and shear strength as well as durability. In conclusion, it reveals that the use of solid oak wood in wood-glass composite facade material generally shows better performance in terms of resistance to atmospheric conditions.





1. GİRİŞ

Yaşamın birçok alanında kullanılan ağaç malzeme, insanlığın mekan oluşturmaya başladığı günlerden bu yana yapı malzemesi olarak da kullanılagelmiştir (Avlar, 2000). Ahşabın doğal, kolay işlenebilir, estetik, sürdürülebilir ve hafif olmasına karşın yüksek direnç özelliklerine sahip olması yapı malzemesi olarak tercih edilmesini sağlamıştır. Cam ise şeffaflığı sayesinde iç ve dış mekan arasında görsel etkileşimi sağlamanın yanı sıra bir cephe malzemesi olarak gün ışığının iç mekana nüfuz etmesine yardımcı olur. Cam yüzeyler gün ışığını geçirerek binalarda yaşayan insanların sağlığı üzerinde de olumlu etki yaratmaktadır. Görsel etkileşim, estetik görünüm, doğal aydınlatma gibi pek çok nedenle cephede kullanılan cam yüzeyler artırılmaktadır. Günümüzde, iç mekanın görsel olarak dış ortamla bütünleşmesine daha fazla imkan tanıyan cephe tasarımlarına olan talep artmaktadır. Bu da camın bir malzeme olarak öneminin artmasına neden olmuştur. Sürdürülebilir malzemeler kullanılarak hızlı ve düşük enerji sarfıyatı ile üretilen kompozit malzemelerin kullanımına yönelik çalışmalarda, ahşabın cam ile birleşiminden elde edilen kompozit malzemelerden, optimum performansın elde edilmesine yönelik araştırmalar son zamanlarda önem kazanmıştır. Bu kapsamda gerçekleştirilmiş olan çalışmalarda, yük taşıyan ahşap-cam kompozit malzemenin potansiyeli, birleşim özellikleri araştırılmakta ve kompozitin yük taşıma davranışı incelenmektedir (Nicklisch ve diğ., 2016; Premrov ve diğ., 2019).

Malzemelerin kullanım süreleri boyunca işlevlerini yerine getirmeleri beklenir. İklim koşullarına maruz kalan cephe malzemelerinde zaman içerisinde performans azalması gözlemlenebilir. Ahşap-cam kompozit cephe malzemelerinin yük taşıma kapasitesini etkileyen en önemli parametre ahşap çerçeve ile cam panel arasındaki bağlantı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle çevresel etkenlerin ahşap-cam kompozit cephe malzemesi ve bağlantı performansı üzerindeki etkisini dikkate almak önemlidir (Nicklisch ve diğ., 2016).

1.1 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında, farklı masif ahşap türleri ile oluşturulmuş ahşap-cam kompozit cephe malzemelerinin, atmosferik koşullar altındaki mukavemetlerini incelemek ve performanslarını gözlemlemek amaçlanmıştır.

1.2 Tezin Kapsamı

Gerçekleştirilen deneylerde; çam, kayın ve meşe olmak üzere orta-sert ve sert ağaç türleri kullanılmıştır. Farklı türde masif ahşaplardan oluşan ahşap-cam kompozit cephe malzemesinin atmosferik koşullar altındaki performansını incelemek amacıyla çalışma kapsamında tek bir yapıştırıcı türü kullanılmıştır. Deneyler, İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Malzeme Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarından elde edilen veriler, WoodWisdom-Net Programı kapsamında huş kontrplak kullanılarak gerçekleştirilmiş olan deney sonuçları ile karşılaştırılarak analiz edilmiştir.

1.3 Tezin Yöntemi

Ahşap-cam kompozit malzemenin, atmosferik koşullar altındaki performanslarını incelemek amacıyla hızlandırılmış yaşlandırma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ahşap-cam kompozit numunelerin hızlandırılmış yaşlandırma etkisi öncesi ve sonrası mekanik mukavemetleri, kayma ve çekme (pull-off) deneyleri ile ölçülmüştür. İlk olarak numunelerin mekanik mukavemetlerinin başlangıç değerini belirlemek amacıyla, ortam koşullarında (23°C, %50 BN) kayma ve pull-off deneyleri yapılmıştır. Daha sonra; ıslanma-kuruma, donma-çözünme, asitlere karşı dayanım, UV ışığı etkilerine ve yüksek sıcaklığa karşı dayanım olmak üzere beş farklı yaşlandırma senaryosu ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerin ardından, kayma ve pull-off deneyleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar başlangıç mukavemetiyle karşılaştırılmıştır. Çam, kayın ve meşe ağaç türleri ile oluşturulmuş ahşap-cam kompozit numunelerinden elde edilen deney sonuçları, WoodWisdom-Net Programı kapsamında huş kontrplak kullanılarak gerçekleştirilmiş deney sonuçları ile karşılaştırılarak analiz edilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde ahşap-cam kompozit malzeme ve bu malzemeyi oluşturan ahşap, cam ve yapıştırıcı ile ilgili genel bir bilgi vermek amaçlanmıştır.

2.1 Ahşap

Ahşap, ağaçtan elde edilen insanlığın en eski ve en temel yapı malzemelerinden biridir. Yaklaşık olarak 40.000 ağaç türü mevcut olmakla birlikte bunlardan 600 adedi ticari olarak kullanılmaktadır (Deplazes, 2005). Doğal bir malzeme olan ahşap malzemeyi mühendislik uygulamalarında en iyi şekilde kullanmak için öncelikle özelliklerini bilmek gereklidir. İlk kısımda ahşabın yapısı ve genel özellikleri açıklanmıştır.

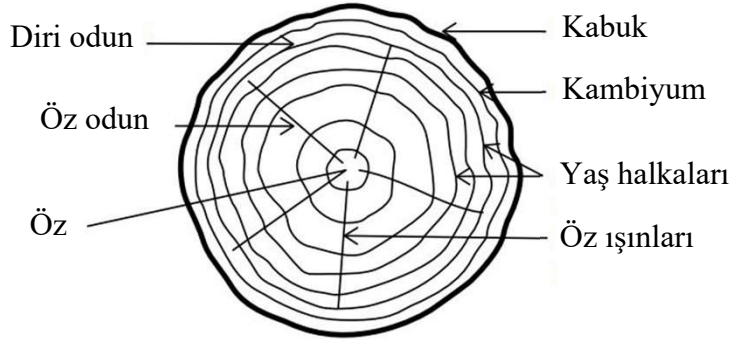
2.1.1 Ahşabın yapısı ve genel özellikleri

2.1.1.1 Fiziksel özellikler

Gövdenin tam ortasında, etrafında odun hücrelerinin büyüdüğü, gövdenin en eski kısmı olan öz yer alır (Şekil 2.1). Genellikle kuru olan öz, su ve besin sağlanmasına katkıda bulunmaz. Özün etrafında bulunan büyüme halkalarının yapısı, ilgili iklim bölgelerine karşılık gelen değişen büyüme aşamalarına bağlıdır. Ilıman iklim bölgelerinde büyüme, genellikle nisan ayında başlayıp eylül ayında sona erer. İlkbaharda, daha az yoğun olan ve yoğun fotosentezi desteklemek için verimli su taşınmasına izin veren ilkbahar odunu oluşur. Bu dönemi daha yavaş bir büyüme takip ederek daha yoğun ve küçük hücrelere sahip, üretimi kışın duran yaz odunu oluşur. İlkbahar ve yaz odunu oranları ahşabın sertliğinin belirlenmesinde etkilidir (Deplazes, 2005).

Yoğunluk

Yoğunluk, ahşabın birim hacmindeki ağırlık, başka bir ifadeyle birim hacimdeki hücre çeper maddesi miktarı olarak tanımlanmaktadır (Akbulut, 2024). Ahşabın temel fiziksel özellikleri yoğunluğuna bağlıdır. Yoğunluk ahşabın dayanıklılığını belirleyen



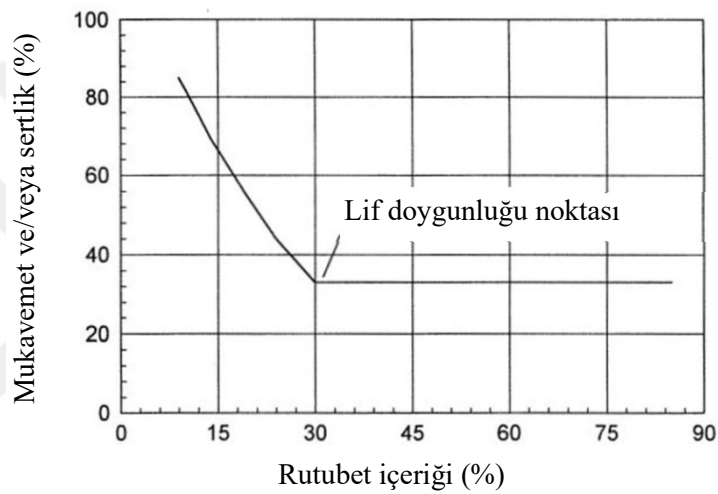
Şekil 2.1 : Ağaç gövde kesiti (Kermani, 1998).

önemli bir faktördür. Ahşabın yoğunluğu genel olarak 320 ila 720 kg/m³ arasındadır (Bangash, 2009). Kullanım alanlarına göre yüksek ya da düşük yoğunluklu ağaç türlerinin tercih edilmesinin nedeni yoğunluğun; ahşabın mekanik direnç değerleri, nem karşısındaki çalışma durumu, işlenme özellikleri, yüzey işlemlerinin kalitesi, ısı iletkenliği gibi özellikleri üzerinde etkili olmasıdır. Ahşabın yoğunluğu arttıkça; mekanik direncinin, sertliğinin ve aşınma direncinin, rutubet karşısındaki çalışmasının, ısı iletkenliğinin artması beklenir. Bununla birlikte, yoğunluğu yüksek olan ağaç türleri düşük yoğunluklu olanlara göre daha iyi işlenmekte ve düzgün yüzeyler vermektedir (Akbulut, 2024).

Nem içeriği

Higroskopik yapısı nedeniyle ahşabın nem içeriği, çevredeki havanın nem seviyesine bağlı olarak değişiklik gösterir. Yeni kesilmiş kerestenin nem içeriği “taze hal” olarak adlandırılmaktadır. Ahşabın taze haldeki nem içeriği; ağacın türüne, yetişme ortamına, öz ve diri odun oranına, odun yoğunluğuna ve ülkemiz gibi ılıman iklim kuşaklarında kesim zamanına göre %30 ile %200 arasında değişkenlik göstermektedir (Glass ve Zelinka, 2010). Şekil 2.2, ahşabın mukavemet ve sertlik özellikleri ile nem içeriği arasındaki genel ilişkiyi göstermektedir. Kuruma sonucu ahşabın rutubeti lif doygunluğu noktasının altına indiğinde boyutları küçülmeye başlamakta ve bu durum tam kuru hale ulaşmaya kadar devam etmektedir. Nem yaklaşık %30'a (lif doyuma noktasına) yükseldikçe, mukavemet ve sertlikte neredeyse doğrusal bir azalma görülmektedir. Bunun başlıca iki nedeni vardır. Bunlardan biri rutubet alma ya da vermeye bağlı olarak birim alandaki çeper maddesi miktarının değişmesidir. Bir diğeri ise ahşap miselleri arasına su molekülleri girmesiyle kohezif kuvvetlerde azalma, çıkmasıyla da artma meydana gelmesidir. Bu değerden sonra ahşap miselleri arasına artık su girememektedir. Bu sebeple nem içeriğindeki daha fazla artışın mukavemet

veya sertlik üzerinde bir etkisi olmamaktadır (Akbulut, 2024). Yüksek nem içeriğinin, mukavemeti azaltması ve boyutsal kararlılığı etkilemesi sebebiyle, inşaat işlerinde kullanılan kerestenin genellikle kuru olması gerekmektedir. Birçok mekanik özellik için, nem içeriğindeki orana göre mukavemet ve sertlik özelliklerindeki değişim modeli benzer olmakla birlikte, değişimin büyüklüğü her bir özellik için farklılık göstermektedir (Kermani, 1998). Ayrıca yüksek nem içeriğine sahip ahşabın böceklerin ve mantarların saldırısına uğrama riski artmaktadır. Genel olarak kullanım öncesi, ahşabın hizmet sırasında ulaşması beklenen nem içeriğine mümkün olduğu kadar yakın bir değere kadar kurutulması gerekmektedir (Deplazes, 2005).



Şekil 2.2 : Ahşabın mukavemet ve sertlik özellikleri ile nem içeriği arasındaki ilişki.

Ahşabın kurutulması, içindeki suyun büyük kısmının kurumasını sağlayacak şekilde açık havada yeterli bir süre bekletilmesi ya da fırında yapay olarak kurutulması ile gerçekleştirilir. Hava kurusu, ağaç malzemenin açık havada doğal olarak kurutulmasıyla elde edilen kuruluk derecesini ifade etmektedir. Bu kuruluk derecesi çeşitli faktörelere göre değişmekle birlikte %10-20 arasında olmaktadır. Türkiye iklim koşullarında yaz aylarında bu değer %10'a kadar düşmektedir (Kantay, 1986).

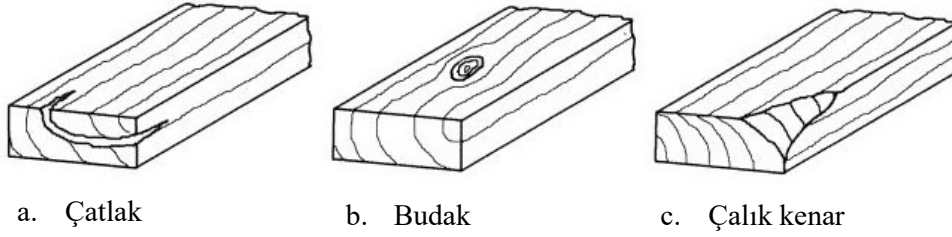
Ahşapta çürümeye neden olan etkenlerden biri ahşabın nem içeriğidir. Ahşapta çürümenin gerçekleşebilmesi için çürümeye sebep olan mantarların gıdaya, neme (yaklaşık olarak %20'den büyük), havaya ve uygun sıcaklığa sahip olması gerekir. Bu gereksinimlerden herhangi biri mevcut değilse çürüme meydana gelmez. Bu sebeple sürekli kuru veya sürekli ıslak işlenmemiş ahşap çürümemektedir. Bununla birlikte hava koşullarına maruz kalma çürümenin gelişmesi için gerekli koşulları oluşturabilir (Breyer ve diğ., 2020).

Isıl iletkenlik

Ahşap, ince gözenekli yapısı nedeniyle nispeten iyi bir yalıtım malzemesidir. Ahşabın yoğunluğu ve ekstraktif madde içeriği arttıkça ısı iletkenliği de artmaktadır. Benzer şekilde, nem içeriğindeki artış da ısı iletkenlik katsayısının yükselmesine neden olmaktadır. Ahşabın ısı iletkenliği yumuşak ağaç için 0,13 W/mK ve sert ağaç için 0,20 W/mK civarındadır. Isıl iletkenlik, kil tuğlalar için 0,44 W/mK ve beton için 1,80 W/mK değerlerindedir. Bununla birlikte, çelikle karşılaştırıldığında ahşabın ısı iletkenliği oldukça küçüktür (Deplazes, 2005).

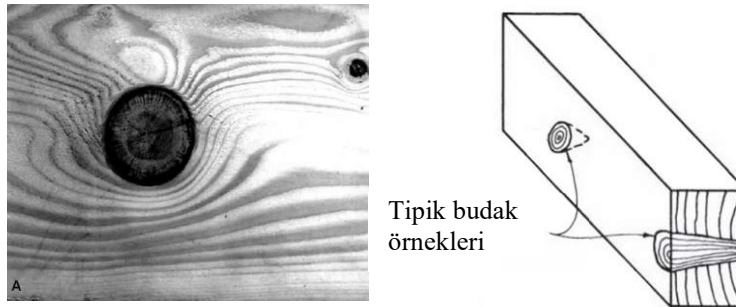
Dayanıklılık

Ahşapta mevcut olan budaklar, kılcal yüzey çatlakları ve yarıklar ahşabın yapısal özelliklerini etkiler (Şekil 2.3). Kılcal çatlak ve yarıklar ağacın kesilmesi ya da kurutulması sırasında meydana gelen kusurlardır. Genellikle yumuşak ağaçlarda meydana gelen çatlaklar; yıllık halka çatlağı, öz çatlağı, don ve basınç çatlağı gibi farklı türlerde olabilmektedir.



Şekil 2.3 : Bazı ahşap kusurları a). Çatlak b.) Budak c.) Çalık kenar.

Budaklar, dalın gövde içindeki oluşumdur (Şekil 2.4). Budaklar nedeniyle lif yönleri bozulur ve ahşabın mekanik dayanımı azalır. Budakların mekanik özellikler üzerindeki etkisi yalnızca miktarına ve boyutuna değil aynı zamanda kereste parçasının uzunluğuna ve kesiti boyunca dağılımına da bağlı olduğundan etkisini ölçmek zordur. (Breyer ve diğ, 2007).



Şekil 2.4 : Kerestede budak örneği.

Elektrik iletkenliği

Normal şartlarda kuru ahşap yalıtkan olarak değeriendirilmektedir. Fakat nem miktarının artması ahşabı iletken hale getirmektedir. Bu sebeple ahşapta elektrik iletkenliği, büyük oranda içerdiiği nem miktarına bağlı olmaktadır. Tam kuru halden lif doygunluğu noktasına kadar ahşabın elektrik iletkenliği 10^9 - 10^{12} kat yükselmektedir. (Akbulut, 2024).

Yangın direnci

Yanııcı bir malzeme olan ahşap, yeterli ısıya maruz kaldığında tutuşur. Ahşap yüksek sıcaklıklara ulaştığında, içeriindeki farklı kimyasal bileşenler termal bozulmaya uğradığından ahşabın performansını etkilenir. Bu etkilenme ahşabın türü, nem içeriği, sıcaklık seviyesi ve sıcaklığa maruz kalma süresi gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Ahşap yanııcı bir malzeme olmasına rağmen büyük kesitli ahşaplar, yüzeyinde oluşan kömür tabakası nedeniyle dıştan içe doğru nispeten yavaş ve eşit bir şekilde yanar. Dolayısıyla yük taşıma kapasitesini kaybetmesi zaman alır. Bu yüzden bina yönetmelikleri ağır ahşap çerçevelerin yangın güvenliği açısından kabaca çeliğe eşdeğer olduğunu kabul etmektedir (Allen ve Iano, 2019). Lif doğrultusu boyunca yanma hızı yumuşak ağaç için yaklaşık 0,6-0,8 mm/dak, meşe için ise yaklaşık 0,4 mm/dak'dır. Ayrıca yangındaki davranış hacim ve yüzey alanı ilişkisine de bağlıdır. Aynı hacimdeki ahşapta yüzey alanı ne kadar büyük olursa yangına dayanıklılık o kadar düşük olur (Steiger, 2020). Bünyesinde reçine bulunan ahşap daha çabuk yandığından reçineli ağaç türlerinden elde edilen ahşap elemalar, yangına karşı gerekli önlemler alındığı takdirde yapıda kullanılabilir (Günay, 2002). Ahşapta yangın geciktirici işlemler, ahşabın yanıcılığını azaltan kimyasal tuzlarla ahşabın basınçla emprenye edilmesiyle gerçekleştirilir. Ateşe dayanıklı olarak işlenmiş ahşap pahalı olmakla birlikte bu tür işlemlerin bazıları metallere karşı da hafif aşındırıcı etkiye neden olabilmektedir (Allen ve Iano, 2019).

Kimyasallara karşı direnç

Kimyasal çözeltilerin mekanik özellikler üzerindeki etkisi, kimyasalın özgün türüne bağlıdır. Çelik veya betonun aksine ahşap, geniş bir pH değeri aralığına karşı dayanıklılık göstermektedir (Deplazes, 2005). Su, alkol veya ahşabı şişiren diğer organik sıvılar ahşabın yapısını kimyasal olarak bozmasa da özelliklerini düşürmektedir.

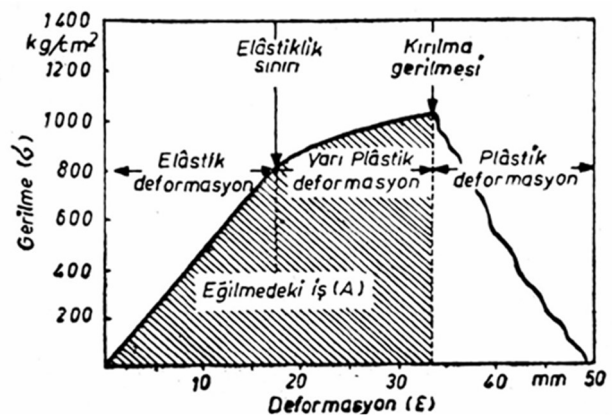
2.1.1.2 Kimyasal özellikler

Ahşap, hücresel bir organik malzemedir ve temel olarak hücreleri oluşturan selüloz ile hücreleri birbirine bağlayan ligninden oluşur. Ahşapta %50-60 oranları arasında bulunan selüloz, ahşaba eğilme özelliği ve çekme dayanımı kazandırır. Lignin ise ahşaba basınç direnci kazandırır ve hücre zarı ile ağacı kuvvetlendirme özelliğine sahiptir. Lignin, ağaç türlerine göre oranı değişmekle birlikte ahşabın yaklaşık olarak %25'ini oluşturur. Hemiselülöz oranı ise yaklaşık olarak %10-20 arasındadır (Erkoç, 2004). Bu maddeler dışında ağacın yapısında reçine, yağ, albumin, mum, tanen ve bazı boyalı maddeler de bulunmaktadır (Bozkurt ve Erdin, 1997).

2.1.1.3 Mekanik özellikler

Ahşap, heterojen ve anizotrop yapıda bir malzeme olması sebebiyle mekanik özellikleri diğer yapı malzemelerinden farklılık gösterir. Ahşap malzemenin bir yapı malzemesi olarak diğer malzemelere göre en önemli avantajı hafif olmasına karşın yüksek direnç ve elastikiyet özelliklerine sahip olmasıdır. Ahşabın mukavemetinde; ahşabın türü, birim ağırlığı, damar yapısı, budakları, sıcaklık ve nem derecesi gibi faktörler etkili olmaktadır. Bununla birlikte ahşaba uygulanan gerilimin süresine ve yükün hareket yönüne göre de mukavemet değerleri değişkenlik göstermektedir (Allen ve Iano, 2019).

Ahşap, başlangıç yüklemelerinde elastik, uygulanan yük miktarı arttıkça viskoelastik ve plastik davranış göstermektedir. Yüklemeyle ilgili olarak ahşapta deformasyon oluşmaktadır. Bu deformasyon miktarı yükün artması ile artış göstermekte ve bir noktada kırılma meydana gelmektedir. Yüke bağlı oluşan deformasyonların grafik gösterimi ile gerilme-deformasyon grafiği (stress-strain) elde edilmektedir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 : Ahşapta gerilme-deformasyon grafiği.

Basınç direnci

Birbirine ters yönlerde etki eden ve ağaç malzemeyi sıkıştırmaya, ezmeye çalışan kuvvetlere karşı gösterilen maksimum gerilme basınç direnci olarak tanımlanmaktadır. Sert ahşap türlerinin basınç direnci, yumuşak ahşap türlerine göre daha fazladır. Ahşap malzeme liflere paralel yönde uygulanan basınç direnci, liflere dik yönde uygulanan basınç direncine göre oldukça yüksektir. Uygulanan kuvvetin yönelimi fark etmeksizin, ahşap basınçta çekmeden daha güçlüdür (Allen ve Iano, 2019).

Çekme direnci

Ahşaba ters yönlerde etki eden ve ahşap liflerini koparmaya, ayırmaya çalışan kuvvetlere karşı ahşabın gösterdiği dirençtir. Ahşap malzemenin yoğunluğu arttıkça çekme direnci de artmaktadır. Yoğunluk; en çok çekme direncini sonra sırasıyla eğilme, kayma ve basınç direncini etkilemektedir (Örs ve Keskin, 2001).

Eğilme direnci

Bir veya iki yönden mesnet üzerine tespit edilen ahşabın, liflere dik yönde etki eden ve malzemeyi eğmeye çalışan kuvvetlere karşı gösterdiği dirençtir. Eğilme direnci, ahşap elemanın biçimine ve kesit ölçülerinin büyüklüğüne bağlı olarak değişmektedir. Eleman boyu ve açıklık arttıkça eğilme direnci azalmaktadır.

Kesme direnci

Ahşap malzemenin iki bitişik kesitini bir düzlem üzerinde birbirinden ters yönde ayırmaya çalışan kuvvetlere karşı, ahşabın gösterdiği dirençtir. Yoğunluğu yüksek olan ahşabın kesme direnci de artmaktadır. Kesme kuvvetinin uygulanma yönü ile ahşabın lif yönü arasındaki açının 0° ila 90° arasında artmasıyla kesme direnci azalmaktadır (Örs ve Keskin, 2001).

Ahşaptaki bozulmalar

Ahşaptaki bozulmalar biyolojik, fiziksel ve kimyasal faktörlere bağlı olarak gerçekleşmektedir. Su ve nem, çeşitli organizmalar (böcek ve mantar gibi), kimyasal maddeler ve yangın gibi etmenler ahşapta bozulmaya neden olur. Ahşabı bu tür etkilere karşı korumak amacıyla çeşitli işlemler uygulanmaktadır. Bu işlemlerden hangisinin kullanılacağı; ahşabın türüne, kullanım alanına ve maruz kalacağı risklere bağlı olarak değişebilir.

Canlı organizmalar ahşapta; renklenme, çürüme, delik, enfeksiyon ve küf gibi oluşumlara sebebiyet vermektedir. Küf ve leke mantarları ahşabın mekanik özelliklerinin birçoğunu ciddi şekilde etkilememektedir. Bunun nedeni bu tür mantarların yapısal duvarın kendisi yerine hücre boşluğu içindeki veya hücre duvarına bağlı maddelerle beslenmesidir. Düşük düzeydeki biyolojik leke, mukavemette çok az kayba neden olsa da; ağır lekelenmeler, özgül ağırlığı %1 ila %2, yüzey sertliğini %2 ila %10, bükülme ve ezilme mukavemetini %1 ila %5 oranında azaltabilmektedir. Küf ve lekelerin genellikle dayanıklılık üzerinde büyük bir etkisi olmasa da, bu organizmaları destekleyen koşullar aynı zamanda ahşabı çürüten mantarların gelişimini de teşvik eder. Küf ve leke mantarlarından farklı olarak ahşabı çürüten mantarlar, ahşaba mukavemetini veren selülozü metabolize ederek mukavemeti ciddi şekilde azaltabilir. Ahşap kuru tutulursa (%20 nem içeriğinin altında) çürümenin başlaması veya ilerlemesi önlenemez (Forest Products Laboratory, 2011). Ahşap biyolojik zararlılara karşı emprenye edilerek korunabilir.

Ahşapta bozunmaya yol açan başka bir etken ise UV ışınlarıdır. UV ışınlarının ilk etkileri odunun renginde ortaya çıkmaktadır. Işınlardan etkisiyle odun, daha açık ya da daha koyu tonlarda bir değişikliğe uğramakta; gri, kırmızımsı ya da kahverengi renklere dönüşebilmektedir. Odun ve UV ışını arasındaki reaksiyon esas olarak, ışık tarafından odunda oluşturulan serbest radikallerin, yüzeyde renklenme ve bozunmalar meydana getirdiği yüzeysel bir reaksiyondur. Lignin, odun komponentleri arasında en güçlü UV absorbe edicisi olduğundan ışık tarafından öncelikli olarak hızlı bir şekilde ayrıştırılmaktadır. Hücre çeperindeki ligninin kolay oksidasyona uğrayabilir özelliğe olması ve UV absorpsiyonundaki payının, karbonhidratlarda % 5-20, ekstraktif maddelerde % 2 olmasına karşın, ligninde % 80-95 olması sebebiyle lignin öncelikle ayrıştırılmaktadır. Böylece odunun UV ışını absorbe etme özelliği lignin miktarı ile doğru orantılı olarak artmaktadır (Kartal, 1992).

Tüm bu özellikleri ile ağaç malzemenin yapı malzemesi olarak tercih edilme nedenleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Ahşap, düşük yoğunluğuna rağmen yüksek dayanıklılığa sahiptir. Bu, aynı dayanıklılığa sahip beton, çelik gibi malzemelere göre daha hafif olduğu anlamına gelmektedir.

- Ahşabın ısı iletkenliği ve ısıl genişmesi düşüktür. Bu özellik, enerji tasarrufuna ve aynı zamanda ahşabın yangına karşı dayanıklı olmasına katkı sağlar.
- Ahşabın ses iletkenliği, liflerine dik yönde nispeten düşük, paralel yönde ise yüksektir. Ses absorpsiyon kapasitesi oldukça iyidir ve ağırlığına kıyasla yüksek ses izolasyonu sağlar. Bu özellikleri sayesinde, yapıda yankı, gürültü geçişi gibi olumsuz durumlar açısından etkili bir ses yalıtımı sağlar.
- Elektriği, özellikle kuru haldeyken kötü iletir.
- Kimyasal maddelere karşı dayanıklıdır.
- Ahşap, kolay işlenebilir ve çivi, vida gibi bağlantı elemanlarıyla iyi bir tutunma sağlar. Aynı zamanda tutkallanabilir ve rahatlıkla birleştirilebilir. Bu sayede tasarımcılara büyük bir esneklik ve özgürlük sağlar.
- Temini kolaydır.

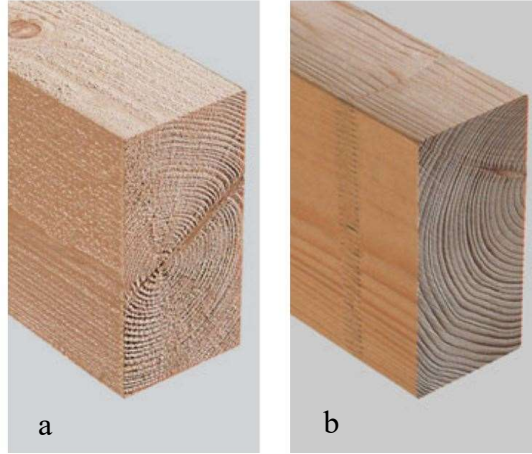
Yukarıda ifade edilen özelliklerinin yanısıra ahşap, çevre dostu ve sürdürülebilir olması nedeniyle son derece önemli bir yapı malzemesidir. İnşaat sektöründe sürdürülebilirlik açısından ahşabın tercih edilme nedenleri aşağıda belirtildiği gibi sıralanabilir (Görgün, 2013):

- Orman gibi yenilenebilir bir kaynaktan elde edilmesi ve bu sürecin büyük ölçekli işlemler ile yüksek enerji tüketimi olmadan gerçekleştirilmesi,
- Diğer yapı malzemeleri ile karşılaştırıldığında hafifliği, işlenmesi ve taşınması açısından daha az enerji tüketimi gerektirmesi,
- Ahşabın işleme, inşa ve montaj aşamalarında çevreye zarar veren atıkların oluşmaması,
- Üretilmiş ve kullanım halindeki ahşabın atmosfere zararlı gazlar bırakmaması,
- Yalıtım özelliği sayesinde, yakıt tasarrufu sağlayarak enerji verimliliğine katkıda bulunması,
- Atıklarının geri dönüştürülebilir, yeniden kullanılabilir olması ve doğaya zarar vermemesi.

2.1.2 Ahşap ve ahşap esaslı ürünler

2.1.2.1 Masif ahşap

Masif ahşap (kereste veya biçilmiş yapacak odun), “tomruk veya odunun boylamasına biçilmesi, yarılması, makina kullanılarak kesilmesi veya yongalanması sonucu elde edilen belirli ebatlardaki kısımları” (TS EN 844, 2019) olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 : Kereste örnekleri a.) Yumuşak/ sert ağaç kerestesi b.) Kama dişli birleştirilmiş kereste (Kaufman ve diğ, 2018).

Keresteler, ağaç türüne göre (TS 51, 2012) veya ağaç türü grubuna göre (İğne yapraklı (Yumuşak), Yapraklı (Sert) ve Tropik (Egzotik, yine yapraklı ağaç olsa da)) tanımlanmaktadır (Akbulut, 2024). Sert ağaçlar ve yumuşak ağaçlar farklı anatomilere sahiptir (Şekil 2.7). Bu bölümde yumuşak ve sert ağaç özelliklerine özet olarak değinilecektir.

Yumuşak ağaçlar

Yumuşak ağaçlar iğne benzeri yaprakları olup genellikle yaprak dökmeyen ağaçlardır. Yumuşak ağaçlar, esas olarak büyük uzunlamasına hücrelerden (traheidler) ve küçük bir oranda da radyal hücrelerden (ışınlar) oluşan nispeten basit bir mikro yapıya sahiptir. Traheidler ağaç içinde özsuyun uzun mesafelere taşınmasını sağlar ve ağacın yapısal gücünün çoğunu oluşturan kısımdır. Işınlar ise besinlerin depolanmasını ve radyal transferini sağlar (Allen ve Iano 2019).

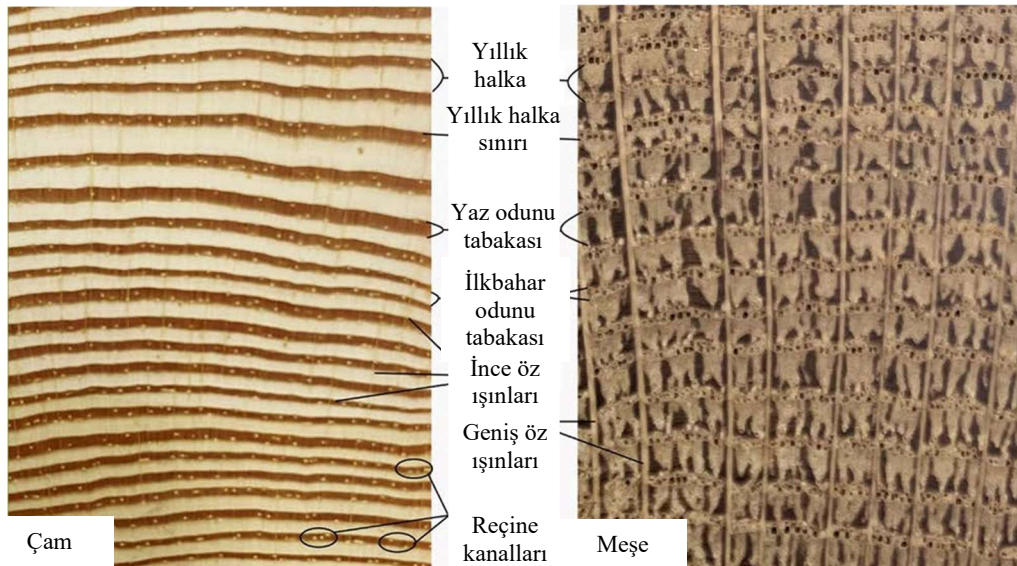
Yumuşak ağaçların özellikleri

- Hızlı büyüme oranına sahip olan yumuşak ağaçlar yaklaşık 30 yıl sonra kesilebilir. Bu yüzden nispeten düşük mukavemetli ve düşük yoğunluklu kereste elde edilir.
- Koruyucu maddelerle işlem görmediği sürece genellikle zayıf dayanıklılık özelliklerine sahiptirler.
- Kolayca temin edilebilirler ve nispeten ucuzdurlar (Kermani, 1998).

Kökner, sarıçam, karaçam, sedir ve ladin yumuşak ağaçlara örnek olarak verilebilir (Forest Products Laboratory, 2011). Bununla birlikte yumuşak ağaç olarak sınıflandırılan bu ağaçlardan bazıları (sarıçam, karaçam gibi) diğer iğne yapraklı türlere göre (kökner, ladin gibi) orta derecede bir sertliğe sahiptir.

Sert ağaçlar

Sert ağaçlar genellikle her büyüme mevsimi sonunda yapraklarını döken geniş yapraklı ağaçlardır. Sert ağaçlar, daha büyük ışın yüzdesi ve iki farklı boylamsal hücre türüyle yapı olarak daha karmaşıktırlar (Allen ve Iano 2019). Her yıl yeni yapraklar oluşturmaları gerektiği için özsuynuna olan ihtiyaç yüksektir. Belirli bir büyüme periyodu olmadığında gözenekler daha eşit bir şekilde yayılır ve bu da dağınık gözenekli ahşapların oluşmasına neden olmaktadır.



Şekil 2.7 : İğne yapraklı (çam) ve geniş yapraklı (meşe) ağaç odunlarının enine kesitlerinde incelenen bazı makroskobik özellikler (Akbulut, 2024).

Sert ağaçların özellikleri

- Sert ağaçlar yumuşak ağaçlara göre daha yavaş büyür. Bu genellelikle, olgunlaşması zaman alan, bazı durumlarda 100 yıldan bile fazla süren, yüksek yoğunluklu ve dayanıklı bir kereste elde edilmesini sağlar.
- Dayanıklılık açısından koruyucu maddelere olan gereksinimleri yumuşak ağaçlara göre daha azdır.
- Sert ağaçların olgunlaşması için geçen süre ve nakliye masrafları nedeniyle, çoğu tropikal olduğundan, yumuşak ağaçlarla karşılaştırıldığında pahalı olma eğilimindedirler (Kermani, 1998).

Kayın, meşe, kestane, ceviz, huş, kiraz, gürgen ve dişbudak ağaçları sert ağaçlara örnek gösterilebilir (Forest Products Laboratory, 2011).

2.1.2.2 Kontrplak

Kontrplak, en az üç ince ahşap tabakanın birbirine dik açı yapacak şekilde üst üste yapıştırılmasıyla oluşturulur (Şekil 2.8). Kontrplaklar, iğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaçlardan üretilebileceği gibi ikisinin birlikte kullanılmasıyla da üretilebilir. Farklı yapıştırıcılar kullanılarak çeşitli kullanım ortamlarına uygun ürünler yapılabilmektedir (Akbulut, 2024). Tabakaların birbirine dik açıyla gelecek şekilde çaprazlanması panelin dayanıklılığını artırır. En çok üretilen kontrplak kalınlıkları 3-30 mm arasında olup, genellikle 125 x 250 cm veya 170 x 220 cm boyutlarında üretilmektedirler. Katmanların sayısı, kalınlığı, türü ve kalitesi ile yapıştırıcı türü gibi kontrplak bileşimindeki birçok değişken kontrplağın özelliklerini ve performansını etkilemektedir (Faherty ve Williamson, 1998). Yapı endüstrisinde kontrplak; döşeme altı, merdiven basamakları, raf sistemleri, duvar /zemin kaplama ve çatı gibi alanlarda kullanılmaktadır.

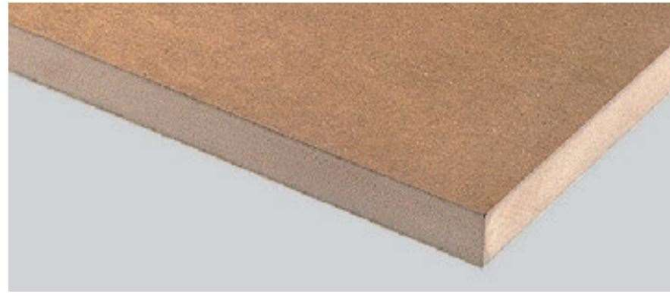


Şekil 2.8 : Kontrplak örneği (Kaufman ve diğ, 2018).

2.1.2.3 Orta yoğunluklu lif levha (MDF)

MDF, orta yoğunlukta bir lif levha olup odun veya diğer lignoselülozik hammaddelerden elde edilen liflerin belirli bir rutubet derecesine kadar kurutulduktan sonra bir yapıştırıcı ile tutkallanarak sıcaklık ve basınç altında preslenmesiyle oluşan bir malzemedir (Göker ve diğ, 2002). MDF levhaların yoğunluğu 0.50-0.80 gr/cm³ arasında değişmekle birlikte, genellikle 0.70- 0.80 gr/cm³ arasında olmaktadır. (Akbulut, 1999). Türkiye’de MDF üretiminde yaygın olarak iki farklı levha ölçüsü kullanılmakta olup, bunlar 2100 mm x 2800 mm ve 1830 mm x 3660 mm’dir. Levha kalınlıkları ise 3-40 mm aralıklarında değişkenlik göstermektedir (Şekil 2.9).

Malzemenin kesilmesi, delinmesi ve işlenmesi kolaydır. Özellikle mobilya endüstrisinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Düzgün bir yüzeye sahip olması nedeniyle boyama ve ahşap kaplama işlerinde alt katman olarak ve döşemeler, tavanlar, bina iç bölmeleri gibi alanlarda kullanılmaktadır (Deplazes, 2005).



Şekil 2.9 : Orta yoğunluklu lif levha örneği (Kaufman ve diğ, 2018).

2.1.2.4 Yönlendirilmiş yonga levha (OSB)

Yönlendirilmiş yonga levha, özel hazırlanmış yongaların uygun bir tutkalla karıştırılıp istenilen istikamette yönlendirilmesiyle elde edilen taslağın sıcaklık ve basınç altında preslenmesiyle üretilen levha şeklindeki malzemedir (Şekil 2.10). Yongalar genellikle 150mm uzunluk, 25mm genişlik ve 0.6mm kalınlıktadır. OSB levhalarda ana eksen eğilme direncinin daha yüksek olduğu levha yüzeyindeki yöndür (Akbulut ve diğ, 2002). OSB levhalar, 6 mm- 40 mm kalınlıklar arasında üretilmektedir. Levha boyutları ise farklılıklar göstermekle birlikte piyasaya genellikle 244 x 122 cm olarak sunulmaktadır. OSB üretiminde kavak ve çam gibi hızlı büyüyen ve özgül ağırlığı düşük ağaç türleri kullanılmaktadır. Küçük ağaçlardan ve hatta dallardan da üretilbildiğinden genel olarak kontrplağa göre daha ekonomiktir (Allen ve Iano, 2019). OSB levhalar esas itibarıyla yapısal kullanım amacıyla üretilmektedir. Döşeme,

çatı kaplama, tavan kaplama ve duvar bölmesi, I kiriş, kutu kiriş, palet, ambalaj sandıkları, izolasyon malzemeleri gibi yerlerde kullanılmaktadır (Akbulut, 2024).



Şekil 2.10 : Yönlendirilmiş yonga levha örneği (Kaufman ve diğ, 2018).

2.1.2.5 Sunta

Ormancılık ve ağaç işleme endüstrilerinden kaynaklanan artıklar, sunta üretiminin hammaddesini oluşturmaktadır. Ahşap parçacıkları, organik bağlayıcılarla karıştırılır ve yüksek sıcaklıkta preslenerek sunta oluşturulur (Şekil 2.11). Suntalar genellikle orta derecede bir dayanım sergiler. Nem direnci tabakalı ahşap ürünlere göre daha düşüktür. Yüksek nem yüküne sahip uygulamalarda özel çimentolu suntalar kullanılabilir (Deplazes, 2005).

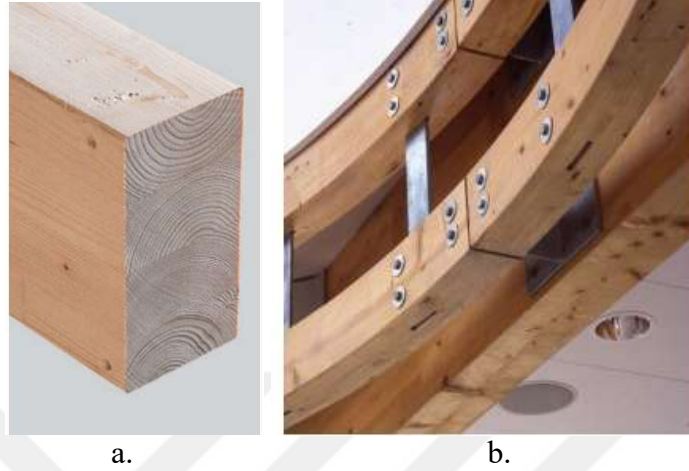


Şekil 2.11 : Sunta örneği (Kaufman ve diğ, 2018).

2.1.2.6 Yapıştırılmış lamine ahşap (Glulam)

TS EN 14080 (2013) standardına göre glulam; kalınlığı 6 mm'den 45 mm'ye kadar olan, bir veya yan yana iki ahşap parçadan oluşan en az iki tabakanın birbirleriyle paralel olacak şekilde yapıştırılarak biraraya getirilmesiyle üretilen yapısal ahşap kompozit malzeme olarak tanımlanmaktadır. Yapıştırılmış lamine ahşapta; karaçam, sarıçam, göknar ve ladin gibi ağaç cinsleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Akbulut, 2024). Yapıştırılmış lamine ahşap, düz veya kavisli olarak üretilmektedir (Şekil 2.12). Düz veya hafif kavisli elemanları lamine etmek için yaklaşık 33 mm ile en fazla

50 mm kalınlığındaki ahşap keresteler kullanılırken, kavisli parçaları lamine etmek için çok ince keresteler (12 veya 19 mm, yaklaşık 33 mm'ye kadar) kullanılmaktadır. Yapıştırılmış lamine ahşap elemanlar ile konik kirişler, kolonlar ve kemerler üretilebilmektedir (Porteous ve Kermani, 2013).



Şekil 2.12 : Glulam örnekleri (Kaufman ve diğ., 2018; Structural Timber Association, 2014).

2.1.2.7 Çapraz lamine ahşap (CLT)

En az 3 tane yapıştırılmış masif ahşap malzeme veya strüktürel kompozit kereste (LVL, LSL, OSL) tabakalarının tutkalanıp birbirlerine çapraz olacak şekilde üst üste preslenmesi yoluyla elde edilir. CLT panellerin üretiminde belli yoğunluğa sahip ahşap türlerinin kullanımı ve belirli koşulları sağlayabilen tutkalların kullanılması gerekmektedir. Bu tutkalların dış ortam koşullarına, suya ve ısıya karşı dayanıklı olması önemlidir (Akbulut, 2024). Paneller 1,2 m ila 3,5 m genişlikte, genellikle zemin panelleri için 2,4 m ve duvar panelleri için ise 2,95 m genişliğinde üretilir. Uzunluk 22 m'ye kadar olabilir ancak taşıma kolaylığı sağlamak için genellikle 13 m civarında olmaktadır (Şekil 2.13). CLT paneller, sağlamlıkları ve hafiflikleri nedeniyle çok katlı ahşap çerçeveli binaların yapımında tercih edilmektedir (Emmitt, 2023).



Şekil 2.13 : Çapraz lamine ahşap örnekleri. (Url-1, Url-2).

2.1.2.8 Lamine kaplama ahşap (LVL)

TS EN 14279+A1 (2010) standardına göre lamine kaplama ahşap; lif yönleri aynı yönde olan ahşap kaplama levhalarından elde edilen kompozit bir ürün olarak tanımlanmaktadır. LVL, en az 5 kattan oluşmalı ve kaplama kalınlıkları 6 mm'yi geçmemelidir (EN 14374, 2016). Lamine kaplama ahşap (LVL), genellikle ince yumuşak ağaç kaplamaların, kesitin uzunlamasına eksenine paralel olacak şekilde ısı ve basınç altında bir araya getirilmesiyle üretilen yapısal bir elemandır (Şekil 2.14). Bazı durumlarda, boyutsal stabiliteyi artırmak için lif yönleri çapraz olarak da birleştirilir. LVL genellikle yüksek eğilme ve eksenel yüklere ayrı ayrı veya her ikisinin kombinasyonuna direnç gösterilmesi gereken uygulamalarda kullanılır. Hem panel hem de kiriş/kolon elemanları olarak kullanılabilir (Structural Timber Association, 2014).



Şekil 2.14 : Lamine kaplama ahşap örneği (Kaufman ve diğ, 2018).

2.2 Cam

Modern mimari, iç mekanın görsel olarak dış ortamlarla bütünleşmesine giderek daha fazla imkan tanıyan cephe tasarımlarını gerektirmektedir. Bu da camın bir malzeme olarak öneminin artmasına neden olmuştur. Cam, şeffaflığı sayesinde iç ve dış mekan arasında görsel etkileşimi sağlamanın yanı sıra bir cephe malzemesi olarak gün ışığının iç mekana nüfuz etmesine de yardımcı olur. Enerji verimliliği, güvenlik, akustik, rüzgar ve deprem yükü gibi birçok performans kriteri, geniş ve çeşitli ürün seçeneklerinin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Bu bölümde, cam malzemesinin özellikleri ve mimaride kullanılan camlarla ilgili genel bilgi vermek amaçlanmıştır.

2.2.1 Camın yapısı ve genel özellikleri

Cam; inorganik esaslı, amorf bünyeli, sabit erime noktası olmayan, çok yüksek sıcaklıklarda akıcılık kazanan, soğuyunca katılaşır durgunlaşan, sıvı maddelerin özelliklerini gösteren, ayrıca normal sıcaklıklarda kristalleşme göstermeden hızla katılaşır katı maddelerin mekanik özelliklerini de taşıyabilen bir silikat sistemdir (Toydemir, 1990). Cam izotropiktir, yani özellikleri yön veya oryantasyona bağlı değildir (Wurm, 2007).

İnşaat sektöründe kullanılan camın neredeyse yüzde 75'i, yeryüzünde büyük oranda saf kuvars kumu halinde bulunan silikon dioksitten (silika) oluşmaktadır ve bu yüzden genel olarak silikat cam olarak adlandırılmaktadır. Silis, camın ergime sıcaklığını düşürerek üretim sürecini basitleştiren sodyum oksit (soda) ile birleştirilir ve kimyasal direnci arttırmak için stabilizatör olarak kalsiyum oksit (kireç) eklenir. Camın optik özelliklerini etkilemek için düşük oranlarda başka katkı maddeleri eklenebilir (Wurm, 2007). Çizelge 2.1, soda kireç silikat camın kimyasal bileşimini göstermektedir.

Çizelge 2.1 : Soda-kireç-silikat camın (TS EN 572-1+A1 göre) kimyasal bileşimi.

Silikon dioksit (Silika kumu)	SiO ₂	%69-74
Kalsiyum oksit (Kireç)	CaO	%5-14
Sodyum oksit (Soda)	Na ₂ O	%10-6
Magnezyum oksit	MgO	%0-6
Alüminyum oksit	Al ₂ O ₃	%0-3
Diğer		%0-5

Soda-kireç-silikat binalarda kullanılan ana cam türüdür, borosilikat cam ise çok daha küçük ölçüde üretilmekte ve yangına dayanıklı camlama için kullanılmaktadır. Bir bileşenin yüzeyinde kırılmadan dayanabileceği maksimum sıcaklık farkı, genellikle termal şok direnci olarak adlandırılır. Temperlenmemiş soda-kireç camı için bu değer yaklaşık 40 Kelvin'dir. Borosilikat camın termal şok direnci, düşük termal genişleme katsayısı nedeniyle bu değer iki katından fazladır (Wurm, 2007).

Toydemir (1990) bütün kırılğan malzemeler gibi cam malzemenin de basınç ve çekme mukavemetleri arasında büyük farkların olduğunu ve bu farkın neredeyse 20 kata kadar çıktığını belirtmektedir. Soda-kireç-silikat camın mekanik özelliklerine Çizelge 2.2'de yer verilmiştir.

Çizelge 2.2 : Soda-kireç-silikat camın mekanik özellikleri (TS EN 572-1+A1; Toydemir, 1990).

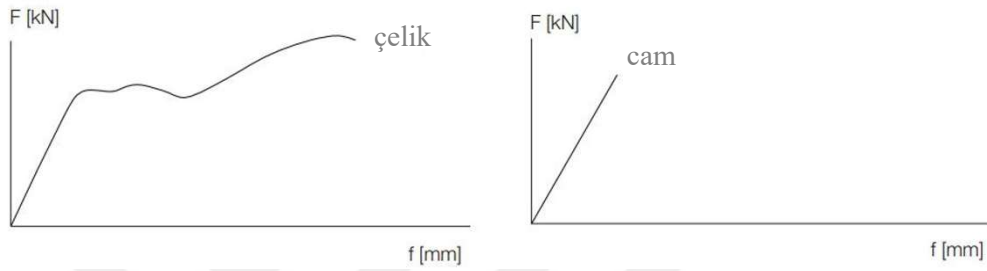
Yoğunluk	2500 kg/m ³
Sertlik (Knoop)	6 GPa
Young Modülü	70000 MPa
Kayma Modülü	28000 MPa
Poisson Oranı	0,23
Isıl Genleşme Katsayısı	9x10 ⁻⁶ K ⁻¹
Çekme Dayanımı	40-70 MPa
Basınç Dayanımı	1000 MPa

Camın elastiklik modülü 7000 kN/cm²'dir. Bu değer, çeliğin üçte biri kadar iken, sert ağacın yaklaşık beş katıdır. Soda-kireç camının, bazı mekanik ve termal özelliklerinin başka malzemeler ile karşılaştırılmasına Çizelge 2.3'te yer verilmiştir.

Çizelge 2.3 : Soda-kireç camının çeşitli mekanik ve termal özelliklerinin başka malzemeler ile karşılaştırması (Wiederhorn ve Clarke, 2022).

Malzeme	Elastisite Modülü (GPa)	Poisson Oranı	Yoğunluk (kg/m³)	Isıl Genleşme (ppm)	Isıl İletkenlik (W/mK)
Soda-kireç camı	72	0.23	2,745	9	1.0
Alüminyum	70	0.33	2,700	25	130
PVB	0.0069	~0.5	1,100	22	0.2
Çelik	210	0.30	7,900	12	50
Tuğla ^a	15–30	0.25	2,100	5–8	0.45
Beton ^b	15–30	0.2	2,100	12–14	0.8
Ahşap	8–20	-	200–1,100	2–11	2–11

Gerilmeye maruz kalan çelik, elastik sınırı aştıktan sonra plastik özellik sergileyerek kırılma noktasına kadar oldukça sünek davranış gösterir. Cam ise doğrusal bir elastik davranış sergiler ve herhangi bir plastik malzeme davranışı göstermez (Şekil 2.15). Cam plastik olarak gerilmediğinden, sıcaklık şokundan kaynaklanan gerilmeleri de dağıtamaz. Bu sebeple cam kritik stres aşıldığı takdirde kırılır. Kırılma ve her şeyden önce ani kırılması camın yapı malzemesi olarak kullanımında her zaman göz önünde bulundurulması gereken bir özelliktir ve uygun yapısal önlemlerin alınmasıyla bu durumun telafi edilmesi önemlidir.



Şekil 2.15 : Çelik ve camın gerilme altında mekanik davranışlarının karşılaştırılması.

Asitlerin ve alkalilerin çoğunluğu cama zarar vermemekle birlikte hidroflorik asit bir istisna olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu asit cam yüzeyleri aşındırmak için kullanılmaktadır. Cam suya karşı da son derece dayanıklıdır fakat cam yüzeylerde göllenme uzun vadede sızıntıya ve dolayısıyla cam yüzeyinde bulutlu lekeler şeklinde kendini gösteren korozyona neden olabilmektedir. Cam, amonyak içeren endüstriyel dumanlardan ve aşırı alkali temizlik maddeleriyle temastan dolayı zarar görebilir (Weller ve diğ, 2009).

2.2.2 Cam türleri

Cephede kullanılacak cam tercihinde camdan beklenen performans kriterlerini dikkate almak gerekir. Bu bölümde mimaride yaygın olarak kullanılan cam türleri kısaca açıklanmıştır.

2.2.2.1 Float cam

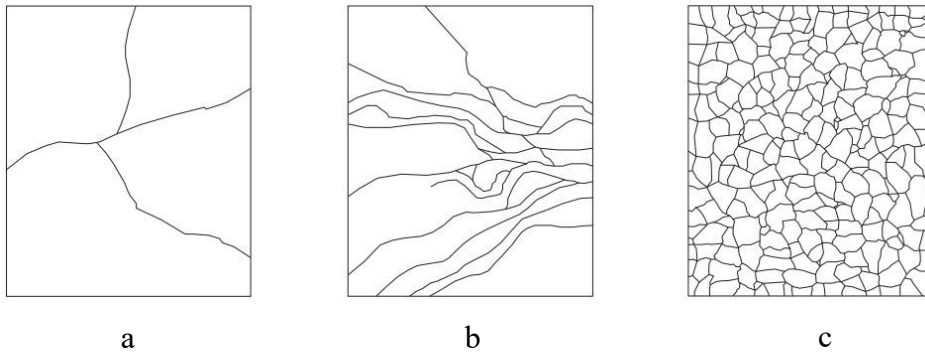
Düz (flat) cam; yüzdürme (float) cam, haddelenmiş (rolled) cam veya çekme (drawn) cam işlemleriyle üretilmektedir. Float cam, dünyadaki düz cam üretiminin yaklaşık %90'ını oluşturmaktadır ve en önemli temel camdır. Kalay banyosuna aktarılan 1100 °C sıcaklıktaki sıvı cam eriyiği, yoğunluk farkı nedeniyle kalay üzerinde yüzerek her

yöne eşit şekilde dağılır. Daha sonrasında cam yavaşça soğutulur ve 600 °C'ye ulaştığında kalay banyosundan kaldırılır. Ek bir soğutma işleminden geçirildikten sonra cam kalite açısından kontrol edilip istenilen ebatlarda kesilir. Float işlemiyle elde edilen camlar son derece pürüzsüz olmakla birlikte dalgasız ve parlak bir yüzeye sahiptir. Bu avantajlarından dolayı, float cam işlemi, düz cam imalatının büyük bir oranını oluşturmaktadır. Float cam, genellikle 2 ila 19 milimetre arasındaki kalınlıklarda ve en büyük ebat olarak 3,21 m x 6 m boyutunda üretilebilmektedir (Wurm, 2007).

2.2.2.2 Temperli cam

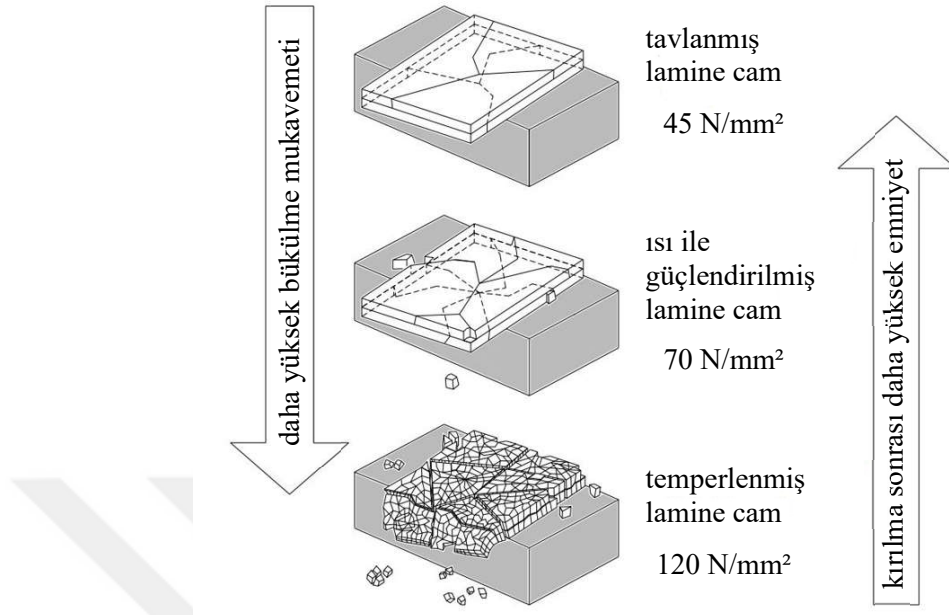
Camın mekanik ve termal yüklere karşı dayanımını artırmak için birtakım ısıl işlemler uygulanır. Temperleme işlemi, camın yumuşama noktasına yakın bir dereceye (650-700 °C) kadar ısıtılıp kontrollü bir şekilde ani olarak soğutulması ile gerçekleştirilir. Bu işlem sonucunda camın dış yüzeylerinde basınç gerilimi, ortasında ise bir çekme gerilimi oluşur. Bu gerilimin kesitte oluşabilmesi için camın en az 4 mm kalınlığında olması gerekir (Wurm, 2007).

Kısmi olarak temperlenmiş camda soğutma işlemi daha yavaş gerçekleştirilir. Bu sebeple temperlenmiş cama kıyasla mekanik mukavemeti daha azdır. Temperli cam kırıldığında küçük ve nispeten zararsız parçalara ayrılması sebebiyle yaralanma riskini azaltır (Şekil 2.16). Bu özelliği sayesinde güvenliğin ön planda olduğu durumlarda daha çok tercih edilir. Temperleme işleminden sonra herhangi bir kesme, delme, rodaj ve yüzey işlemi yapılamamaktadır. Bu yüzden kesin ölçüler temperleme işleminden önce oluşturulmalıdır. Temperli cam, eşit kalınlıktaki düzcama göre darbelere karşı yaklaşık 4-5 kat daha dayanıklıdır (Grag, 2007). Temperli camlar genellikle 19 mm kalınlığa kadar üretilmektedir.



Şekil 2.16 : İşlenmemiş ve termal olarak sertleştirilmiş camların kırılma modellerinin şematik gösterimi a.) Düz (Float) cam b.) Kısmi temperli cam c.) Temperli cam.

Isıyla güçlendirilmiş ve tamamen temperlenmiş camın karakteristik bükülme mukavemeti tipik olarak sırasıyla 70 MPa ve 120 MPa'dır (Şekil 2.17).



Şekil 2.17 : Standart cam türlerinin kırılma biçimleri (Mocibob, 2008).

2.2.2.3 Lamine cam

Kırılğan bir malzeme olan camın darbelere karşı dayanımı düşüktür. Camın kırılarak etrafa yayılması güvenlik açısından risk oluşturabilir. Lamine cam, plastik bir ara tabaka (genellikle polivinil bütiral - PVB) ile birleştirilen iki veya daha fazla cam katmanından meydana gelmektedir. Plastik ara tabaka, camların kırılması durumunda parçaların etrafa dağılmasını önleyerek yaralanma riskini önler. Lamine cam darbelere karşı direnç gösterir. Laminasyon işlemi düzcama, kısmi temperli ve temperli cam gibi farklı cam türleri için uygulanabilmektedir.

2.2.2.4 Isı yalıtım camları

Yalıtım camı, ısı yalıtımı ve yoğuşma kontrolü için kenarları sızdırmazlık sağlayacak şekilde kapatılmış bir boşlukla ayrılan iki veya daha fazla cam panelden oluşur. Camlar arasındaki boşluk daha iyi termal performans sağlamak amacıyla kuru hava yerine argon, kripton veya daha iyi akustik performans için hidrojenflorooksit gibi gazlarla da doldurulabilir (Garg, 2007). Boşluk, cam boyutuna ve gaz dolmu tipine bağlı olarak 12mm ila 20mm genişliğinde olabilmektedir. Gölgeleme veya ışık yönlendirme cihazlarını entegre etmek için boşluk 40 milimetreye kadar artırılabilir (Wurm, 2007).

2.3 Ahşap ve Cam Birleşiminde Kullanılan Yapıştırıcılar

Ahşap-cam kompozit cephe malzemelerinde dikkat edilmesi gereken önemli bir parametre ahşap çerçeve ile cam panel arasındaki bağlantıdır. Cam kırılabilir bir malzeme olduğundan cam ve ahşabın, camda gerilme yığılmalarını önleyecek şekilde birleştirilmesi önemlidir.

Ahşap-cam kompozit malzemede, yapısal yapıştırıcı ile sağlanan sürekli bağlantı, noktasal bağlantılara kıyasla herhangi bir delik veya çentik oluşturmadığından gerilim yığılmalarının oluşumunu azaltarak yüklerin homojen ve geniş bir yüzeye dağılımını sağlamaktadır (Kozłowski ve diğ., 2015). Kırılabilir bir malzeme olan cam ile sünek davranış gösteren (basınç kuvvetlerine karşı) ahşabın birleşiminde, yapıştırıcının sağlamlıkla beraber esnekliği de sağlaması önem taşımaktadır. Yapıştırıcı aynı zamanda yüklemeye ve nem değişimlerine göre ahşabın bükülmesine, genişlemesine ve büzülmesine de izin vermelidir. Yapıştırma bağlantıları, sert yapıştırıcı yerine esnek bir yapıştırıcı kullanıldığında yükleri ahşaptan cama düzgün bir şekilde aktarma kabiliyetine sahiptir (Neijbert, 2013). Bununla birlikte birçok yapıştırıcı nem, sıcaklık ve ışık vb. gibi çevresel değişikliklere karşı duyarlıdır. Bu nedenle yapıştırıcının gücü servis ortamına bağlı olmaktadır.

Ahşap-cam kompozit malzeme birleşiminde yapıştırıcının tercih edilme sebepleri arasında; kuvvetlerin eşit şekilde dağıtılması, delme işleminden kaçınılması malzemelerin kırılabilirliğinin azaltılması, yüksek gerilmelerin önlenmesi ve sistem bütünlüğü içinde sünekliğin sağlanması gösterilmektedir (Cruz ve diğ., 2007). Ayrıca yapıştırma bağlantıları yapıya çok az ağırlık katmakta ve üretim maliyetlerini de azaltmaktadır (Nicklisch ve diğ., 2014). Yapıştırma bağlantılarının bir diğer avantajı da yapıştırılan malzemelere çok az hasar vermesi veya hiç hasar vermemesidir. Yapıştırılacak yüzeylerin dikkatli bir şekilde hazırlanması gerekliliği, bazı yapıştırıcıların yüksek sıcaklık direncine sahip olmaması, tamir için sökülmesinin zorluğu, birleşme yerlerinin ayrılma ve yarıma gerilmelerini ortadan kaldıracak şekilde tasarlanması gerekliliği ve servis ortamından etkilenmesi ise yapıştırma bağlantılarının dezavantajları olarak gösterilmektedir (Pantaleo ve diğ., 2013).

2.3.1 Yapıştırıcı türleri ve seçimi

Günümüzde en yaygın olarak kullanılan yapıştırıcılar silikonlar, silanlar, poliüretanlar veya akrilatlardır (Neijbert, 2013). Yapıştırıcılar; elastisite ve kayma modüllerine göre

esnek, sert-elastik ve sert özellikte olabilirler. Silikonlar, MS polimerleri (modifiye silikonlar) ve poliüretanlar (PUR) esnek yapıştırıcılardan bazılarıdır. Esnek yapıştırıcılar genellikle 1 N/mm²'nin üzerinde bir dayanıklılığa ve %150'den fazla kopma uzamasına sahip oldukları için doğrusal yapıştırıcılar için elverişlidirler. Bununla birlikte esnek yapıştırıcılar; dinamik yükleri karşılamaya, bileşenler arasındaki ses aktarımını sönmülemeye ve sızdırmazlık görevi görmeye oldukça uygundur. Sert yapıştırıcılarla kıyaslandığında elastik yapıştırıcıyla yapılan birleşimlerin onarılması ve sökülmesi de daha kolaydır. Ayrıca yüksek kopma mukavemeti, ani bir mukavemet kaybı olmaksızın kopma sağlamaktadır (Wurm, 2007).

Epoksi reçineler ve akrilatlar genellikle sert yapıştırıcılar olarak kabul edilir ve 0,1 ile 0,5 mm arasındaki kalınlıklarda kopmada çok düşük bir uzamaya sahiptirler. Optimum kalınlıkta son derece yüksek dayanımlara sahiptirler ancak inşaat toleranslarına uyum gösteremez ve gerilimleri eşitleyemezler. Bu nedenle temel olarak noktasal sabitleme amaçlı bağlantılar için uygundur. Yüksek termal genişleme katsayıları nedeniyle ortaya çıkabilecek deformasyonlara da dikkat edilmesi gerekir. Sert yapıştırıcılar, önceden belirti vermeksizin gevrek kırılma davranışı göstermeleri nedeniyle dezavantajlıdır (Wurm, 2007).

Silikon yapıştırıcılar genel olarak nispeten düşük düzeyde mukavemet özelliklerine sahiptirler ancak çevresel etkilere (sıcaklık, nem, UV ışınlarına maruz kalma vb.) karşı son derece dayanıklıdır. Akrilatlar genel olarak daha yüksek mukavemete sahiptirler ancak akrilatların olumsuz bir özelliği termal dayanıklılığıdır. Bu yapıştırıcılar, 50°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda veya yüksek nemde mukavemetlerini kaybederler (Neijbert, 2013). UV ışığı, nem ve sıcaklık gibi çevresel etkilerle birlikte yapıştırıcı mukavemetinin başka birçok faktörden etkilenebileceği de göz önünde bulundurulmalıdır. Yapıştırıcının mukavemeti; sistemin mekanik özelliklerine, yükleme tipine ve süresine, yapıştırılan yüzeyin geometrik şekline, montaj kalitesine ve birleştirilen parçaların yüzey kalitesine bağlı olarak değişkenlik gösterebilir (Wurm, 2007). Yapıştırıcı yük aktarımını hem normal koşullarda hem de yüksek sıcaklık, UV ışığı ve nem gibi özel koşullar altında da sağlamalıdır.

Yapıştırıcı seçiminde; yapıştırıcı-malzeme uyumluluğu, yapıştırıcının mukavemeti, sertliği, uygulanma yöntemi, kürlenme mekanizması ve maliyet gibi etkenler etkin rol oynar. Özellikle cam kullanımından dolayı, yapıştırıcı seçiminde güneş ışınımı

geçirgenliği sadece işlevsel ve yapısal nedenlerden (UV direnci) değil, aynı zamanda estetik nedenlerden dolayı da belirleyici bir unsur olmaktadır. Silikon bu tür kaygılara en iyi yanıt veren ürün olarak belirtilmektedir (Cruz ve Pequeno, 2008).

2.3.1.1 Silikon yapıştırıcı

Yapısal silikonlar, 1960'larda geliştirilen ve camı bina çerçevelerine mekanik destek olmadan yapıştırmak için kullanılan yapıştırıcılar olarak ifade edilmektedir (Schmidt, 1998). Yapısal silikon, cam panelleri destekleyici çerçevelere ve diğer cam parçalarına yapıştırmak için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yapısal silikon tek bileşenli, iki bileşenli veya çok bileşenli tipte olabilmektedir. Tek bileşenli türü nispeten uzun bir kürlenme süresine (1-2 hafta) ihtiyaç duymaktadır. Bu türde, nem kürlenme süreci için bir aktivatör olarak görev yapar. Çok bileşenli türlerinde ise kürlenme bir katalizör tarafından tetiklenmektedir (Pantaleo ve diğ., 2013).

Doğası gereği silikonlar, epoksiler gibi diğer yapısal yapıştırıcılara göre daha düşük yapışma mukavemetine sahiptir. Ancak bu özellikleri birçok uygulamada bir avantaj sağlamaktadır. Daha düşük mukavemet ve elastisite modülü, silikonların onarım ve yeniden yapım uygulamaları için ideal bir yapıştırıcı olmasını sağlamaktadır. Ayrıca belirli düzeyde stres esnekliği gerektiren uygulamalar için de tercih sebebidir. Bu özellik silikon yapıştırıcının; uygulandığı alt tabakalar arasındaki termal genişleme farklarından, bileşenlerin titreşiminden, dış yüklerden kaynaklanan belirli miktarda hareketi absorbe edebilmesine de olanak tanır. 2008 yılında Cruz ve Pequeno; farklı yapıştırıcılar ile ahşap-cam kompozit kesitler üzerinde yaptıkları çalışmada superfleks polimer, akrilat, silikon ve poliüretan yapıştırıcılar kullanmışlardır. Araştırma sonucunda, yüksek esnekliği sayesinde ihtiyaç duyulan yapısal mekanik direnci sağlaması sebebiyle silikon yapıştırıcı kullanımı tavsiye edilmiştir (Mohammadianfar ve Imanizabayo, 2018).

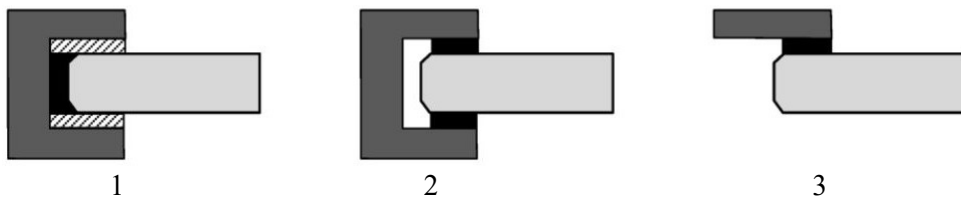
Blyberg ve diğ. (2012) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, yapısal ahşap-cam uygulamaları için silikon, akrilat ve poliüretan olmak üzere üç farklı yapıştırıcı incelenmiştir. Bunun için ahşap ve cam arasındaki yapıştırıcılar hem çekme hem de kayma deneylerine tabi tutulmuşlardır. Test edilen yapıştırıcılar arasında akrilatın hem çekme hem de kayma açısından en büyük mukavemeti sağladığı ancak akrilatların 50°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda önemli bir mukavemet azalmasına sahip olduğu

belirtilmiştir. Silikon yapıştırıcılar için ise yükleri dağıtmak için çok uygun olduğu ancak düşük mukavemetinin geniş bir temas alanını gerektirdiği belirtilmektedir. Yük taşıyan ahşap-cam kompozitlerle ilgili yapılan başka bir çalışmada, cephe yapımında kullanılacak en uygun yapıştırıcının silikon yapıştırıcı olacağı belirtilmiştir (Winter ve diğ., 2010). Mukavemetlerinin daha düşük olmasına rağmen nem ve sıcaklık etkisi altında çok daha tutarlı bir davranışa sahip olmaları, ayrıca silikonların, strüktürel silikonlu cephelerde kullanıldığı için uzun vadeli etkilerinin de iyi bilindiği ifade edilmektedir.

Silikon yapısal yapıştırıcılar çeşitli yüzeylere oldukça iyi yapışma sağlamaktadır. Genel olarak -50 ila 150°C aralığındaki servis sıcaklığında çalışmakla birlikte bazı özel silikonlar 300°C'ye kadar yüksek sıcaklık direncine, -90°C veya -115°C'ye kadar da (sırasıyla tek ve iki bileşenli için) soğuk sıcaklık esnekliğine sahip olabilmektedir (Dillard, 2023). Bu sebeple zorlu ortamlarda bile uzun servis ömrüne sahiptirler. Ayrıca, yüksek veya düşük elektrik ve ısı iletkenliklere göre formüle edilebilirler. Bu özellikleri sebebiyle elektrik, elektronik, otomotiv, ev aletleri ve inşaat uygulamalarında geniş bir yelpazede kullanılmaktadırlar (Dillard, 2023). Yapısal silikonlar için en yaygın deney yöntemleri, UNI ISO 527, ISO 34, ISO/DIS 9047 veya ASTM D1002'ye göre çekme ve kayma deneyleridir (Pantaleo, 2013).

2.3.2 Ahşap-cam kompozit elemanlarda yapıştırma türleri

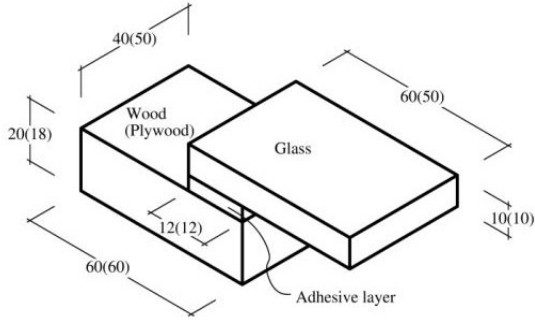
Ahşap-cam kompozit elemanlarda birleşim detayı ve çerçeve kesitine ilişkin çözümler, Şekil 2.18'de gösterildiği gibi genel olarak üç farklı tipte sınıflandırılmaktadır.



Şekil 2.18 : Yapıştırma türleri (Cruz ve diğ., 2010).

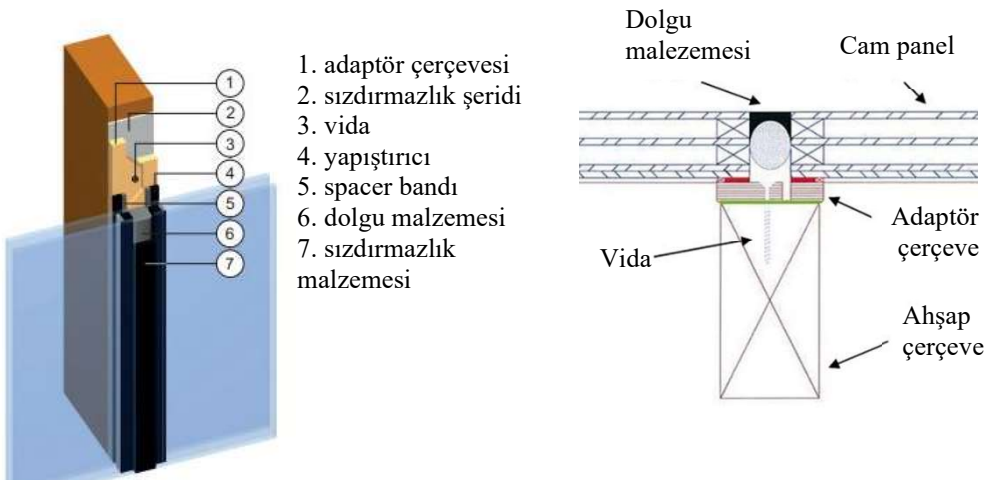
Gösterilen detaylarda cam konumuna ilişkin iki durum söz konusudur. İlk olarak cam panel kendisini çevreleyen ahşabın içerisinde konumlandırılmıştır (Şekil 2.18). Bunun avantajı, yükün eşit bir şekilde cama doğrudan aktarılmasıdır. Ancak bu durumda ahşap, cephede destek elemanı olarak kullanıldığında hava koşullarına maruz kalmaktadır. Bu sebeple ekstra koruyucu önlemler gereklidir. Bir diğer durumda ise,

cam ahşap çerçevenin dış kısmına yapıştırılmasıdır. Bu durumda yapıştırıcı ve ahşap doğrudan hava koşullarına karşı daha iyi korunabilmektedir. Bu birleşim detayında da camdaki kayma ve basınç kuvvetleri, camda ek bükülme gerilimlerine neden olmakta ve camın dışarı doğru deforme olmasına sebebiyet verebilmektedir. Ahşap-cam kompozit cephe malzemesinde incelenen ve referans alınan çalışmalarda, cam panelde tek binili bir yapıştırma uygulandığı için bu tez kapsamında da bu birleşim türü kullanılmıştır (Şekil 2.19).



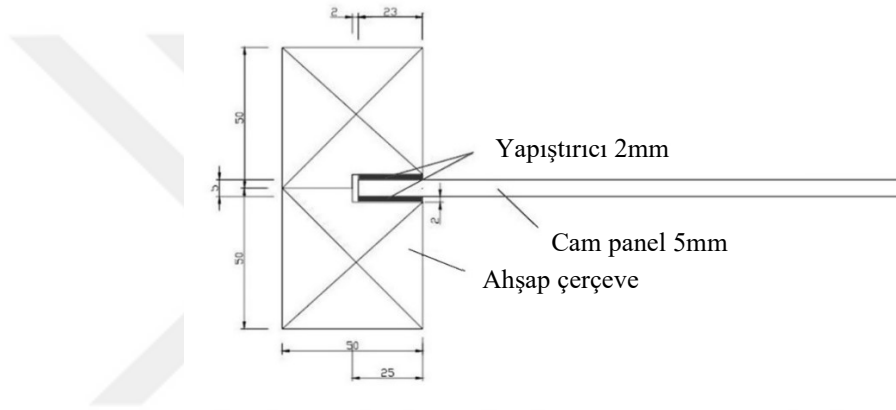
Şekil 2.19 : Ahşap-cam kompozit cephe malzemesi üzerine yapılan deneysel çalışmalardan numuneler (Nicklisch ve diğ, 2014).

Avusturya Kooperatif Araştırması tarafından tasarlanan ahşap-cam kompozit eleman, önceki bölümde açıklanan tek binili birleşim prensibine uygun olarak yapılmıştır. Bu sistemde cam, adaptör çerçevesine aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi silikon yapıştırıcı ile yapıştırılmaktadır (Şekil 2.20). Adaptör çerçevesi daha sonra yapısal ahşap çerçeveye vidalarla sabitlenmektedir. Bu sistemin avantajı, çerçevelerin dalgalı formu sayesinde nispeten daha geniş bir cam yüzeyin elde edilmesidir. Çerçevelerin dalgalı yapısı birbirine kenetlenebildiği için iki bitişik elemanı çok yakın sabitlemek mümkün olmaktadır.



Şekil 2.20 : Ahşap-cam kompozit cephe sistemi örneği (Url-3).

BUWAL EPFL tarafından geliştirilen sistem ise iki parça ahşap çerçeveden oluşmaktadır (Şekil 2.21). Bunlardan birine cam panel yapıştırılır, daha sonra cam panelin diğer tarafına ikinci ahşap parça eklenir. İki parça arasındaki mesafeyi sabit tutmak ve düzgün bir yapıştırma sağlamak için küçük bir tahta parçası kullanılır. Kısıtlı deformasyonlardan kaynaklanan stresi önlemek için cam panelin kenarı ile çerçeve arasında bir boşluk bırakılmaktadır. Elemanlar ankrajlar kullanılarak binaya entegre edilmektedir. Bu sistemde, camın her iki tarafı da yapıştırıldığı için yapıştırıcı yüzeyi daha fazladır. Bu daha büyük kuvvetlerin iletilmesini ve gerilim dağılımının daha düzgün olmasını sağlayabilmektedir. İlave bir adaptör çerçevesi kullanılmamaktadır (Weinand, 2005).



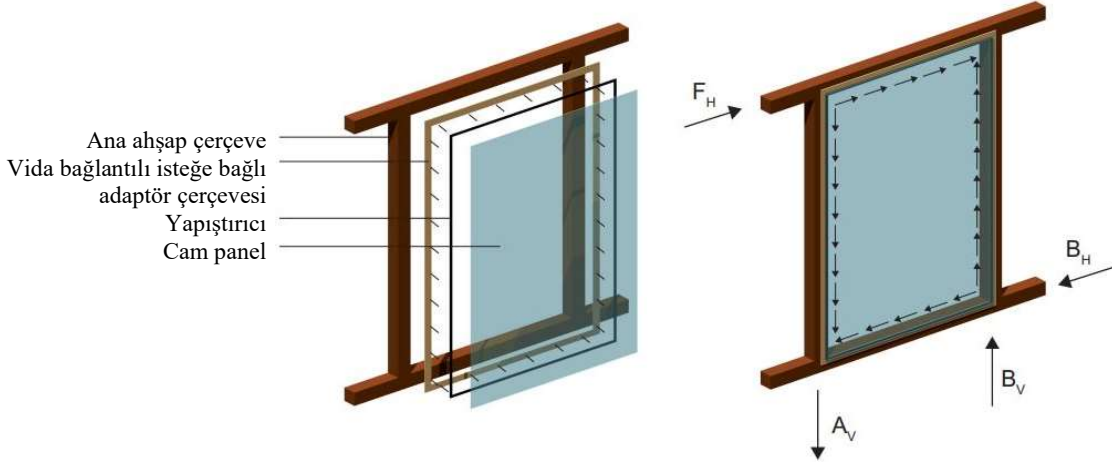
Şekil 2.21 : BUWAL EPFL tarafından geliştirilen sistemin detayı (Weinand, 2005).

2.4 Ahşap-Cam Kompozit Elemanlar

Ahşap-cam kompozit eleman; cam panel, ahşap çerçeve ve bu iki parçayı bir arada tutan yük taşıyan yapıştırıcı olmak üzere üç ana yapısal bileşenden oluşur (Rosliakova ve diğ., 2016). Ahşap-cam kompozit elemanlar bir süredir bilinmesine rağmen cephelerde kullanılan geleneksel çözümlerde; camın toplam yük taşıma davranışına katkı sağlamadığı, sadece rüzgar yükünü yapı elemanlarına aktardığı ve bu nedenle bir dolgu elemanı işlevi gördüğü varsayılmaktadır (Kozlowski ve Hulimka, 2014). Bunun aksine yük taşıyan ahşap-cam kompozit elemanlarda, ahşap ve cam dış yükleri taşımak için birlikte çalışır (Şekil 2.22).

Ahşap-cam kompozit cephe elemanlarının kullanılmasındaki amaç, cephe gerekliliklerini taşıyıcı bir yapıyla birleştirerek bu eksikliği gidermektir (Kozlowski ve diğ., 2015). Ahşap-cam kompozit cephe elemanlarda cam aktif olarak yük taşımakta ve stabilizasyon sağlayarak binanın yapısal bütünlüğüne katkıda bulunmaktadır

(Kozlowski ve Hulimka, 2014). Bu sebeple son zamanlarda ahşap-cam kompozit elemanların cephelerdeki potansiyelini araştıran çalışmalar önem kazanmıştır.



Şekil 2.22 : Ahşap-cam kompozit elemanların genel yapısı ve yük taşıma prensibi (Nicklisch ve diğ, 2016).

Ahşap-cam kompozitler, ahşap ve camın en avantajlı özelliklerinden yararlanırken, bunların zayıf yönlerini de ortadan kaldırmayı amaçlar. Malzemelerin avantajlı özellikleri arasında cam için şeffaflık, sertlik ve dayanıklılık özellikleri gösterilirken; sıkıştırma altında kullanıldığında ahşabın sünek yapısı yer alır. Bu malzemeleri uygun yapısal yapıştırıcılarla birleştirerek, camın ana dezavantajı olan kırılma önenebilir. Ayrıca, birleşim için yapıştırıcıların kullanılması, civatalar gibi mekanik bağlantı elemanları için tipik olan, camdaki olumsuz tepe gerilim noktalarını azaltır (Kozlowski ve diğ, 2015).

Literatürde yük taşıyan ahşap-cam kompozitlerin çeşitli örnekleri bulunmaktadır. Ahşap-cam kompozitler; ahşap-cam kirişler, ahşap-cam zemin/çatı panelleri ve ahşap-cam duvar panelleri olmak üzere üç gruba ayrılabilir. Maribor Üniversitesi'nde silikon, akrilat ve epoksi gibi farklı türde yapıştırıcılarla ahşap ve camdan yapılmış I-kirişlerin yük taşıma kapasitesi üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır. (Drzeczniak ve diğ, 2022). Çalışmalarda tavlama, temperli cam ve kısmi temperli cam olmak üzere üç farklı cam kullanılmıştır (Şekil 2.23).

Temperli ve yarı temperli camla oluşturulmuş numuneler, tavlama camla oluşturulanlara göre kırılma öncesi daha fazla yük taşımışlardır. En yüksek duktilite, silikon ile oluşturulmuş numunelerde, en düşük duktilite ise epoksi yapıştırıcı ile oluşturulmuş numunelerde gözlemlenmiştir (Drzeczniak ve diğ, 2022).



Şekil 2.23: Ahşap-cam kompozit kirişler için gerçekleştirilmiş deneyler (Drzecnik ve diğerleri, 2022).

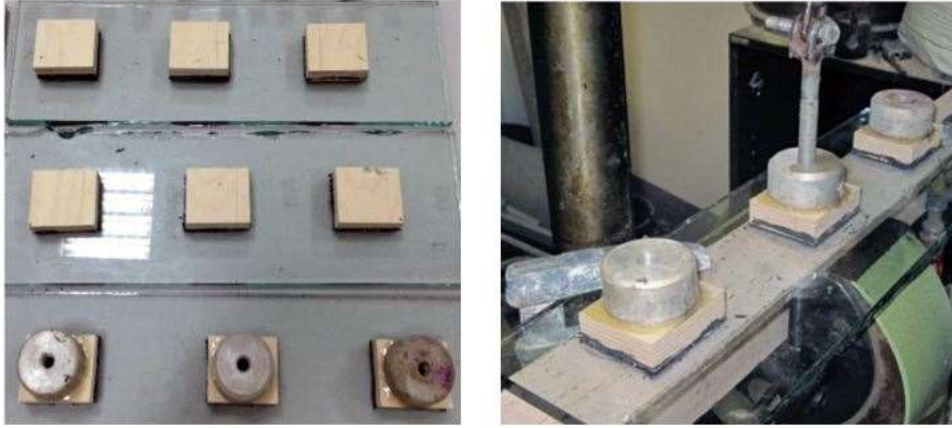
Nicklisch ve arkadaşlarının (2015) yapmış olduğu bir çalışmada ise, cephede kullanılacak ahşap-cam kompozit elemanların taşıma kapasitesine odaklanılmaktadır. Çalışmada, 2.40 x 2.40m boyutlarında yük taşıyan ahşap-cam kompozit duvar üzerinde deneysel bir araştırma yürütülmüştür (Şekil 2.24). Deney sonuçlarından elde edilen veriler ahşap-cam kompozit duvar elemanının yapısal kullanımının umut verici olduğunu ve bu nedenle ahşap-cam kompozit kullanımının daha büyük ve daha gelişmiş yapılara uygulamaya teşvik edilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir.



Şekil 2.24 : Ahşap-cam kompozit duvar üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışma (Nicklisch ve diğ, 2015).

Ahşap-cam kompozit elemanlar ile ilgili bir başka araştırma projesi olan WoodWisdom-Net Uluslararası Araştırma Programı kapsamında gerçekleştirilmiş çalışma; Avusturya, Brezilya, Şili, Almanya, İsveç, Türkiye ve Slovenya'dan katılımcılarla gerçekleştirilmiştir. Söz konusu araştırma projesinin Türk ekibi tarafından yürütülen kısmı TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. Bu çalışmada

(Büyüktaşkın ve diğ, 2019); huş kontrplak kullanılarak oluşturulmuş küçük ölçekli ahşap-cam kompozit numuneler üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.25). Deneyler, durabilite ve mekanik dayanım deneylerini içermektedir. Deneylerde; 50 x 50 mm ve 50 x 60 mm boyutlarında olmak üzere 18mm huş kontrplak, 50 x 50 mm ve 150 x 450 mm olmak üzere 8mm temperli cam ve strüktürel silikon yapıştırıcı kullanılmıştır.



Şekil 2.25 : WoodWisdom-Net projesi kapsamında gerçekleştirilen çalışmadaki yapışma deneyi (Büyüktaşkın ve diğ, 2019).

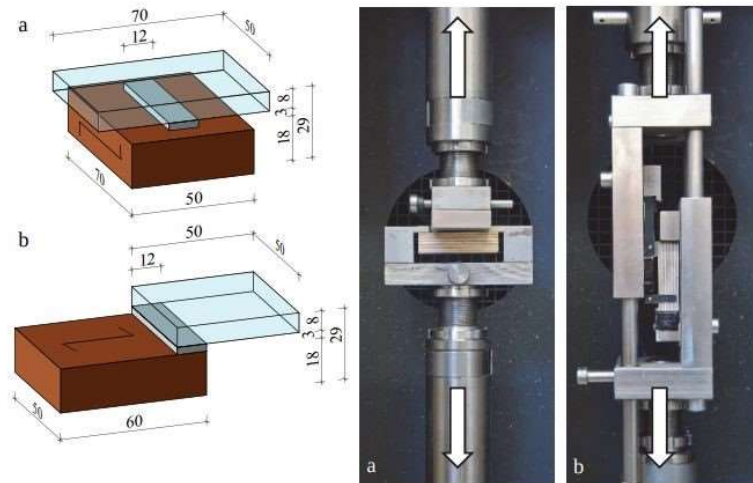
Küçük ölçekli numunelere durabilite deneylerinin yapılmasının amacı, çevresel koşulların ahşap-cam kompozitlerin mekanik özelliklerine ve hacim kararlılığına etkisinin incelenmesidir. Bu kapsamda numuneler; ıslanma-kuruma, donma-çözünme, yüksek sıcaklığa ve UV ışığına maruz kalma ve asitlere karşı dayanım olmak üzere beş farklı yaşlandırma senaryosuna maruz bırakılmışlardır. Küçük ölçekli numuneler üzerinde yapılan deney sonuçlarına göre kayma mukavemetinde en çok azalma asite karşı dayanımda gözlemlenirken, en az değişim donma-çözünmede gerçekleşmiştir. Islanma-kuruma ve donma-çözünme deneylerine tabi tutulan pull-off numunelerinde ise; ıslanma-kuruma deneyi sonrası yapışma mukavemetindeki azalma, donma-çözünme deneyine göre daha fazla olmuştur.

Bina kabuğu sıcaklık, nem, UV ışığı, su ve aşındırıcı atmosfer koşulları gibi çeşitli çevresel faktörlerle karşı karşıyadır. Bunların hepsi yapıştırıcıyı, yapıştırıcı ile yüzey arasındaki arayüzü ve yapıştırılan malzemelerin kendisini etkileyebilir. Bu nedenle çevresel faktörlerin ahşap-cam kompozit cephe malzemelerine ve yapıştırıcı performansına etkisinin dikkate alınması önemlidir. Bu kapsamda literatürde ahşap-cam kompozit malzeme üzerine yapılmış pek çok çalışma vardır. Nicklisch ve Weller

(2016) tarafından yapılan bir araştırma yük taşıyan ahşap-cam kompozit elemanlarda; güneş ışınımına ve SO₂ atmosferine maruz kalma, temizlik çözeltilisine batırılma, farklı nem koşullarında kalma gibi çeşitli yaşlanma senaryoları altında orta ve yüksek sertlikteki yapıştırıcıların potansiyel kullanımını incelemiştir. Sonuçlar, silan modifiyeli polimer ve epoksi reçineden oluşan orta sertlikte yapıştırıcının, UV ışığına maruz kaldığında büyük bir mukavemet kaybı sergilediğini göstermiştir. Epoksi daha iyi UV direnci sağlarken temizlik maddelerine maruz kalmaya karşı hassas özellik göstermiştir. Ayrıca cam içeren kompozit elemanlar için fazla sert olabileceği belirtilmiştir. Çalışma, seçilen yapıştırıcıların belirli yaşlandırma senaryolarına karşı duyarlı olduğunu ortaya çıkarmış, epoksi gibi yüksek sertlikteki yapıştırıcıların ahşap-cam kompozit malzemede silikonlara göre uygulanabilirliğinin sınırlı olduğu sonucuna varılmıştır (Nicklisch ve Weller, 2016).

Nicklisch ve arkadaşlarının başka bir çalışması (2016), ahşap ve cam arasındaki silikon yapıştırıcının yaşlanma dayanımını, farklı sıcaklıklara (-20°C ve +80°C), temizleme solüsyonuna ve yüksek (+20°C, %90 BN) veya düşük (+20°C, %30 BN) neme maruz kalma gibi beş farklı yaşlanma senaryosuyla değerlendirmektedir.

Yaşlandırma deneyleri sonrası numunelere, çekme ve kayma deneyleri yapılmıştır (Şekil 2.26). Sonuçlar, yüksek sıcaklığın ve yüksek nem koşullarının tipik olarak mukavemet kaybına ve ahşap yüzeyde yapıştırıcı kopmasına yol açtığını ortaya koymaktadır (Nicklisch ve diğ, 2016).



Şekil 2.26 : Küçük ölçekli ahşap-cam numunelerinde çekme ve kayma deneyleri (Nicklisch ve diğ, 2016).



3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1 Amaç

Deneysel çalışmanın amacı, farklı türden masif ahşaplar ile oluşturulmuş ahşap-cam kompozit cephe malzemesinin mekanik davranışını inceleyip atmosferik şartlar altındaki performanslarını gözlemlemektir.

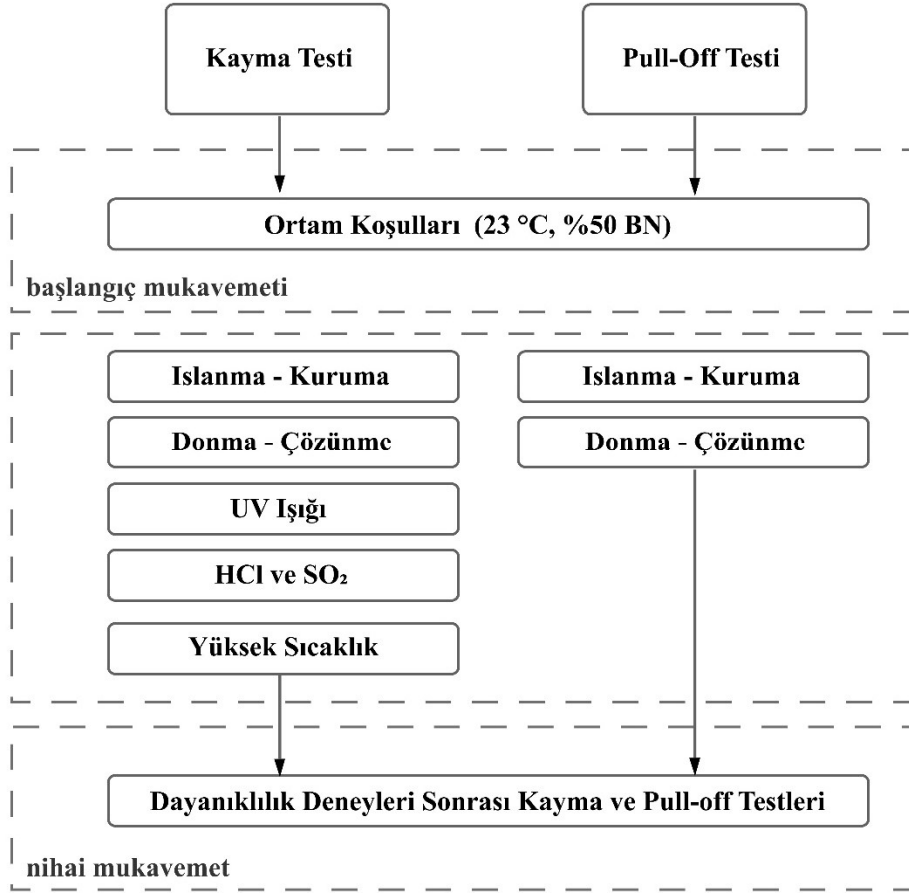
3.2 Kapsam

Deneysel çalışmada; çam, kayın ve meşe olmak üzere üç farklı masif ahşap türü kullanılmıştır. Farklı türde masif ahşaplardan oluşan ahşap-cam kompozit malzemelerin atmosferik koşullar altındaki performansını incelemek amacıyla çalışma kapsamında tek bir yapıştırıcı kullanılmıştır.

3.3 Yöntem

Deneysel prosedürü üç aşamaya ayrılmıştır (Şekil 3.1). Ahşap-cam kompozit numunelerin hızlandırılmış yaşlandırma etkisi öncesi ve sonrası mekanik mukavemetleri, kayma ve çekme (pull-off) deneyleri ile ölçülmüştür. İlk olarak numunelerin mekanik mukavemetlerinin başlangıç değerini belirlemek amacıyla, ortam koşullarında (23°C°, %50 BN) kayma ve pull-off deneyleri yapılmıştır. Daha sonra beş farklı yaşlandırma senaryosu; ıslanma-kuruma, donma-çözünme, asitlere karşı dayanım, UV etkilerine ve yüksek sıcaklığa karşı dayanım deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerin ardından, atmosferik koşulların ahşap-cam kompozit cephe malzemelerinin mukavemeti üzerindeki etkisini incelemek amacıyla kayma ve pull-off deneyleri yapılarak sonuçlar başlangıç mukavemetiyle karşılaştırılmıştır.

Deneysel çalışmalar İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Malzeme Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler WoodWisdom-Net Programı kapsamında huş kontrplak kullanılarak gerçekleştirilmiş olan deney sonuçları ile karşılaştırılarak analiz edilmiştir.



Şekil 3.1 : Dayanıklılık deneyleri öncesi ve sonrası uygulanan kayma ve pull-off deneyleri.

3.3.1 Deneyde kullanılan malzemeler

Oluşturulan ahşap-cam kompozit malzemelerde temperli cam kullanılmıştır. Temperli cam, düz cama kıyasla yüksek mukavemete sahiptir ve kırıldığında keskin kenarlar oluşturmadan küçük parçalara ayrılması sayesinde yaralanma riskini azaltmaktadır. Temperli cam ile ilgili detaylı özelliklere Bölüm 2’de yer verilmiştir. Güvenlik nedeniyle cam kenarları bant rodajlıdır. Bant rodaj cam kenarlarının keskinliğinin alınması işlemidir. Cam yüzey bir bezle temizlenmiştir. Yapıştırmadan önce başka bir yüzey işlemi uygulanmamıştır.

Ahşap ve camı yapıştırmak için yüksek performanslı, tek bileşenli, nem ile kürlen, silikon yapısal cam yapıştırıcısı kullanılmıştır. Yapı malzemeleri ve endüstriyel uygulamalarda kullanılan bir yapıştırıcı ve sızdırmazlık maddesi olan bu ürün, yapısal cam yapıştırma ve silikon ile yüksek mekanik performans beklenen yapıştırma uygulamaları için kullanılmaktadır. Genellikle cam, ahşap, metal ve çeşitli plastik yüzeyler arasında kullanılmaktadır. Özellikleri arasında yüksek yapışma gücü,

esneklik, suya dayanıklılık ve hava sızdırmazlığı yer almaktadır. Kullanılan yapıştırıcının teknik föyünde yer alan bazı bilgilere aşağıda yer verilmiştir:

- UV ve hava şartlarına karşı dayanımı yüksektir.
- Cam, ahşap, metal, kaplamalı metal ve plastik yüzeylere çok iyi yapışır.
- Atmosferik nem ile reaksiyona girerek kürlenir.
- B1 Yangın dayanım sınıfına sahiptir.
- Yaygın uçucu organik bileşik gerekliliklerine uygundur.

Deneyleerde; çam, kayın ve meşe olmak üzere üç farklı ahşap türü kullanılmıştır. Orta sertlikte bir ağaç olan çam ağacı (Pinus), sert ağaçlara göre nispeten daha ucuz ve daha düşük yoğunluktadır. Öte yandan meşe (Quercus) ve kayın (Fagus) oldukça dayanıklı olup sert ağaç olarak deneyleere dahil edilmişlerdir. Deneyleerde kullanılan çam ve kayının nem içeriği %9, meşenin ise %8'dir. Çamın yoğunluğu 0.54, kayın ve meşenin yoğunluğu ise 0.65 gr/cm³'tür.

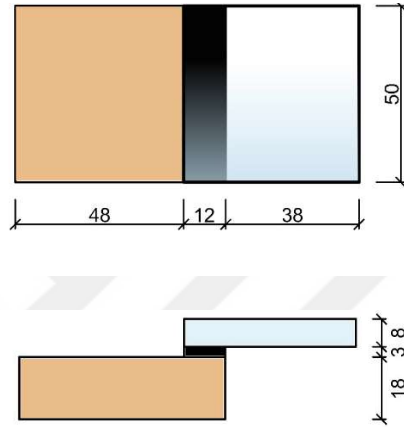
Kullanılan ahşaplar 50 x 50mm ve 50 x 60mm olmak üzere iki farklı boyuttadır. Kayma deneyleerinde 50 x 60mm, pull-off deneyleerinde ise 50 x 50mm ölçülerindeki ahşaplar kullanılmıştır. Cam ile yapıştırılma öncesi kayın ahşap numuneleri Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 : Masif kayın ahşap numuneleri.

3.3.2 Kayma deneyi numunelerinin oluşturulması

Kayma deneyi numunelerindeki ahşap ve cam yapışma yüzeyinin boyutu, ASTM D1002'de (Standard Test Method for Apparent Shear Strength of Single-Lap-Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loading) tanımlanan ölçülere uygun olarak oluşturulmuştur. Masif ahşap ve cam kalınlıkları sırasıyla 18mm ve 8mm'dir. Yapıştırıcının uygulandığı ahşap ile camın bini uzunluğu 12 mm, yapısal silikon yapıştırıcının kalınlığı ise 3 mm'dir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 : Kayma deneyi numunelerinin boyutları.

Üç farklı masif ahşap için toplamda 84 adet küçük ölçekli numune hazırlanmıştır (Şekil 3.4). Birleştirilen numuneler, 23 °C'de ve %50 bağıl nemde sabit koşullar altında minimum 28 gün süreyle kürlenmeye bırakılmışlardır.



Şekil 3.4 : Kayma deneyi için oluşturulan ahşap-cam kompozit numuneler.

3.3.3 Kayma deneyi

Kayma deneyleri, Universal deney cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.5). Yükleme oranı 50 N/s'dir. Deformasyonlar her 50 N için kayıt altına alınmıştır. Kopma anındaki maksimum yük kaydedilmiştir. Kayma mukavemetleri, kopma yükünün kayma alanına bölünmesiyle hesaplanmıştır.



Şekil 3.5 : Kayma deneyinde kullanılan Universal cihazı.

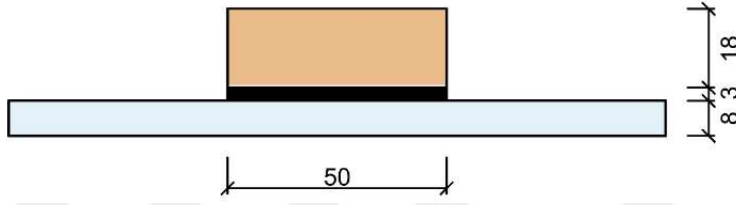
Kayma deneyleri, ahşap-cam kompozit malzemelerin hızlandırılmış yaşlandırma deneylerine maruz bırakılmasından önce ve sonra gerçekleştirilmiştir. İlk olarak ortam koşulları (23 °C, %50 BN) için kayma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerden elde edilen değerler, ahşap-cam kompozit cephe malzemesi üzerindeki atmosferik koşulların etkisini değerlendirmede referans görevi görmesi amacıyla yapılmıştır. İkinci aşamada numuneler ıslanma-kuruma, donma-çözünme, UV etkisi, yüksek sıcaklığa ve asitlere karşı dayanım olmak üzere farklı dayanıklılık deneylerine maruz bırakılmıştır. Dayanıklılık deneyleri sonrası numuneler kayma deneyine tabi tutulmuşlardır. Kayma deneylerinde kullanılan ahşap türlerinin adetlerine Çizelge 3.1'de yer verilmiştir.

.Çizelge 3.1 : Kayma deneyi için oluşturulan ahşap-cam kompozit numune adetleri.

Deney Koşulları	Kayma Deneyi Numune Adetleri		
	Kayın	Çam	Meşe
Laboratuvar koşulları (23 °C, %50 BN)	4	4	4
Islanma-kuruma	4	4	4
Donma-çözünme	4	4	4
Asite karşı dayanım (HCl)	4	4	4
Asite karşı dayanım (SO ₂)	4	4	4
UV etkisi	4	4	4
Yüksek sıcaklık	4	4	4

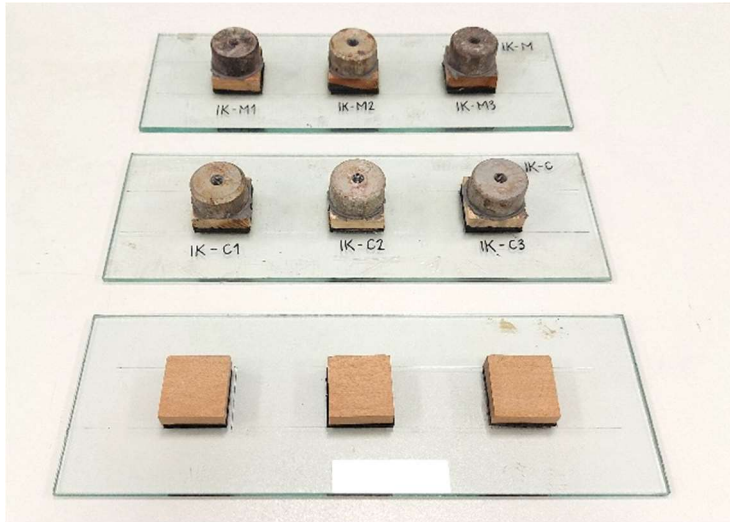
3.3.4 Çekme (pull-off) deneyi numunelerinin oluşturulması

Boyutları 50 mm x 50 mm, kalınlığı 18 mm olan masif ahşaplar; 45 cm x 15 cm boyutlarındaki temperli cama, silikon kalınlığı 3mm olacak şekilde yapıştırılmışlardır (Şekil 3.6).



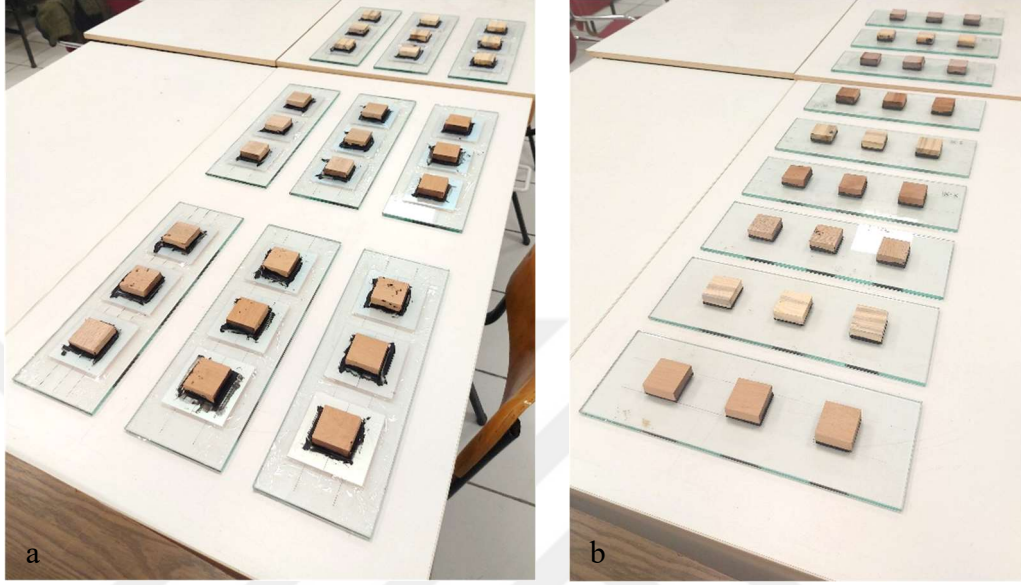
Şekil 3.6 : Pull-off deneyi için hazırlanan numune ölçüleri.

Silikonun kurumasının ardından pull-off başlıkları ahşaplara 2 bileşenli epoksi reçine ile sabitlenmiştir (Şekil 3.7). Pull-off başlıklarının ahşaba daha iyi yapışmasını sağlamak amacıyla pull-off başlıklarının geldiği ahşap üst yüzeyleri törpülenmiştir.



Şekil 3.7 : Pull-off başlıklarının yapıştırılması.

Ahşap ve cam arasına uygulanan yapısal silikon yapıştırıcının yüzey boyunca eşit ve düzgün olmasını sağlamak amacıyla 3 mm pleksiglas malzemeden hazırlanmış şablonlar oluşturulmuştur (Şekil 3.8a). Yapıştırıcı kuruduktan sonra şablonlar çıkartılmıştır (Şekil 3.8b). Numuneler, 23 °C'de ve %50 bağıl nemde sabit koşullar altında minimum 28 gün süre bekletilmişlerdir.



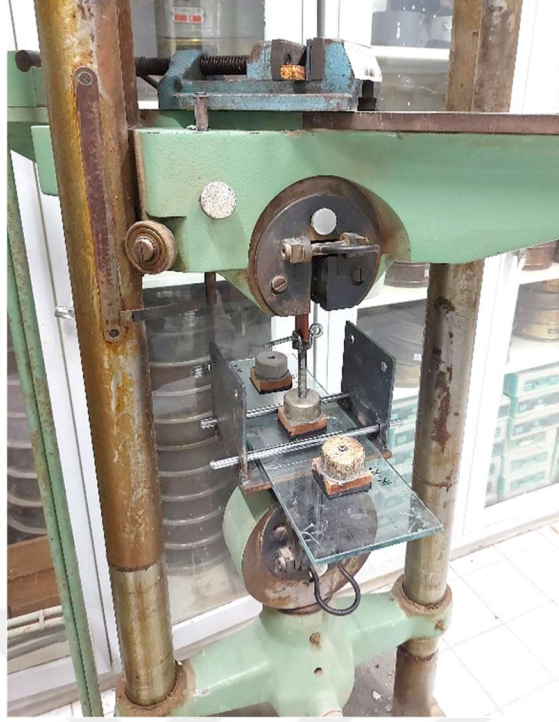
Şekil 3.8 : Pull-off deneyi için hazırlanan numuneler şablonları ile ve şablon çıkarıldıktan sonra.

3.3.5 Çekme (pull-off) deneyi

Ahşap-cam numuneleri ASTM d4541 - 09E1'e göre oluşturulmuştur. Ahşap-cam kompozitlerin yapışma mukavemetinin belirlenmesi amacıyla TS EN 12004'te verilen tanımlamalara göre çekme deneyleri yapılmıştır.

Numuneler 20°C ve %45 bağıl nem altında kurutulmuşlardır. Numuneler kuruduktan sonra pull-off başlıkları numunelere 2 bileşenli epoksi reçine ile yapıştırılmıştır. Reçine kurduğunda, çekme başlıkları aracılığıyla numunelere 250 ± 50 N/s'lik bir çekme kuvveti uygulanmıştır. Kopma anındaki maksimum çekme kuvvetleri kaydedilmiştir (Şekil 3.9).

Pull-off deneyleri ortam koşullarında, ıslanma-kuruma ve donma-çözünme deneyleri sonrasında gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde kullanılan numune adetleri Çizelge 3.2'de yer almaktadır. Dayanıklılık deneyleri öncesi ve sonrası kayma ve pull-off deneyleri için toplamda 120 adet ayrı numunede ölçüm gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.9 : Pull-off deneyi için oluşturulan düzenek.

.Çizelge 3.2 : Pull-off deneyi için oluşturulan ahşap-cam kompozit numune adetleri.

Deney Koşulları	Pull-off Deneyi Numune Adetleri		
	Kayın	Çam	Meşe
Laboratuvar koşulları (23 °C, %50 BN)	4	4	4
Islanma-kuruma	4	4	4
Donma-çözünme	4	4	4

TS EN 12004-2 standardına göre yapışma mukavemeti aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır:

$$A_s = L / A$$

$$A_s = \text{Yapışma mukavemeti (N/mm}^2\text{)}$$

$$L = \text{Kopma anındaki yük (N)}$$

$$A = \text{Yapışma alanı (mm}^2\text{)}$$

3.3.6 Dayanıklılık deneyleri

Dayanıklılık deneylerinin amacı, atmosferik koşulların ahşap-cam kompozitlerin mekanik özellikleri ve hacim kararlılığı üzerindeki etkilerini belirlemektir. Şiddetli hava koşulları bina cephelerinde kullanılan malzemelerin performansı üzerinde önemli etkilere sahiptir. İklim şartlarına maruz kalan ahşap-cam kompozitlerde, zaman içinde yapısal bozulma gözlemlenebilir ve kompozit malzemenin mekanik mukavemeti azalabilir. Bu nedenle dayanıklılık deneyleri, ahşap-cam kompozitlerin performansının belirlenmesi açısından önemlidir. Dayanıklılık deneyleri sonrasında numunelerin ağırlık değişimleri ve deformasyonları kayıt altına alınmıştır.

3.3.6.1 Islanma - kuruma

Islanma-kuruma deneyi için 12 adet kayma deneyi numunesi, her döngüde 25°C suda 18 saat bekletilmiştir. Ardından 55°C'de 6 saat kurumaya bırakılmıştır. Deney prosedürü sırasında yedi döngü tamamlanmıştır (ASTM D2559 - 12a Standard specification for adhesives for bonded structural wood products for use under exterior exposure conditions).

3.3.6.2 Donma - çözünme

Her bir donma-çözünme döngüsü; ASTM C1262/C1262M-24 standardına göre, -20°C'de 2 saat donma ve +25°C'de 2 saat çözünme yapılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.10). Deney prosedürü sırasında yirmi beş döngü tamamlanmıştır.



Şekil 3.10 : Donma-çözünme deneyi numuneleri.

3.3.6.3 UV ışığına karşı dayanım

Polimer esaslı yapıştırıcıların hava koşullarına maruz kalması sırasında bozunmasında en önemli faktörlerden biri güneş ışınımıdır. Ayrıca güneş radyasyonu malzemelerin rengini etkileyebilir. Bu nedenle malzemelerin ultraviyole ışığa maruz kaldıktan sonra bozulma düzeyini belirlemek için UV deneyi yapılmıştır. Ahşap-cam kompozit numuneler 400 W UV lambasının 75 cm altına yerleştirilmiş ve 28 gün boyunca UV ışığına maruz bırakılmıştır (Şekil 3.11). 28 gün sonra numunelerin renk değişimleri incelenerek kayma deneyleri yapılmıştır (ASTM D7032 – 21).



Şekil 3.11 : UV ışığına maruz kalan deney numuneleri.

Spektrofotometre ölçümleri

Spektrofotometre ölçümleri ile belirlenen renk değişimi için ASTM D7032-21 standardı kullanılmıştır. Toplamda 12 adet numune 20°C ve %50 BN koşulları altında 24 saat bekletilmiştir. Sonrasında ilk koşul olarak kolorimetrik koordinatları $a_{(0)}$ ölçülmüştür (Şekil 3.12). Ardından, numuneler 400W gücündeki lambadan 75 cm uzaklıkta olacak şekilde, 28 gün süreyle UV ışığına maruz bırakılmışlardır. 28 gün sonrasında numunelerin kolorimetrik koordinatları tekrar ölçülerek ilk değerle karşılaştırılmış ve görsel olarak renk değişimi incelenmiştir (ASTM D4329-21).

CM2600-d spektrofotometre, D65/10°C parlaklığa ve 8° küresel geometriye sahip CIE L*a*b*2 olan bir sistemdir. Bu sistemde L* parlaklık, a* ve b* ise 2 boyutlu yüzeyin renkölçümsel koordinatlarıdır. a* koordinatı pozitif (+) olduğunda kırmızıya, negatif (-) olduğunda yeşile döner. b* koordinatı pozitif (+) olduğunda sarıya, negatif (-) olduğunda maviye döner. Malzemenin fotometrik özelliği aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$R_{\text{final}} = \frac{a_{(0)} - a_{(28)}}{a_{(0)}} \times 100$$

$a_{(0)}$: UV lambasına maruz kalmadan önceki kolorimetrik koordinatlar

$a_{(\text{final})}$: 28 gün süresince UV lambasına maruziyet sonrası kolorimetrik koordinatlar

$R_{(\text{final})}$: 28 gün sonra ölçülen renk değişiminin yüzdesi

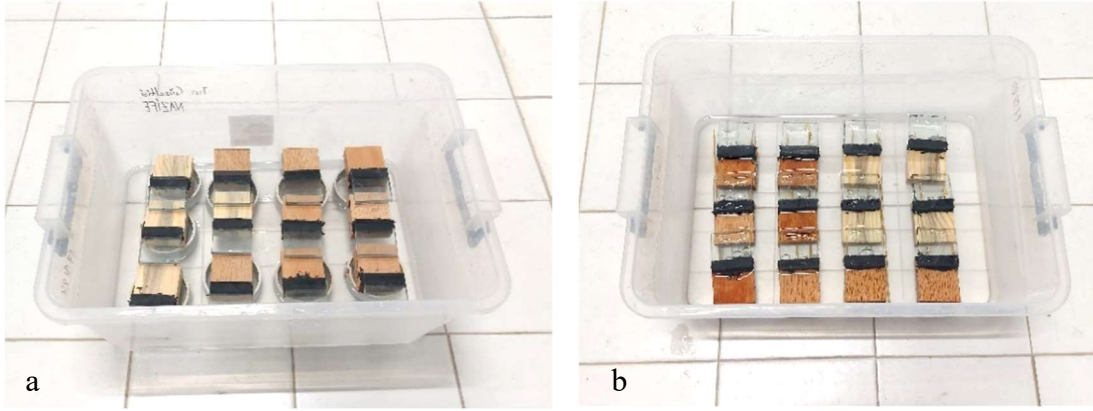


Şekil 3.12 : Renk değişimi tayini için kullanılan spektrofotometre cihazı.

3.3.6.4 Asitlere karşı dayanım

Kompozitin kükürt dioksite karşı direnci, deney numunelerinin %5 kükürt dioksit (SO₂) konsantrasyonu ile 28 gün boyunca ağzı kapalı bir kap içerisine yerleştirilmesiyle belirlenmiştir. On iki adet kesme deneyi numunesi, kaptaki bir altlık üzerinde, asit çözeltisinin yaklaşık 50 mm yukarısında yatay olarak tutulmuştur (Şekil 3.13a). 28 gün sonra numuneler kaplardan çıkarılmış ve desikatörde saklanan referans numuneyle karşılaştırılmıştır. Renk değişiklikleri gibi gözlemlenen bozulmalar kaydedilmiştir.

SO₂ deneyi ile aynı sayıda numune, 7 gün süreyle %10'luk HCl çözeltisi içeren su banyosuna yerleştirilmiştir (Şekil 3.13b). Yedi gün sonra numuneler çözültiden çıkarılmış ve görünüşleri referans numunelerle karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.13 : SO₂ (solda) ve HCl konsantrasyonu (sağda) üzerine yerleştirilen numuneler.

3.3.6.5 Yüksek sıcaklığa karşı dayanım

Yüksek sıcaklığın kompozit malzeme üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla kayma numuneleri 70°C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. İlk olarak ahşap-cam kompozit numuneler hassas terazide tartılmış, ardından etüvde 2 saat boyunca 70 °C'ye maruz bırakılmıştır. Daha sonra tüm numuneler etüvden çıkarılarak tartılmıştır.

4. DENEY SONUÇLARI

4.1 Kayma DeneYleri Sonuçları

Ahşap-cam numuneler için laboratuvar koşullarında ve yaşlandırma deneyleri sonrasında belirlenen ortalama kayma mukavemetleri, Woodwisdom-Net kapsamında huş kontrplak kullanılarak yapılan çalışmanın sonuçlarıyla birlikte Çizelge 4.1'de verilmiştir (Büyüktaşkin ve diğ, 2019).

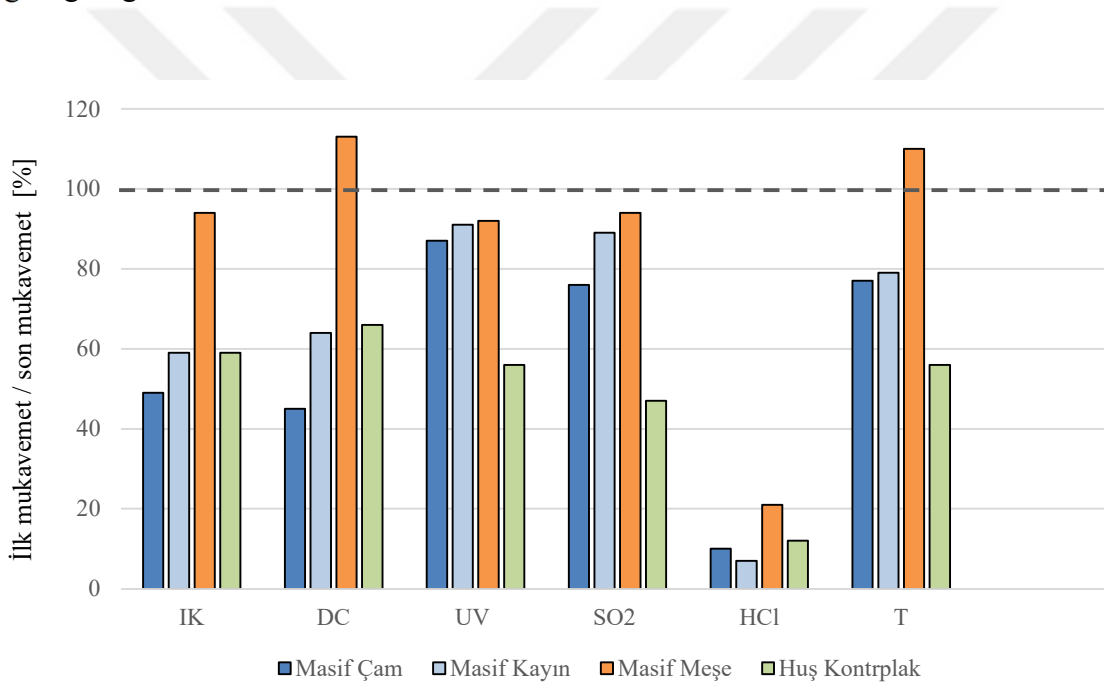
Çizelge 4.1 : Dayanıklılık deneyleri öncesi ve sonrası ortalama kayma mukavemeti değerleri ve dayanıklılık deneyleri sonrası değişim oranları.

Deney Koşulları	Masif Ahşap						Kontrplak
	Çam		Kayın		Meşe		Huş
Laboratuvar Koşulları (23 °C, %50 BN)							
Ortalama Kayma Mukavemeti (N/mm ²)	1,97		1,80		1,51		0,91
Islanma-Kuruma							
Ortalama Kayma Mukavemeti (N/mm ²)	0,97		1,06		1,41		0,54
Değişim Yüzdesi	-51%		-41%		-6%		-41%
Donma-Çözünme							
Ortalama Kayma Mukavemeti (N/mm ²)	0,40	0,89*	0,33	1,15*	1,53	1,70*	0,6
Değişim Yüzdesi	-80%	-55%*	-82%	-36%*	2%	13%*	-34%
UV Etkisi							
Ortalama Kayma Mukavemeti (N/mm ²)	1,72		1,63		1,38		0,51
Değişim Yüzdesi	-13%		-9%		-8%		-44%
Asit Dayanımı (SO₂)							
Ortalama Kayma Mukavemeti (N/mm ²)	1,50		1,61		1,42		0,43
Değişim Yüzdesi	-24%		-11%		-6%		-53%
Asit Dayanımı (HCl)							
Ortalama Kayma Mukavemeti (N/mm ²)	0,19		0,13		0,31		0,11
Değişim Yüzdesi	-90%		-93%		-79%		-88%
Yüksek Sıcaklık							
Ortalama Kayma Mukavemeti (N/mm ²)	1,52		1,42		1,66		0,51
Değişim Yüzdesi	-23%		-21%		10%		-44%

*Çözünmenin havada gerçekleştiği deney sonuçları.

4.1.1 Laboratuvar koşulu

Laboratuvar koşullarında, en yüksek ortalama kayma dayanımı değeri 1,97 N/mm² değeri ile masif çam ağacı kullanılan numunelerden elde edilmiştir. Kayın ve meşe ağacı kullanılan numunelerin ortalama kayma mukavemeti değerleri ise sırasıyla 1,80 ve 1,51 N/mm²'dir. Huş kontrplak kullanılarak gerçekleştirilen deney sonuçlarında ise ortalama kayma mukavemeti 0,91 N/mm² olarak belirtilmiştir. Şekil 4.1, masif çam, kayın, meşe ve huş kontrplak ile oluşturulmuş numunelerin, başlangıç kayma mukavemetleri referans alınarak oluşturulmuş ıslanma kuruma (IK), donma çözünme (DC), UV ışığına karşı dayanım (UV), SO₂ atmosferine maruz kalma (SO₂), HCl asidine (HCl) ve yüksek sıcaklığa (T) maruz kalma sonrası değer değişimlerinin grafiğini göstermektedir.



Şekil 4.1 : Kayma numunelerinin başlangıç mukavemetleri referans alınarak oluşturulmuş değer değişimleri.

4.1.2 Islanma-kuruma koşulu

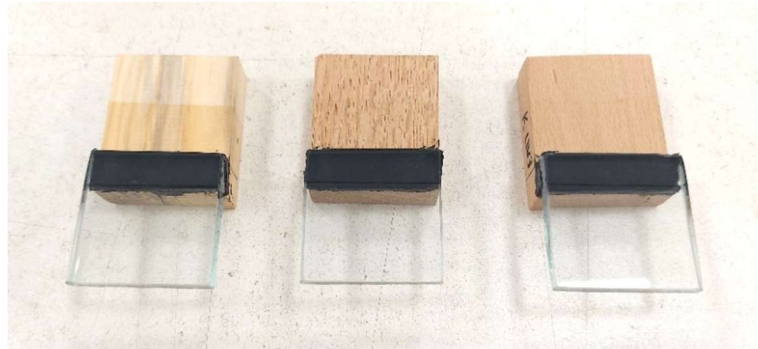
Islanma-kuruma deneyleri sonrasında laboratuvar koşullarındaki değerine göre ortalama kayma mukavemetindeki en büyük azalma, %51 ile masif çam numunelerinde gözlemlenmiştir. Bu değer hem masif kayın hem de huş kontrplak için %41 iken en az etkilenen masif meşe numunelerinde %6 oranında bir azalma gerçekleşmiştir.

4.1.3 Donma-çözünme koşulu

Donma-çözünme deneyi için Çizelge 4.1’de her bir masif ahşap için verilen birinci ve ikinci değerler sırasıyla suda ve havada çözünme sonuçlarıdır. Masif çam ve kayın ağacının değerleri, suda çözünmede yaklaşık %80 oranında azalırken, havada sırasıyla %55 ve %36 oranında azalmıştır. Diğer üç ağaç türüyle karşılaştırıldığında masif meşe örnekleri %2 ve %13'lük değişimle daha az etkilenmiştir. Sonuçlar, suda çözünmenin, havada çözünmeye kıyasla mukavemeti önemli ölçüde azalttığını göstermiştir. Nicklisch ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışma (2016), ahşap ve cam arasındaki silikon yapıştırıcının dayanıklılığını farklı yaşlandırma senaryolarıyla değerlendirmiştir. Çalışma, yapıştırıcının sıcaklığa bağlı malzeme davranışını ortaya çıkarmıştır. Söz konusu çalışmada başlangıç değerleri ile karşılaştırıldığında, -20 °C'lik deney sıcaklığında mukavemet değerleri artmıştır. Bu tez kapsamındaki çalışmada donma-çözünme deneyinde suyun etkisinden dolayı ortalama kayma mukavemeti değerleri genel olarak azalmıştır. Ancak masif meşe ağacının sudan daha az etkilenmesi değerlerinin masif kayın ve çam ağacına göre daha yüksek çıkmasına yol açmış olabilir.

4.1.4 UV ışığına maruziyet koşulu

UV ışığına maruz kaldıktan sonra mukavemetteki en büyük değişim %13 ile masif çam numunelerinde meydana gelmiştir. Masif kayın ve meşe kullanılan numunelerde bu oran yaklaşık %9 iken, huş kontrplak numunelerinde bu azalma %44'tür. Huş kontrplak ile yapılan deneylerde gözlemlendiği gibi masif ahşap numuneler de UV ışığına maruz kaldıktan sonra renk koyulaşması söz konusudur. En belirgin renk değişimi masif çam ağacında gözlemlenirken, en az değişim ise masif meşe numunelerinde görülmüştür (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 : UV ışığına maruz bırakılan çam, meşe ve kayın numunelerindeki renk değişimleri.

Renk değişimi, spektrofotometre kullanılarak ölçülmüş ve sonuçlar Çizelge 4.2’de verilmiştir. UV etkisi altında masif ahşapların rengi koyulaşmış ve renk kaybı değerleri pozitiften negatife değişmiştir. Bu sonuç masif ahşaptaki renk değişimini desteklemektedir.

Çizelge 4.2 : UV etkisi sonrası spektrofotometrede ölçülen renk değişim yüzdeleri.

	Masif Çam	Masif Kayın	Masif Meşe
R_{final}	-43,60	-39,00	-15,71

4.1.5 Asite maruziyet koşulları

Tüm ahşap türleri için en düşük ortalama kayma mukavemeti değerleri HCl asit içerisine daldırılan numunelerden elde edilmiştir. Masif çam ve kayın ağacı kullanılan numunelerde laboratuvar koşullarındaki ortalama kayma dayanımlarına göre yaklaşık %90’lık bir azalma gözlemlenirken, masif meşe kullanılan numunelerde bu değer yaklaşık %80’dir. Huş kontrplak kullanılarak yapılan çalışmada ise %88 oranında azalma olduğu belirtilmiştir.

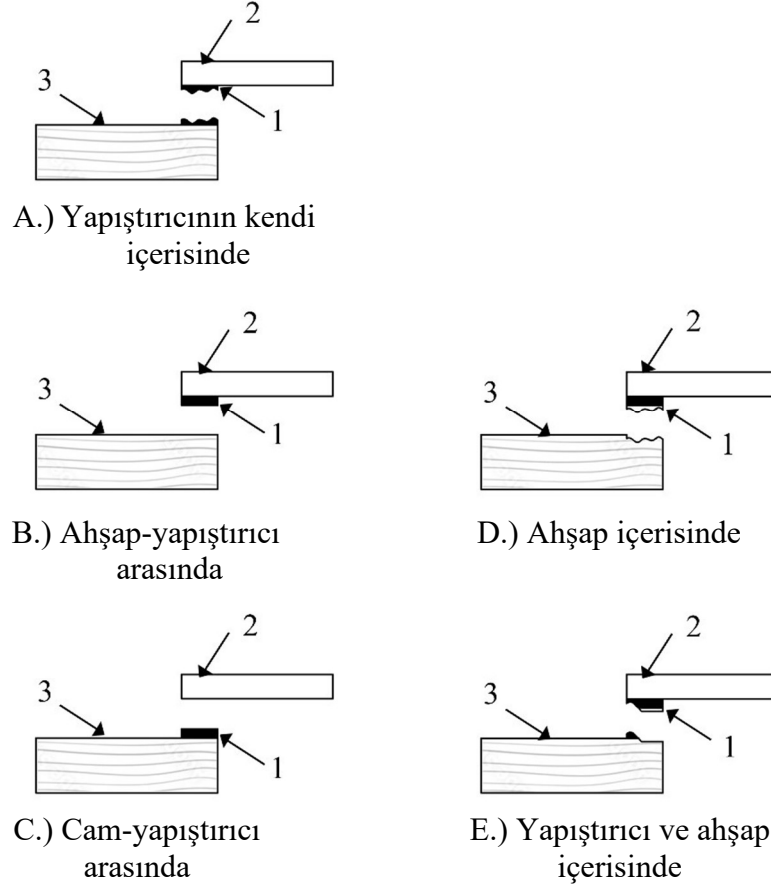
HCl asit ile karşılaştırıldığında SO_2 ’nin masif ahşap numuneler üzerindeki etkisi oldukça düşüktür. En yüksek değişim %24 ile masif çam kullanılan numunelerde görülürken, en düşük değişim %6 ile masif meşe kullanılan numunelerde gözlenmiştir. Huş kontrplak için bu değer %53 olarak belirtilmektedir. Huş kontrplak numunelerinde olduğu gibi SO_2 ’ye maruz kalan masif ahşap numunelerinde de herhangi bir boyutsal deformasyon veya renk değişikliği tespit edilmemiştir.

4.1.6 Yüksek sıcaklık koşulu

70°C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerden, masif çam ile oluşturulanların ortalama kayma mukavemetleri, ilk kayma mukavemetlerine kıyasla %23 oranında azalmıştır. Bu değer masif kayın ağacında %21 oranında azalırken, masif meşe ağacında %10 oranında artış göstermiştir. Huş kontrplak kullanılarak yapılan deneyde yüksek sıcaklık, ortalama kayma mukavemetini %44 oranında azaltmıştır. Daha önce bahsedilen çalışmalarda olduğu gibi (Nicklisch ve diğerleri, 2016), masif ahşap-cam kompozitlerinin yüksek sıcaklıklara maruz kalması genellikle ortalama kayma mukavemetinde azalmaya sebep olmaktadır.

4.2 Kayma Deneyleri Sonrasında Numunelerde Görülen Kopma Türleri

Her bir masif türü için, dayanıklılık deneyleri öncesi ve sonrası kayma mukavemeti değerleri ile meydana gelen kopma şekillerine aşağıda yer verilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 : Ahşap-cam kompozitlerde meydana gelen kopma şekilleri. 1.) Silikon yapıştırıcı, 2.) Cam, 3.) Masif ahşap

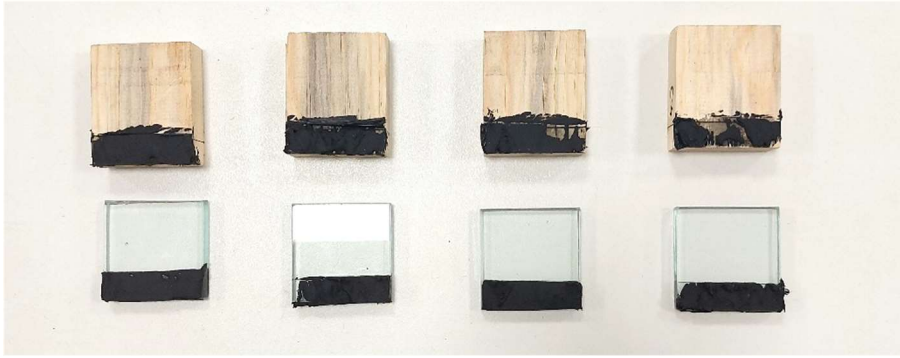
4.2.1 Masif çam ile oluşturulmuş numuneler

Masif çam ile oluşturulmuş numunelerde, yapıştırıcı ile ahşap yüzeyi arasındaki kopma tüm dayanıklılık deneyleri sonrasında görülmüştür (Çizelge 4.3). HCl asitine karşı dayanım haricindeki tüm dayanıklılık deneyleri sonrasında da yapıştırıcının kendi içerisinde kopma meydana gelmiştir. Masif çam numunelerinde kopma türleri içerisinde, yapıştırıcı ile cam yüzeyi arasında gerçekleşen kopma, en az gözlemlenen kopma şekli olmuştur.

Çizelge 4.3 : Masif çam ile oluşturulmuş numunelerin dayanıklılık deneyleri öncesi ve sonrası mukavemet değerleri ile meydana gelen kopma şekilleri.

Deney Koşulları	Masif Çam Numuneleri			
	Ortalama Kayma Mukavemeti (N/mm ²)	Kopma Şekli		
		A	B	C
Laboratuvar koşulları (23°C, %50 BN)	1,97	+	+	+
Islanma-kuruma	0,97	+	+	-
Donma-çözünme	0,42-0,89	+	+	-
Asite karşı dayanım (HCl)	0,19	-	+	-
Asite karşı dayanım (SO ₂)	1,5	+	+	+
UV etkisi	1,72	+	+	+
Yüksek sıcaklık	1,77	+	+	+

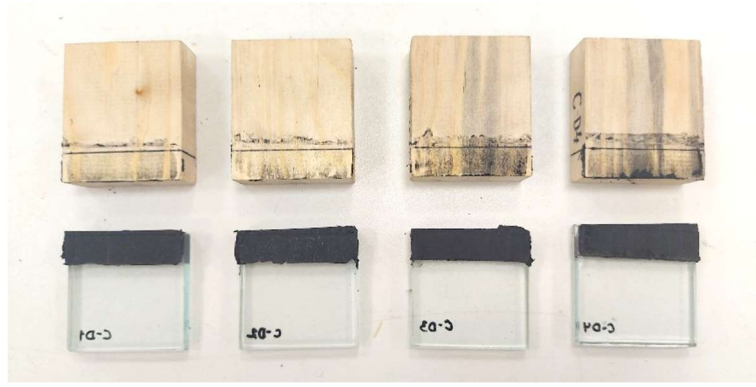
- A: Yapıştırıcının kendi içerisinde kopma
 B: Yapıştırıcı ile ahşap yüzeyi arasında kopma
 C: Yapıştırıcı ile cam yüzeyi arasında kopma



Şekil 4.4 : Masif çam ile oluşturulmuş numunelerin laboratuvar koşulları kayma deneyi sonucu.



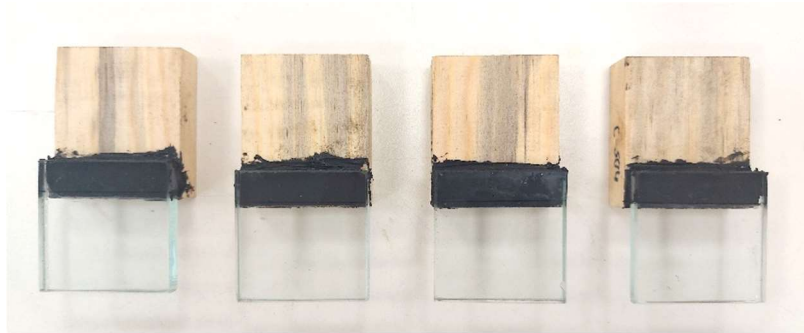
Şekil 4.5 : Masif çam ile oluşturulmuş numunelerin ıslanma-kuruma sonrası kayma deneyi sonucu.



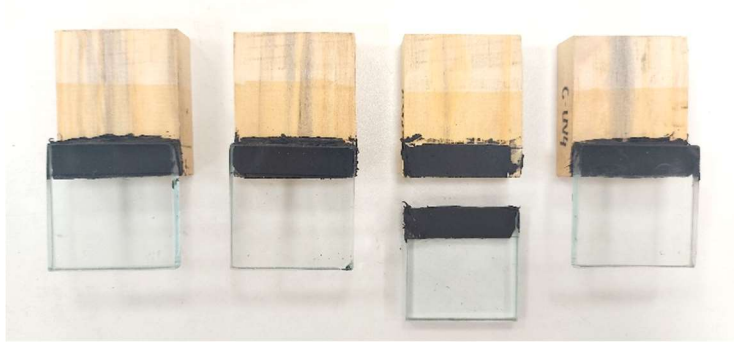
Şekil 4.6 : Masif çam ile oluşturulmuş numunelerin donma-çözünme çevrimleri ardından yapılan kayma deneyi sonucu.



Şekil 4.7 : Masif çam ile oluşturulmuş numunelerin HCl asite maruz bırakılmasının ardından yapılan kayma deneyi sonucu.



Şekil 4.8 : Masif çam ile oluşturulmuş numunelerin SO₂ asite maruz bırakılmasının ardından yapılan kayma deneyi sonucu.



Şekil 4.9 : Masif çam ile oluşturulmuş numunelerin UV ışığa maruziyetinin ardından yapılan kayma deneyi sonucu.



Şekil 4.10 : Masif çam ile oluşturulmuş numunelerin yüksek sıcaklığa maruziyetinin ardından yapılan kayma deneyi sonucu.

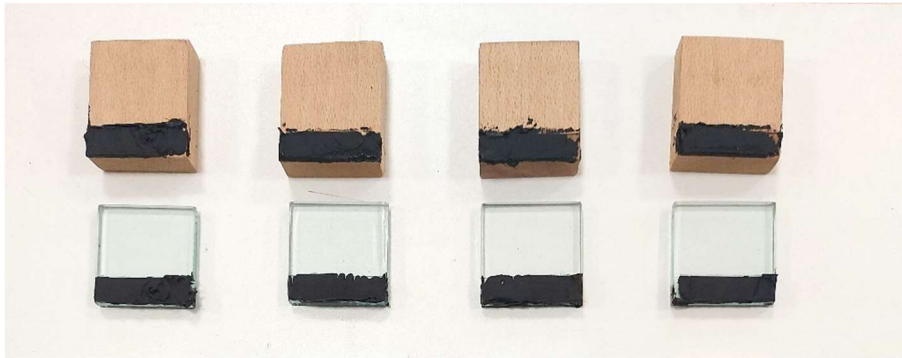
4.2.2 Masif kayın ile oluşturulmuş numuneler

Hem yapıştırıcının kendi içerisinde kopma hem de yapıştırıcı ile ahşap yüzeyi arasında meydana gelen kopma tüm dayanıklılık deneyleri sonrası görülmüştür (Çizelge 4.4). Masif kayın numunelerinde, yapıştırıcı ile cam yüzeyi arasında gerçekleşen kopma türü ıslanma-kuruma ve SO₂ asidine karşı dayanım deneyleri sonrası gözlemlenmiştir.

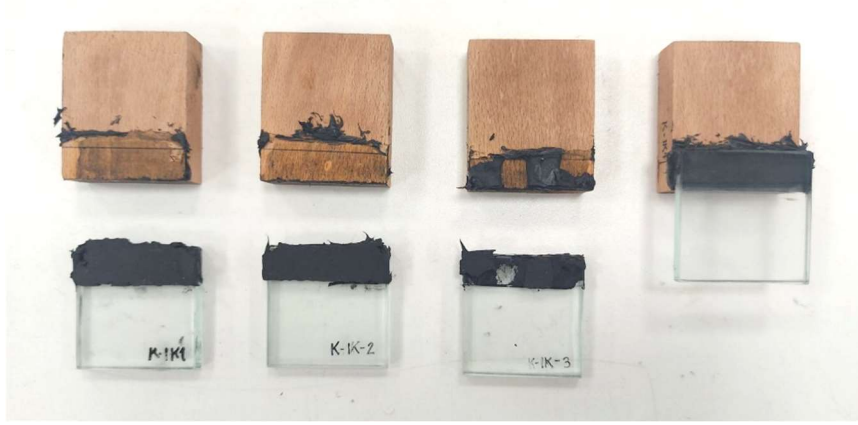
Çizelge 4.4 : Masif kayın ile oluşturulmuş numunelerin dayanıklılık deneyleri öncesi ve sonrası mukavemet değerleri ile meydana gelen kopma şekilleri.

Deney Koşulları	Masif Kayın Numuneleri			
	Ortalama Kayma Mukavemeti (N/mm ²)	Kopma Şekli		
		A	B	C
Laboratuvar koşulları (23°C, %50 BN)	1,80	+	+	-
Islanma-kuruma	1,06	+	+	+
Donma-çözünme	0,33-1,15	+	+	-
Asite karşı dayanım (HCl)	0,13	+	+	-
Asite karşı dayanım (SO ₂)	1,61	+	+	+
UV etkisi	1,93	+	+	-
Yüksek sıcaklık	1,78	+	+	-

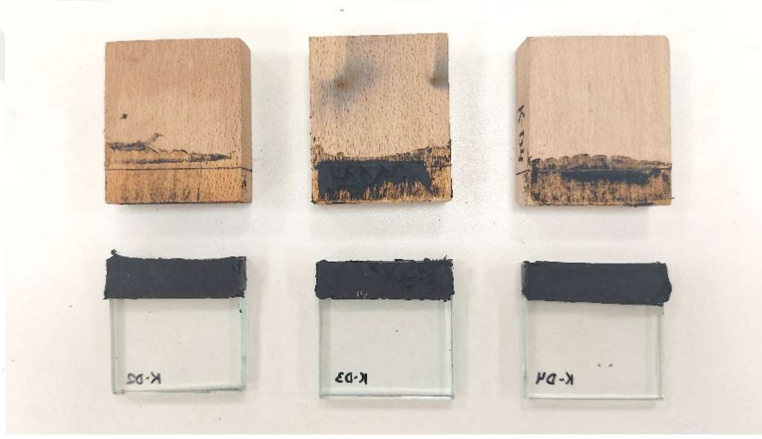
- A: Yapıştırıcının kendi içerisinde kopma
B: Yapıştırıcı ile ahşap yüzeyi arasında kopma
C: Yapıştırıcı ile cam yüzeyi arasında kopma



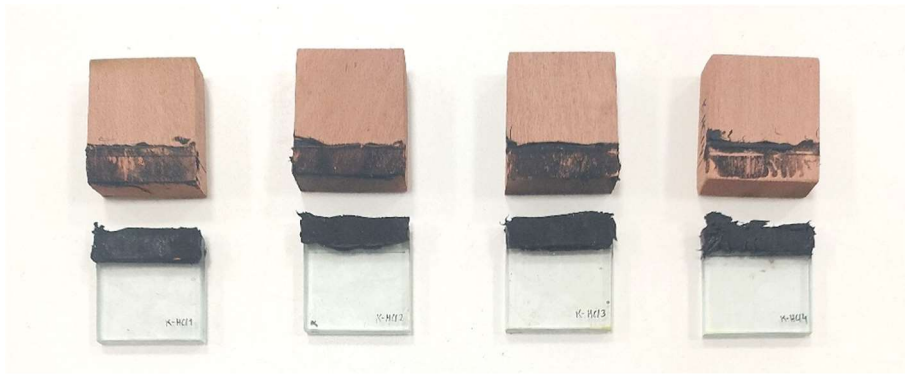
Şekil 4.11 : Masif kayın ile oluşturulmuş numunelerin laboratuvar koşulları kayma deneyi sonucu.



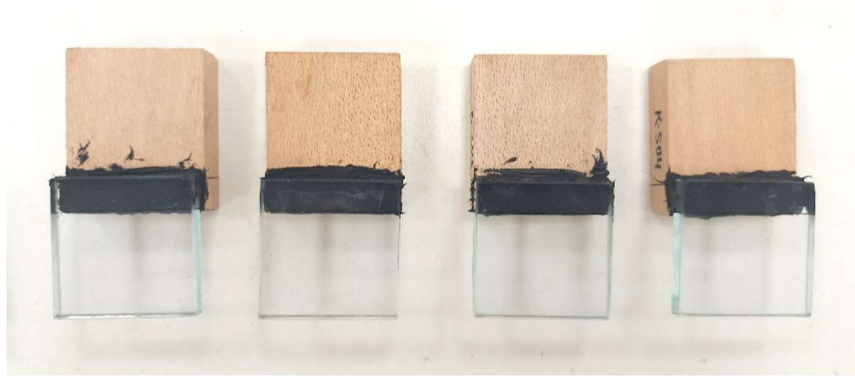
Şekil 4.12 : Masif kayın ile oluşturulmuş numunelerin ıslanma-kuruma sonrası kayma deneyi sonucu.



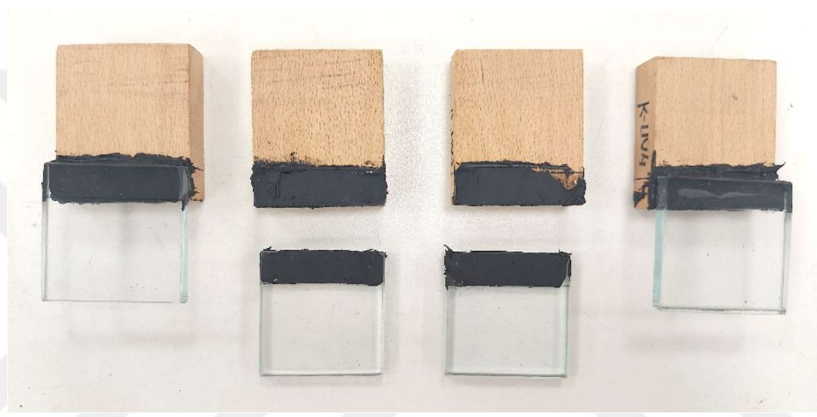
Şekil 4.13 : Masif kayın ile oluşturulmuş numunelerin donma-çözünme çevrimleri ardından yapılan kayma deneyi sonucu.



Şekil 4.14 : Masif kayın ile oluşturulmuş numunelerin HCl asite maruz bırakılmasının ardından yapılan kayma deneyi sonucu.



Şekil 4.15 : Masif kayın ile oluşturulmuş numunelerin SO₂ asite maruz bırakılmasının ardından yapılan kayma deneyi sonucu.



Şekil 4.16 : Masif kayın ile oluşturulmuş numunelerin UV ışığa maruziyetinin ardından yapılan kayma deneyi sonucu.



Şekil 4.17 : Masif kayın ile oluşturulmuş numunelerin yüksek sıcaklığa maruziyetinin ardından yapılan kayma deneyi sonucu.

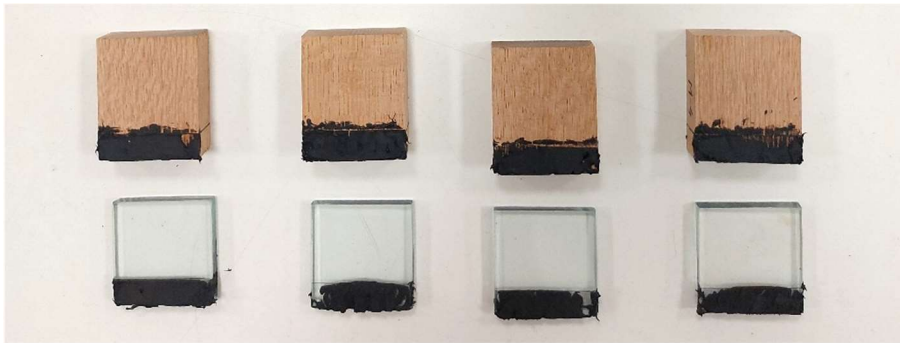
4.2.3 Masif meşe ile oluşturulmuş numuneler

Masif kayın ile oluşturulan numunelerde olduğu gibi masif meşe numunelerinde de, hem yapıştırıcının kendi içerisinde kopma hem de yapıştırıcı ile ahşap yüzeyi arasındaki kopma tüm dayanıklılık deneyleri sonrası gözlemlenmiştir (Çizelge 4.5). Yapıştırıcı ile cam yüzeyi arasındaki kopma, masif meşe numunelerinde laboratuvar koşulunda ve ıslanma-kuruma deneyi sonrasında gözlemlenmiştir.

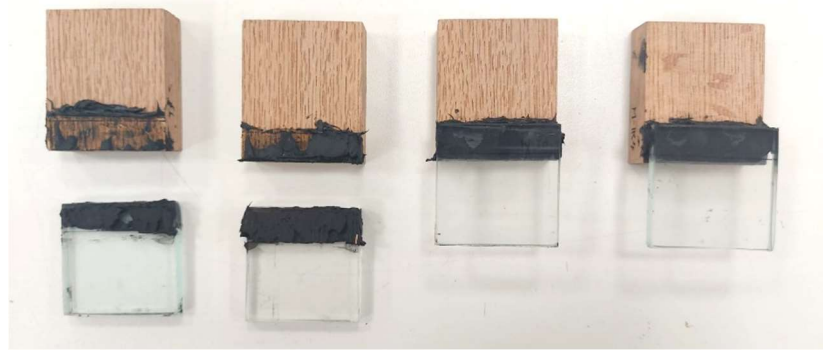
Çizelge 4.5 : Masif meşe ile oluşturulmuş numunelerin dayanıklılık deneyleri öncesi ve sonrası mukavemet değerleri ile meydana gelen kopma şekilleri.

Deney Koşulları	Masif Meşe Numuneleri			
	Ortalama Kayma Mukavemeti (N/mm ²)	Kopma Şekli		
		A	B	C
Laboratuvar koşulları (23°C, %50 BN)	1,47	+	+	+
Islanma-kuruma	1,41	+	+	+
Donma-çözünme	1,57-1,75	+	+	-
Asite karşı dayanım (HCl)	0,31	+	+	-
Asite karşı dayanım (SO ₂)	1,59	+	+	-
UV etkisi	1,87	+	+	-
Yüksek sıcaklık	1,66	+	+	-

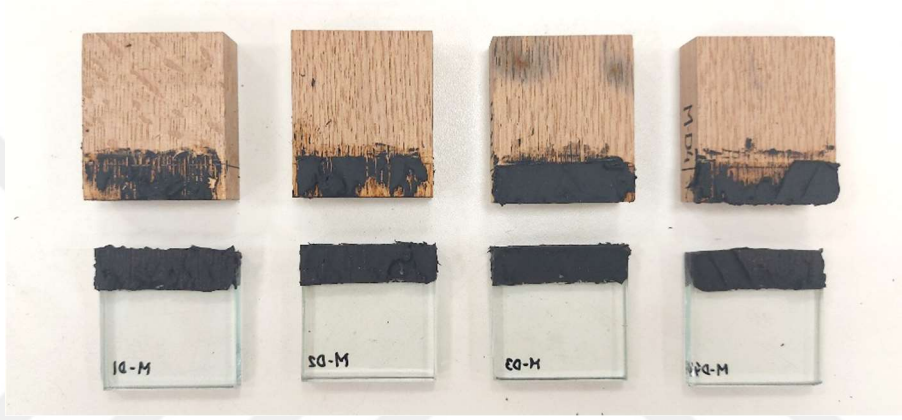
- A: Yapıştırıcının kendi içerisinde kopma
B: Yapıştırıcı ile ahşap yüzeyi arasında kopma
C: Yapıştırıcı ile cam yüzeyi arasında kopma



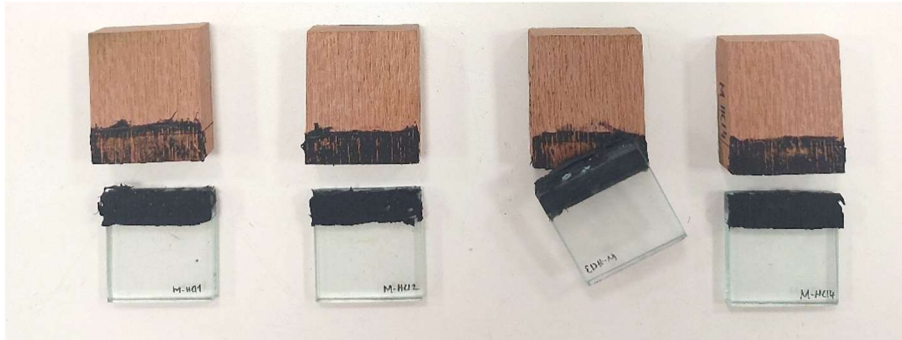
Şekil 4.18 : Masif meşe ile oluşturulmuş numunelerin laboratuvar koşulları kayma deneyi sonucu.



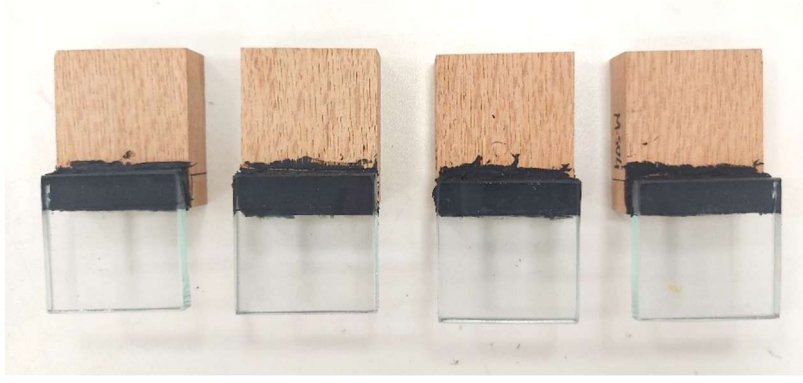
Şekil 4.19 : Masif meşe ile oluşturulmuş numunelerin ıslanma-kuruma sonrası kayma deneyi sonucu.



Şekil 4.20 : Masif meşe ile oluşturulmuş numunelerin donma-çözünme çevrimleri ardından yapılan kayma deneyi sonucu.



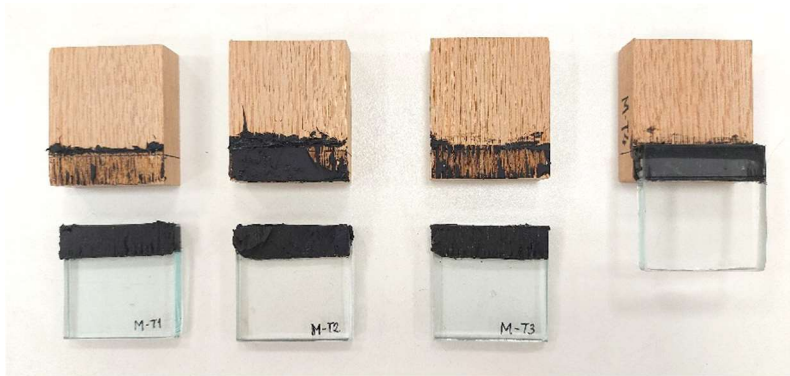
Şekil 4.21 : Masif meşe ile oluşturulmuş numunelerin HCl asite maruz bırakılmasının ardından yapılan kayma deneyi sonucu.



Şekil 4.22 : Masif meşe ile oluşturulmuş numunelerin SO₂ asite maruz bırakılmasının ardından yapılan kayma deneyi sonucu.



Şekil 4.23 : Masif meşe ile oluşturulmuş numunelerin UV ışığa maruziyetinin ardından yapılan kayma deneyi sonucu.



Şekil 4.24 : Masif meşe ile oluşturulmuş numunelerin yüksek sıcaklığa maruziyetinin ardından yapılan kayma deneyi sonucu.

4.2.4 Huş kontrplak ile oluşturulmuş numuneler

Huş kontrplak ile oluşturulmuş olan numunelerde hem yapıştırıcının kendi içerisinde kopma hem de yapıştırıcı ile ahşap yüzeyi arasındaki kopma türü dayanıklılık deneyleri sonrası gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, yapıştırıcı ve cam arasında oluşan kopma türü hiç görülmemiştir (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6 : Huş kontrplak ile oluşturulmuş numunelerin dayanıklılık deneyleri öncesi ve sonrası mukavemet değerleri ile meydana gelen kopma şekilleri.

Deney Koşulları	Huş Kontrplak Numuneleri			
	Ortalama Kayma Mukavemeti (N/mm ²)	Kopma Şekli		
		A	B	C
Laboratuvar koşulları (23°C, %50 BN)	0,91	+	+	-
Islanma-kuruma	0,54	+	+	-
Donma-çözünme	0,6	+	-	-
Asite karşı dayanım (HCl)	0,11	+	-	-
Asite karşı dayanım (SO ₂)	0,43	+	+	-
UV etkisi	0,51	+	+	-
Yüksek sıcaklık	0,49	+	+	-

A: Yapıştırıcının kendi içerisinde kopma

B: Yapıştırıcı ile ahşap yüzeyi arasında kopma

C: Yapıştırıcı ile cam yüzeyi arasında kopma

4.3 Pull-off Deneylerinin Sonuçları

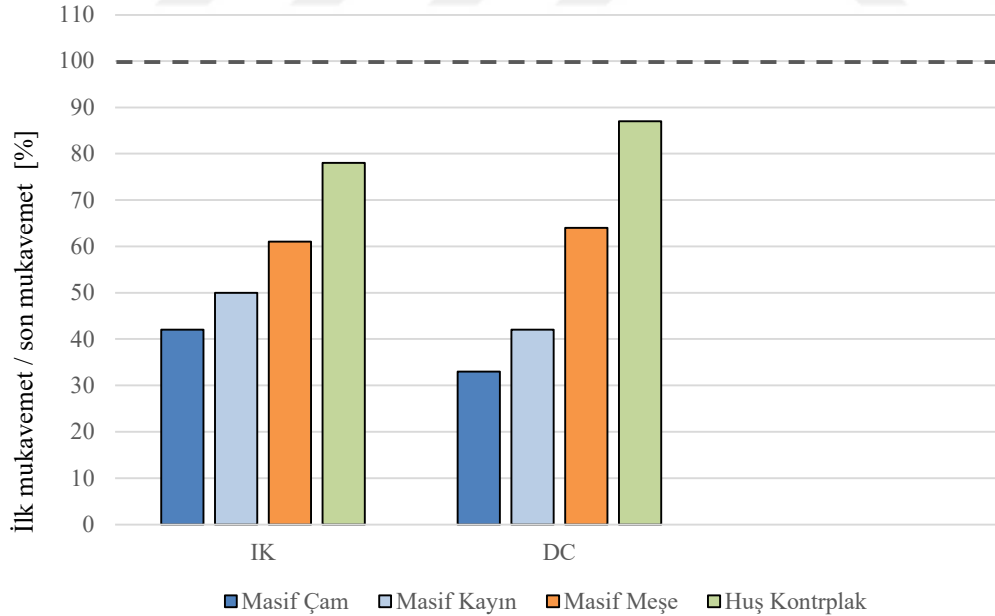
Kayma deneyi sonuçlarında olduğu gibi laboratuvar koşullarında mukavemet değeri en yüksek masif çam ile oluşturulmuş numunelerde gözlemlenmiştir. Islanma-kuruma ve donma-çözünme deneylerinde mukavemet kaybı en fazla çam numunelerinde oluşurken, en az etkilenenler masif meşe ile oluşturulmuş numuneler olmuştur (Çizelge 4.7).

Şekil 4.25; masif çam, kayın, meşe ve huş kontrplak ile oluşturulmuş pull-off numunelerinin, başlangıç çekme mukavemetleri referans alınarak oluşturulmuş ıslanma kuruma (IK) ve donma çözünme (DC) deneyleri sonrası değer değişimlerinin grafiğini göstermektedir.

Çizelge 4.7 : Pull-off deneyleri sonucu numunelerin ortalama kayma mukavemeti değerleri.

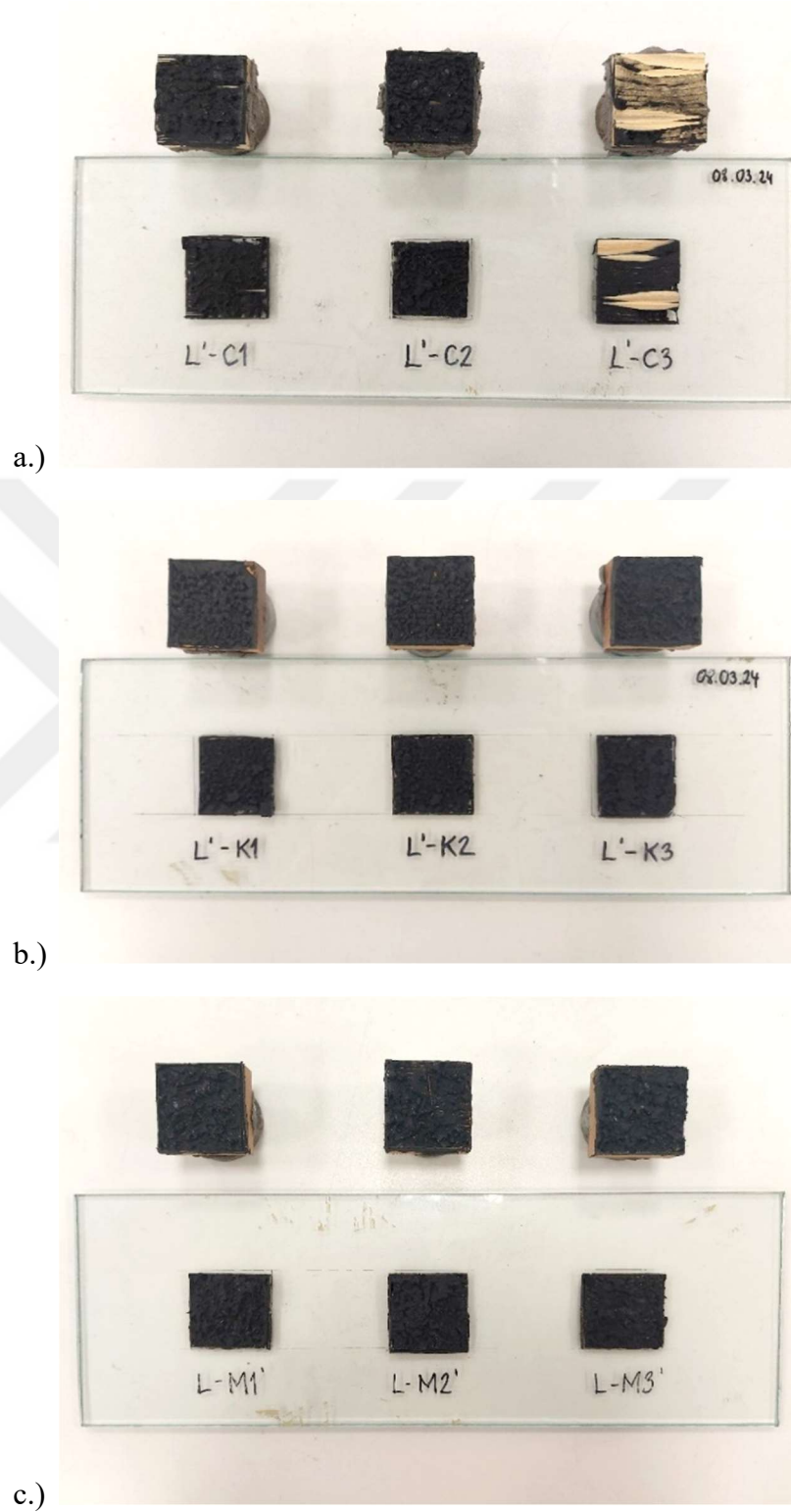
Deney Koşulları	Masif Ahşap			Kontrplak
	Çam	Kayın	Meşe	Huş
Laboratuvar koşulları (23°C, %50 BN)				
Ortalama Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	1,32	1,30	1,24	1,19
Islanma-kuruma				
Ortalama Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	0,56	0,65	0,76	0,93
Değişim Yüzdesi	-%58	-%50	-%39	-%22
Donma-çözünme				
Ortalama Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	0,43	0,55	0,80	1,04
Değişim Yüzdesi	-%67	-%58	-%36	-%13

Kontrplak yapısı gereği tabakalardan oluştuğundan ve içerisinde mevcut olan polimerden kaynaklı olarak, huş kontrplak ile oluşturulmuş pull-off deneyi numunelerinde kopma, ahşap içerisinde gerçekleşmiştir (Çizelge 4.11). Bu durumun, huş kontrplak ile oluşturulmuş numunelerin pull-off mukavemet değerlerinin yüksek çıkmasına neden olduğu düşünülmektedir (Çizelge 4.7).



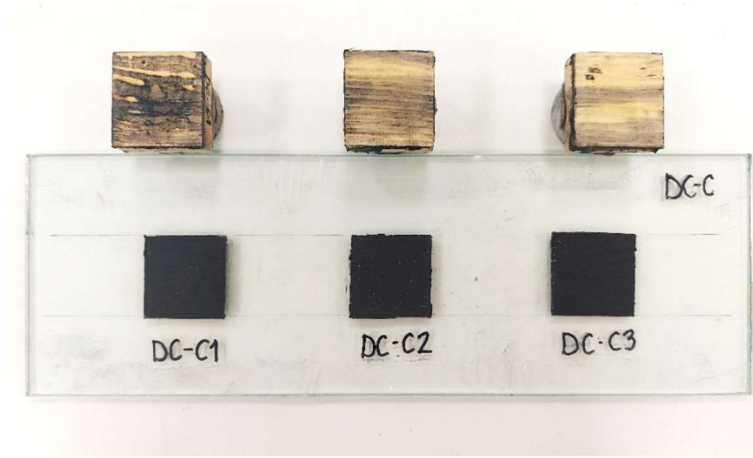
Şekil 4.25 : Pull-off numunelerinin ıslanma-kuruma ve donma çözünme deneyleri sonrası başlangıç mukavemetleri referans alınarak oluşturulmuş değer değişimleri.

4.3.1 Laboratuvar koşulu

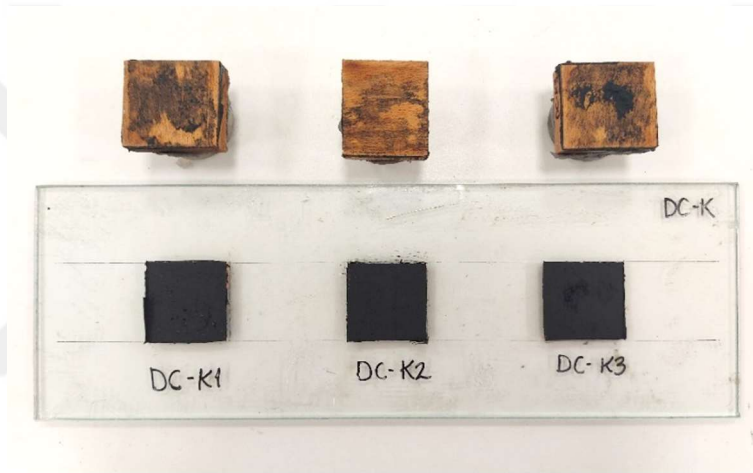


Şekil 4.26 : Laboratuvar koşullarındaki a.) am b.) kayın c.) meşe numunelerinin pull-off deneyi sonuçları.

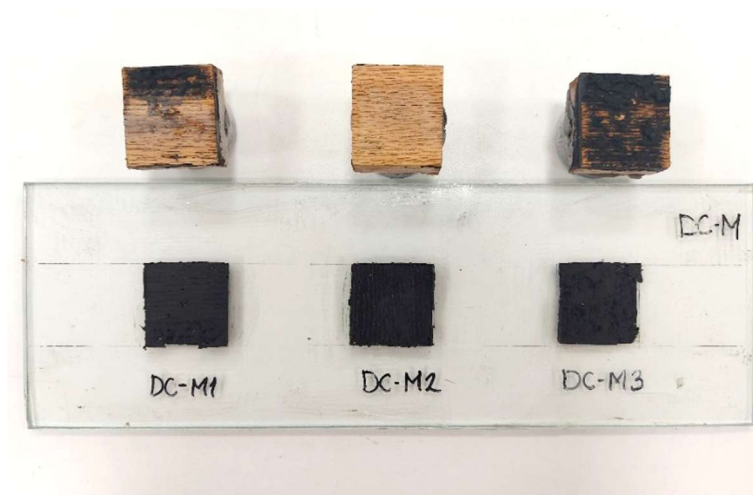
4.3.2 Donma-çözünme koşulu



a.)



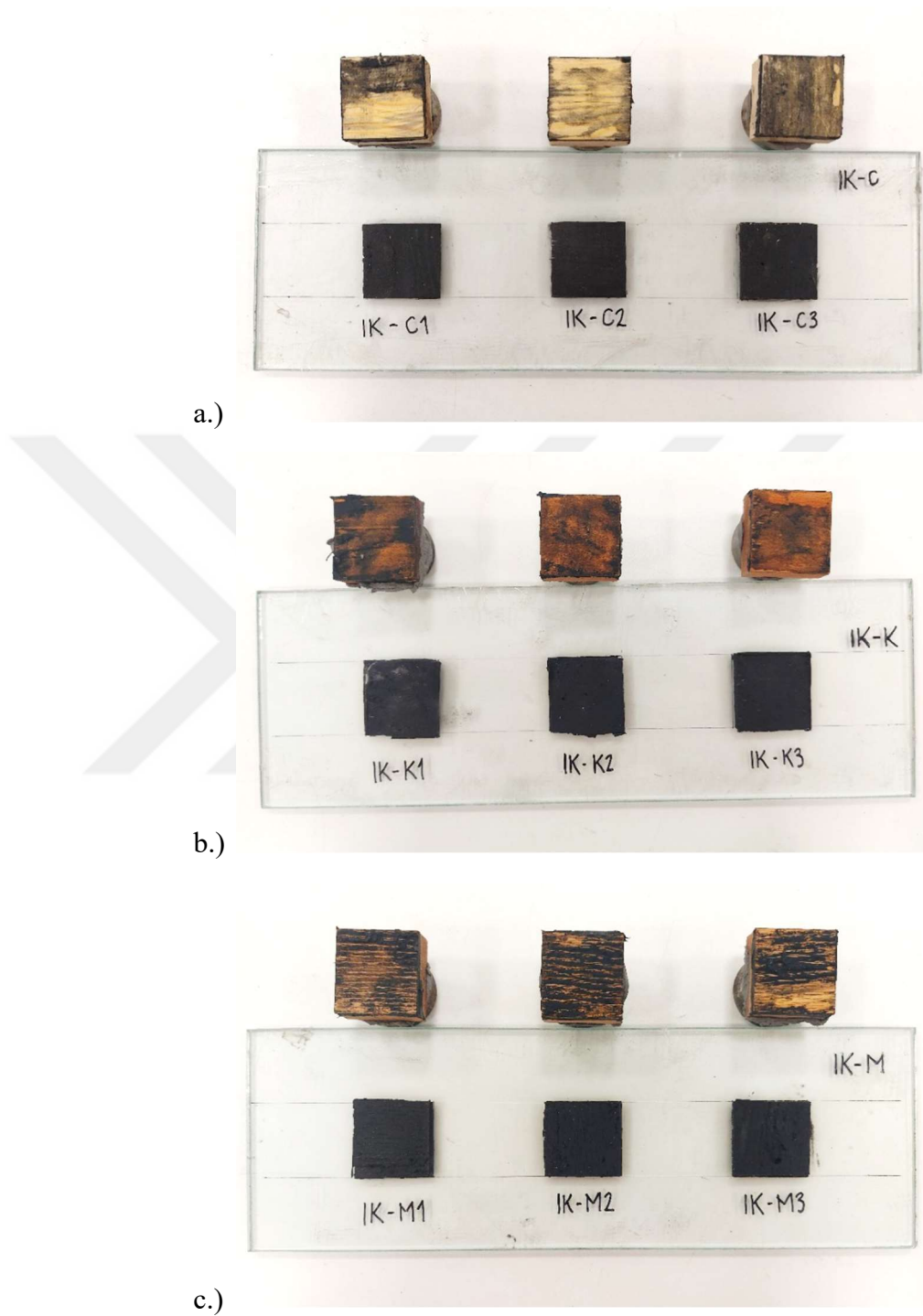
b.)



c.)

Şekil 4.27 : Donma-çözünme deneyleri sonrası a.) çam b.) kayın c.) meşe numunelerinin pull-off deneyi sonuçları.

4.3.3 Islanma-kuruma koşulu

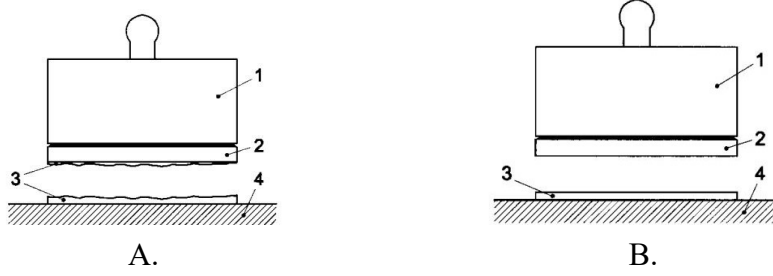


Şekil 4.28 : Islanma-kuruma deneyleri sonrası a.) çam b.) kayın c.) meşe numunelerinin pull-off deneyi sonuçları.

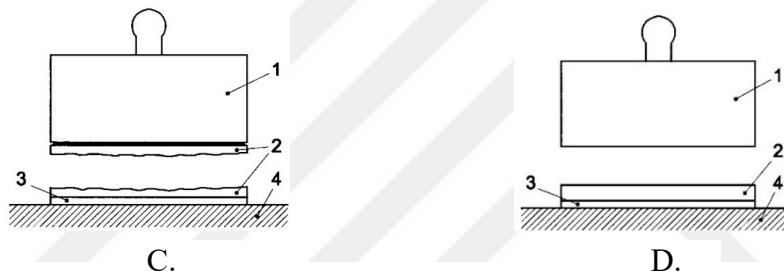
4.4 Pull-off Deneyleri Sonrasında Numunelerde Görülen Kopma Türleri

TS EN 12004-2'ye göre, ahşap-cam kompozit malzemelerde gözlenen kopma şekillerine aşağıda yer verilmiştir (Şekil 4.29, Şekil 4.30, Şekil 4.31).

(1) Pull-off başlığı (2) Masif ahşap (3) Silikon yapıştırıcı (4) Temperli Cam



Şekil 4.29 : A.) Yapıştırıcının kendi içerisinde kopma B.) Ahşap ile yapıştırıcı arasında kopma



Şekil 4.30 : C.) Ahşap içerisinde kopma. D.) Ahşap ile pull-off başlığı arasında kopma.



Şekil 4.31 : E.) Cam içerisinde kopma F.) Yapıştırıcı ile cam arasında kopma

Pull-off deneyleri sonucu, ahşap-cam kompozit numunelerde gözlenmiş olan kopma şekilleri ve ortalama çekme mukavemet değerleri aşağıdaki gibidir.

4.4.1 Masif çam ile oluşturulmuş numuneler

Ahşabın kendi içerisinde gerçekleşen kopma türü yalnızca laboratuvar koşullarındaki çam numunelerinde gözlemlenmiştir (Şekil 4.26a). Yapıştırıcının kendi içerisinde ve yapıştırıcı ile ahşap yüzeyi arasında gerçekleşen kopma türü ise tüm çam numunelerinde gözlemlenmiştir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8 : Masif çam numunelerinde gözlenen kopma şekilleri.

Deney Koşulları	Masif Çam Numuneleri			
	Ortalama Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	Kopma Şekli		
		A	B	C
Laboratuvar koşulları (23°C, %50 BN)	1,32	+	+	+
Islanma-kuruma	0,56	+	+	-
Donma-çözünme	0,43	+	+	-

- A: Yapıştırıcının kendi içerisinde kopma
B: Yapıştırıcı ile ahşap yüzeyi arasında kopma
C: Ahşap içerisinde kopma

4.4.2 Masif kayın ile oluşturulmuş numuneler

Masif kayın numunelerinde ahşap içerisinde kopma gözlemlenmezken, yapıştırıcının kendi içerisinde ve yapıştırıcı ile ahşap yüzeyi arasında gerçekleşen kopma türleri görülmüştür (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9 : Masif kayın numunelerinde gözlenen kopma şekilleri.

Deney Koşulları	Masif Kayın Numuneleri			
	Ortalama Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	Kopma Şekli		
		A	B	C
Laboratuvar koşulları (23°C, %50 BN)	1,30	+	-	-
Islanma-kuruma	0,65	+	+	-
Donma-çözünme	0,55	+	+	-

- A: Yapıştırıcının kendi içerisinde kopma
B: Yapıştırıcı ile ahşap yüzeyi arasında kopma
C: Ahşap içerisinde kopma

4.4.3 Masif meşe ile oluşturulmuş numuneler

Masif meşe numunelerinde; masif kayın numunelerine benzer şekilde, ahşap içerisinde kopma gözlemlenmezken, yapıştırıcının kendi içerisinde ve yapıştırıcı ile ahşap yüzeyi arasında gerçekleşen kopma türleri görülmüştür (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10 : Masif meşe numunelerinde gözlenen kopma şekilleri.

Deney Koşulları	Masif Meşe Numuneleri			
	Ortalama Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	Kopma Şekli		
		A	B	C
Laboratuvar koşulları (23°C, %50 BN)	1,24	+	-	-
Islanma-kuruma	0,76	+	+	-
Donma-çözünme	0,80	+	+	-

A: Yapıştırıcının kendi içerisinde kopma

B: Yapıştırıcı ile ahşap yüzeyi arasında kopma

C: Ahşap içerisinde kopma

4.4.4 Huş kontrplak ile oluşturulmuş numuneler

Huş kontrplak kullanılarak oluşturulmuş olan numunelerde, ahşabın kendi içerisindeki kopma tüm deney koşullarında gözlenmiştir. Yapıştırıcı ile ahşap yüzeyi arasındaki kopma türü gözlemlenmezken, yapıştırıcının kendi içerisindeki kopma labortuvar koşulları ile donma-çözünme sonrası numunelerde görülmüştür (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11 : Huş kontrplak numunelerinde gözlenen kopma şekilleri.

Deney Koşulları	Huş Kontrplak Numuneleri			
	Ortalama Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	Kopma Şekli		
		A	B	C
Laboratuvar koşulları (23°C, %50 BN)	1,19	+	-	+
Islanma-kuruma	0,93	-	-	+
Donma-çözünme	1,04	+	-	+

A: Yapıştırıcının kendi içerisinde kopma

B: Yapıştırıcı ile ahşap yüzeyi arasında kopma

C: Ahşap içerisinde kopma

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

Ahşap-cam kompozit cephe malzemesinin atmosferik koşullar altında mekanik özelliklerini ve dayanıklılığını değerlendirmek amacıyla yapılan deneysel çalışmanın sonuçlarına göre:

- Dayanıklılığın yanı sıra yapışma ve kayma mukavemeti de, ahşap-cam kompozit malzemede kullanılan ahşabın türüne bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.
- Masif meşe ile oluşturulmuş numuneler atmosferik koşullara karşı en fazla dayanıklılığı gösterirken, masif çamla oluşturulmuş numuneler atmosferik koşullardan en çok etkilenenler olmuştur. Öte yandan, masif çamdan yapılan numuneler ortam koşullarında daha yüksek taşıma kapasitesine sahiptir.
- Huş kontrplak kullanılarak yapılan deneylerde olduğu gibi; ahşap-cam kompozit malzemelerin kayma kuvvetleri altında taşıma kapasitesini en çok etkileyen koşullar, hidroklorik asit (HCl) ve donma-çözünme olmuştur.
- Masif çam haricinde, masif kayın ve meşe ile oluşturulmuş numunelerin ahşaplarında yapısal bütünlük bozulmamıştır.
- Suyla temas ahşabı önemli ölçüde etkilediğinden, ahşap yüzeyin suyla teması engellenerek kompozit malzemenin yük taşıma performansı artırılabilir.
- Sonuç olarak, ahşap-cam kompozit cephe malzemelerinde masif meşe ağacının kullanılmasının, genel olarak atmosfer şartlarına dayanıklılık açısından iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.



KAYNAKLAR

- Akbulut, T.** (Ed.). (2024). *Ahşap: Doğal ve yenilenebilir mühendislik malzemesi*. İstanbul: İÜC Üniversite Yayınevi.
- Akbulut, T.** (1999). Dünya’da ve Türkiye’de MDF Endüstrisinin Genel Durumu, Laminart, Mobilya & Dekorasyon & Sanat & Tasarım Dergisi, Ağustos-Eylül, Sayı 3.
- Akbulut, T., Göker, Y., & Ayrılmış, N.** (2002). OSB levhalarının kontrplak yerine kullanılması. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 1(52), 65-80.
- Allen, E., & Iano, J.** (2019). *Fundamentals of building construction: materials and methods*. John Wiley & Sons.
- American Institute of Timber Construction.** (2012). *Timber Construction Manual*. Hoboken: Wiley.
- AVLAR, E.**, 2000, Ahşabın yapı üretimindeki yeri, *Tasarım dergisi*, 6. Sayı, İstanbul.
- Bangash, M. Y. H.** (2009). *Structural detailing in timber a comparative study of international codes and practices*. Whittles Pub.
- Bozkurt, A. Y. Erdin, N.** (1997). *Ağaç teknolojisi*. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- Breyer, Donald E., Kelly E. Cobeon, and Zeno Martin.** (2020). *Design of Wood Structures—ASD/LRFD*. 8th ed. New York: McGraw-Hill Education.
- Buyuktasgin, H. A. A., Yatagan, M. S., Soyoz, G. E., Tanacan, L., & Dilmaghani, M.** (2019). Experimental investigation of the durability of load bearing timber-glass composites under the effects of accelerated aging. *Journal of Green Building*, 14(2), 45-59.
- Cruz, P., and Pequeno, J.** (2008). Structural timber-glass adhesive bonding. *Challenging Glass Conference 1*, Delft University of Technology, Netherlands, May
- Cruz, P., Pacheco, J., and Pequeno, J.** (2007). Experimental studies on structural timber glass adhesive bonding. Workshop Cost Action E34, Bonding of Timber, Larnaca, Cyprus, 22-23 March.
- Cruz, P., Pequeno, J., Lebet, J. P., and Mocibob, D.** (2010). Mechanical modelling of in-plane loaded glass panes. *Challenging Glass 2 – Conference on Architectural and Structural Applications of Glass*, Delft University of Technology, Netherlands, May.
- Cruz P. and Pequeno J.** (2008). Timber-Glass Composite Beams: Mechanical Behaviour and Architectural Solutions, *in the Challenging Glass Conference*, Delft.
- Deplazes, A.** (2005). *Constructing Architecture : Materials , Processes, Structures: A Handbook*, Birkhäuser.
- Dillard, D. A.** (2023). *Advances in structural adhesive bonding*. Elsevier.

- Drzecnik, M., Strukelj, A., & Premrov, M.** (2022). Influence of the Bonding Boundary Conditions of Timber-Glass I-Beams on Load-Bearing Capacity and Stiffness. *Applied Sciences*, 12(4), 1770.
- Emmitt, S.** (2023). *Barry's advanced construction of buildings*. John Wiley & Sons.
- Erkoç, E.** (2004). *Günümüz teknolojisiyle üretilen ahşap konutların tasarım-uygulama-kullanım üçgeninde değerlendirilmesi: İstanbul örnekleri* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Faherty, K. F., and Williamson, T. G.** (1998). *Wood Engineering and Construction Handbook*, McGraw Hill Co.
- Forest Products Laboratory.** (2010). *Wood handbook—Wood as an engineering material*. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 508 p.
- Garg, N. K.** (2007). *Guidelines for use of glass in buildings*. New Age Internaional (P) Limited, Publishers.
- Göker, Y., Akbulut, T., & Ayrılmış, N.** (2002). Türkiye’de üretilen MDF levhaların teknolojik özellikleri. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 54(1), 13-36.
- Görgün, H. V.** (2013). *Ahşap kirişlerde eğilme direnci ve elastikiyet modülünün tahribatsız ve tahribatlı test yöntemleri ile belirlenmesi* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Günay, R.** (2002). *Geleneksel Ahşap Yapılar Sorunları ve Çözüm Yolları*. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Kantay, R.** (1986). Ağaç malzemenin rutubeti ve ölçülmesi. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 58-74.
- Kartal, N.** (1992). Odunun degradasyonunda güneş ışığı ve su etkileri. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 42(1-2), 169-176.
- Kaufmann, H. Krötsch, S. Winter, S.** (2018). *Manual of Multistorey Timber Construction*. 10.11129/9783955533953.
- Kozłowski, M., Dorn, M., & Serrano, E.** (2015). Experimental testing of load-bearing timber–glass composite shear walls and beams. *Wood Material Science & Engineering*, 10(3), 276-286.
- Kozłowski, M., & Hulimka, J.** (2014). Load-bearing capacity of hybrid timber-glass beams. *ACEE Journal*, 2, 61-70.
- Mocibob, D.** (2008). Glass panel under shear loading: use of glass envelopes in building stabilization (No. 4185). EPFL.
- Mohammadianfar, O., & Imanizabayo, L.** (2018). Study of the Bonding Properties for Timber–Glass Composite Beams: The influence of viscoelastic adhesives on the load-bearing capacity.
- Neijbert, G.** (2013). *Buckling of a load bearing timber-glass shear wall development of a finite element model*, Master Thesis, Linnaeus University, Växjö, Sweden.

- Nicklisch, F., Dorn, M., Weller, B., & Serrano, E.** (2014). Joint study on material properties of adhesives to be used in load-bearing timber-glass composite elements. *Engineered transparency*, 271-280.
- Nicklisch, F., Giese-Hinz, J., & Weller, B.** (2016). Experimental and numerical study on glass stresses and shear deformation of long adhesive joints in timber-glass composites. *In Challenging Glass Conference Proceedings* (Vol. 5, pp. 295-304).
- Nicklisch, F., Giese-Hinz, J., & Weller, B.** (2016). Glued windows and timber-glass façades— performance of a silicone joint between glass and different types of wood. *Engineered Transparency*, 598-602.
- Nicklisch, F., Maetschl, S. H., Schlehlein, M., & Weller, B.** (2015). Development of load-bearing timber-glass composite shear wall elements. *Proceedings of Glass Performance Days*, Tampere, Finland.
- Nicklisch, F., & Weller, B.** (2016). Adhesive bonding of timber and glass in load-bearing façades—evaluation of the ageing behaviour. *In World Conference on Timber Engineering* (pp. 22-25).
- O'Regan, C.** (2015). *Structural use of glass in buildings*. London: Institution Of Structural Engineers.
- Öztunalı, İ. Renda, S. (Tarihsiz).** *Odun Lifi Levhaları*. B.2. Bayındırlık Bakanlığı, Ankara: 1-12.
- Örs, Y. Ve Keskin, H.** (2001). *Ağaç Malzeme Bilgisi*. Atlas Yayın Dağıtım, Ankara.
- Pantaleo A., Ferri D., Roma D. & Pellerano A.** (2013). Structural silicone sealant modelling for wood frames: influence of adhesion on bonding strength, *Journal of Adhesion Science and Technology*, 27:11, 1259-1277, DOI: 10.1080/01694243.2012.737262
- Porteous, J. and Kermani, A.** (2013) *Structural Timber Design to Eurocode 5*. Wiley, Oxford.
- Premrov, M., Leskovar, V. Ž., Ber, B., & Štrukelj, A.** (2019). New approach in designing energy-efficient timber-glass buildings. *Journal of Information*, 4(11), 45-61.
- Rosliakova, V., Nicklisch, F., & Weller, B.** (2015). A review of possibilities to integrate photovoltaic in a loadbearing timber-glass façade. *In Conference: advanced building skins*, Dresden (pp. 1-10).
- Schmidt, C. M., Schoenherr, W. J., Carbary, L. D., & Takish, M. S.** (1989). Performance properties of silicone structural adhesives. *In Science and Technology of Glazing Systems*. ASTM International.
- Steiger, L.** (2020). *Basics timber construction*. Birkhäuser.
- Structural Timber Association.** (2014). Engineered wood products and an introduction to timber structural systems. *Struct. Timber Eng. Bull*, 2, 1-2.
- Toydemir, N.** (1990). *Cam: Cam yapı malzemeleri*, İstanbul.
- Wurm, J.** (2007). *Glass structures : design and construction of self-supporting skins*.

- Weller, B., Härth, K., Tasche, S., and Unnewehr, S.** (2009). *Glass in building : principles, applications, examples.*
- Weinand, Y.** (2005). *Holz-Glas-Verbund als großflächige Scheibensysteme zur Gebäudeaussteifung.* Lausanne: Lehrstuhl für Holzkonstruktionen IBOIS, IS-ENAC; EPF Lausanne.
- Wiederhorn, S. M., & Clarke, D. R.** (2022). Architectural Glass. *Annual Review of Materials Research*, 52(1), 561-592.
- TS EN 14279+A1.** (2010). *Soyma tabakalı lamine kereste (LVL) - Tarifler, sınıflandırma ve özellikler.* Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 14374.** (2016). *Ahşap yapılar - Soyma tabakalı yapısal lamine kereste (LVL) - Gerekliler.* Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 14080.** (2013). *Ahşap Yapılar - Tutkallı lamine kereste ve tutkallı masif ahşap - Gereklilikler.* Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 2128 EN 313-2.** (2005). *Kontrplak - Sınıflandırma ve Terimler - Kısım 2: Terimler.* Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 51.** (2012). *Kereste - Ladin ve göknar keresteleri - Genel amaçlar için,* Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS EN 844.** (2019). *Yuvarlak ve biçilmiş yapacak odun (kereste)- Terimler,* Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS EN 572-1+A1.** (2016). *Cam - Yapılarda kullanılan - Temel soda kireç silikat cam mamuller - bölüm 1: Tarifler, genel fiziksel ve mekanik özellikler,* Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS EN 12004-1.** (2017). *Seramik karolar için yapıştırıcılar - Bölüm 1: Gereklilikler, performans sürekliliğinin değerlendirilmesi ve doğrulanması, sınıflandırma ve işaretleme,* Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS EN 12004-2.** (2017). *Seramik karolar için yapıştırıcılar - Bölüm 1: Deney Yöntemleri.*
- ASTM D1002-10.** (2019). *Standard test method for apparent shear strength of single-lap-joint adhesively bonded metal specimens by tension loading (metal-to-metal).* ASTM International.
- ASTM D4541-22.** (2022). *Standard test method for pull-off strength of coatings using portable adhesion testers.* ASTM International, USA.
- Url-1** <<https://www.mm-holz.com/en/products/clt-cross-laminated-timber>>, erişim tarihi 12.05.2024.
- Url-2** <<https://waughthistleton.com/dalston-works/>>, erişim tarihi 16.05.2024.
- Url-3** <https://www.glaswelt.de/sites/default/files/ulmer/de-gw/document/file_2790_03.pdf>, erişim tarihi 08.04.2024

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Buse İLİ

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans:** 2020, Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü.
(Mimarlık Fakülte ve Bölüm İkincisi)

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2022 yılından beri Gif Mühendislik bünyesinde çalışmaktadır.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **İli B. & Yatağan S.** 2024. Performance Evaluation of Wood-Glass Composite Facade Material Under Atmospheric Conditions. *The 7th International Antalya Scientific Research and Innovative Studies Congress*, May 11-13, 2024 Antalya, Turkey.