



Çam Ahşapların Birleştirilmesinde Kullanılabilecek Epoksi Yapıştırıcılarına Ait Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi

Determination of Some Physical and Mechanical Properties of Epoxy Adhesives That Can Be Used in Joining Pine Woods

Ahmet Cihat Arı¹

¹Yozgat Bozok Üniversitesi, Akdağmadeni MYO, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 66300, Yozgat, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 22/02/2024 Kabul/Accepted: 20/05/2024 Çevrimiçi Basım/Published Online: 30/06/2024
Son Versiyon/Final Version: 30/06/2024

Öz

Ahşap yapılarda; duvar, döşeme ve çatı gibi yapı elemanları, uygun büyüklükteki ahşap parçalarının birleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. Yapı elemanlarının birleşim bölgelerindeki bağlantılarının mukavemeti; yapıştırıcıların adezyon kuvvetine, neme karşı dayanım direncine ve yük aktarımına bağlıdır. Epoksi yapıştırıcılar, yapı elemanlarının birleşim bölgelerine, güçlü ve hızlı bir şekilde nüfuz etmesi, kısa kurlenme süresi ve korozyona karşı dayanımı nedeniyle, inşaat sektöründe yapı malzemelerinin birleştirilmesinde önem kazanmıştır. Ahşapların karakteristik özellikleri, türlerine göre farklı davranışlar gösterdiğinden, ahşapların birleştirilmesinde kullanılacak yapıştırıcıların, bağlantı bölgelerindeki davranışlarının incelenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, çam ahşapların birleştirilmesinde kullanılacak epoksi yapıştırıcılarına ait bazı fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çam ahşapların birleştirilmesi için açılan delik, epoksi reçine ile doldurularak örnekler hazırlanmış, bu örnekler; su emme, görünür yoğunluk, açık gözeneklilik ve basınç testleri uygulanmıştır. Bu testler, epoksi reçine doldurulmamış çam ahşaplar üzerinde de uygulanarak epoksi yapıştırıcıların, ahşapların birleşim bölgesindeki fiziksel ve mekanik özelliklerine olan etkileri incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre, çam ahşapların birleştirilmesinde kullanılacak epoksi yapıştırıcıların, ahşapların su emme oranında % 36 azalma ve mekanik direncinde % 4 artış belirlenmiştir. Çam ahşapların birleştirilmesinde, epoksi yapıştırıcıların neme karşı dayanımı ve uygulanan yüzeyin yük taşıma gücünü artırması sayesinde, ahşaptan yapılan yapı elemanlarının çevresel koşullara bağlı oluşabilecek zararların azaltılmasını sağlamak için kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler

“Ahşap birleştirme, Onarım, Güçlendirme, Epoksi yapıştırıcılar”

Abstract

In wooden structures; building elements such as walls, floors and roofs are formed by combining wooden pieces of fit size. The strength of connections in the connection areas of structural elements; it depends on adhesion strength of adhesives, their resistance to moisture and load transfer. Epoxy adhesives have gained importance in joining building materials in the construction industry due to their strong and rapid penetration into the joints of building elements, short curing time and resistance to corrosion. Since the characteristics of woods show different behaviors depending on their types, behavior of adhesives to be used in joining woods in connection areas should be examined. In this study, it was aimed to determine some physical and mechanical properties of epoxy adhesives that can be used in joining pine woods. Samples were prepared by filling hole opened for joining pine woods with epoxy resin. These samples included; water absorption, apparent density, open porosity and compression tests were applied. These tests were also applied on pine woods that weren't filled with epoxy resin, and effects of epoxy adhesives on the physical and mechanical properties of woods in the joint area were examined. According to the test results, it was determined that epoxy adhesives used in joining pine woods decreased water absorption rate of woods 36% and increased its mechanical resistance 4%. It has been concluded that in joining pine woods, epoxy adhesives can be used to reduce damages that may occur due to environmental conditions of structural elements made of woods, thanks to its resistance to moisture and increasing load-bearing power of applied surface.

Key Words

“Wood joining, Repair, Reinforcement, Epoxy adhesives”

1. Giriş

İnşaat sektöründe ahşap ürünlerin üretiminde çeşitli şekil ve boyutlarda ahşap parçalar yapıştırılarak birleştirilmektedir (Stoeckel vd., 2013). Ahşap yapıların rüzgar ve deprem gibi yüklere karşı dayanımında, yapı inşasında kullanılan ahşap malzemeleri ve bağlantıları önemlidir. Ahşap bağlantıların; çürüme, böcekler, sıcaklık ve nem nedeniyle oluşabilecek bozulmalara karşı dayanıklı olmasında ahşap parçalarının birleştirilmesi için kullanılan yapıştırıcıların performans özellikleri etkilidir (Carroll vd., 2010). Ahşap birleştirilmesinde kullanılan yapıştırıcılar sadece günümüz modern yapılar için değil, aynı zamanda tarihi ahşap yapıların hasar görmüş veya çürümüş ahşap bileşenlerin güçlendirilmesinde de kullanılmaktadır. Tarihi ahşap yapıların restorasyonunda kullanılacak yapıştırıcıların orijinal ahşap bileşenlerin korumasının yanı sıra, binanın tarihi kimliğine ve bütünlüğüne zarar vermemesi gerekmektedir (Wheeler ve Hutchinson, 1998; Zhou vd., 2020).

Ahşap malzemesi geçmişten günümüze değin yapılarda; doğrama, kaplama ve taşıyıcı olarak kullanılmıştır. Bu malzeme 20. yüzyıl başlarında ahşap ve karkas yapıların taşıyıcı sistemlerinin kullanım özellikleri geliştirilmiştir. Endüstri Devrimi'nin etkisiyle çeliğin yapı alanında kullanımının artmasına rağmen, I. Dünya Savaşı öncesi ve savaş yıllarında ahşap malzemenin yapılarda mekanik ve fiziksel özellikleri geliştirilerek kullanımı devam etmiştir. Bu dönemde ahşap malzemenin özelliklerini geliştirmek için çivi, kama ve bulon gibi mekanik birleşim elemanları üzerinde çalışmalar yapılmıştır (Çalışkan vd., 2019). Ayrıca ahşapların; yoğunlukları, gözeneklilik ve mukavemeti türlerine göre farklı özellikler sergilemesi nedeniyle, mekanik birleşim elemanlarının geliştirilmesine yönelik çalışmalarda belirtilmiştir (Guan vd., 2010; Jung vd., 2008; Nakata vd., 1997; Nishiuchi, 2003). Örneğin Jung vd. (2008) yaptıkları çalışmada, Japonya'daki sedir ahşapların birleşim bölgesinde dübel uygulamalarının, taban elemanının yoğunluğu artırıldığına optimum yük taşıma kapasitesinin azaldığını belirlemiştir. Mekanik birleşim elemanlarının projelerde ihtiyaç duyulan kesit ve uzunlukta ahşap yapı elemanlarının üretimindeki yetersizlikleri nedeniyle, II. Dünya savaşı sırasında yapay yapıştırıcılar ortaya çıkmıştır. Yapay yapıştırıcıların neme ve ortam koşullarına karşı dayanımı nedeniyle, ahşap birleştirilmelerinde kullanımını sağlamıştır (Çalışkan vd., 2019). Ayrıca yapıştırıcıyla birleştirmenin, mekanik birleştirmelere göre uygulanan yükü tüm alana dağıtması ve malzemeye hasar vermemesi gibi avantajlara sahip olması, ahşap yapı elemanlarının birleştirilmesinde yaygınlık kazanmıştır.

Günümüzde polimer malzemelerden epoksi yapıştırıcıların; güçlü aderans kuvveti, boyutsal stabilite, yüksek mukavemeti, kimyasal korozyona ve neme karşı dayanımları, inşaat sektöründe yapı malzemelerinin birleştirmesinde tercih edilmektedir. Ancak ahşapların özellikleri türlerine göre farklılık göstermesi nedeniyle, yapıştırıcıların ahşabın birleşim bölgesindeki davranışlarının incelenerek uygulanması gerekmektedir (Custódio vd., 2009). Literatürde, ahşap malzemelerinin birleşim bölgelerinde kullanılan yapıştırıcının; aderans kuvveti, kürlenme derecesi ve neme karşı dayanımıyla ilgili çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Raftery vd. (2009), fiber takviyeli polimerlerin (FRP) ahşabın bağlanma mukavemetini arttırdığını ve yapıştırıcının ahşap ile ara yüzeyinde uygulanan higrotermal gerilimlere dirençli olduğunu göstermişlerdir. Yapıştırıcı, ahşap ile yüzey arasına yayılarak bağlantının mukavemetini arttırmakta ve bağlantının yük alımını iyileştirmektedir (Davis ve Claisse, 2001). Gindl ve Gupta (2002) ladin ahşabı melamin-formaldehit reçine ile birleştirerek ahşabın hücre duvarlarının young modülünde % 33 oranında artış sağladığını belirlemiştir. Frihart (2009), polimer yapıştırıcıyla birleştirilmiş ahşapların çapraz bağlı polimer içermesi sayesinde, ahşap yüzeyin şişme gerilimini dağıtmakta ve ahşabın nem koşullarına karşı daha dayanıklı olduğunu ifade etmiştir. Literatür araştırmasına göre, ahşapların birleşim bölgelerinde polimer yapıştırıcıların kullanılması; bağlantıların mekanik özelliklerini iyileştirmekte, uygulanan yükü tüm alana dağıtmakta ve neme karşı daha dirençli olduğu görülmektedir. Ancak anizotropik özelliğe sahip olan ahşapların hücre duvarının karakterizasyonu, polimer yapıştırıcıların ahşap hücre duvarının fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi ile ilgili literatürde yeterli sayıda çalışmanın olmadığı görülmektedir.

Ahşap birleştirmelerinde polimer yapıştırıcıların küleşmeleri sırasında malzemenin mekanik özelliklerinde pozitif veya negatif değişikliklere neden olabilir. Yapıştırıcıların nem nedeniyle, kimyasal bileşimlerinde görülen hidroliz veya çatlama malzemenin mekanik mukavemetinin azalmasına yol açmaktadır (Sousa vd., 2018). Ahşapların birleştirilmesinde, epoksi yapıştırıcıların ahşap elemanlarının bağlantı bölgelerinde, fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki davranışları ile ilgili araştırmanın yapılması, literatüre katkı sağlayan önemli bir konu olarak düşünülmektedir. Ülkemizde doğal olarak yetişmesi, birleştirme özelliği yüksek olması ve inşaat sektöründe yaygın kullanım alanına sahip çam (*Pinus Pinea L.*) odunları araştırma malzemesi olarak seçilmiştir. Bu çalışmada, çam ahşapların birleştirilmesi için açılan delik, epoksi reçine ile doldurularak örnekler hazırlanmıştır. Bu örneklere; su emme, görünür yoğunluk, açık gözeneklilik ve basınç testleri uygulanarak ahşap elemanlarının bağlantı bölgelerinin mukavemeti ve neme karşı dayanımı tespit edilmiştir. Ayrıca epoksi reçine doldurulmamış çam ahşaplara fiziksel ve mekanik testler yapılarak epoksi yapıştırıcının ahşabın birleşim bölgesindeki performans özellikleri belirlenmiştir.

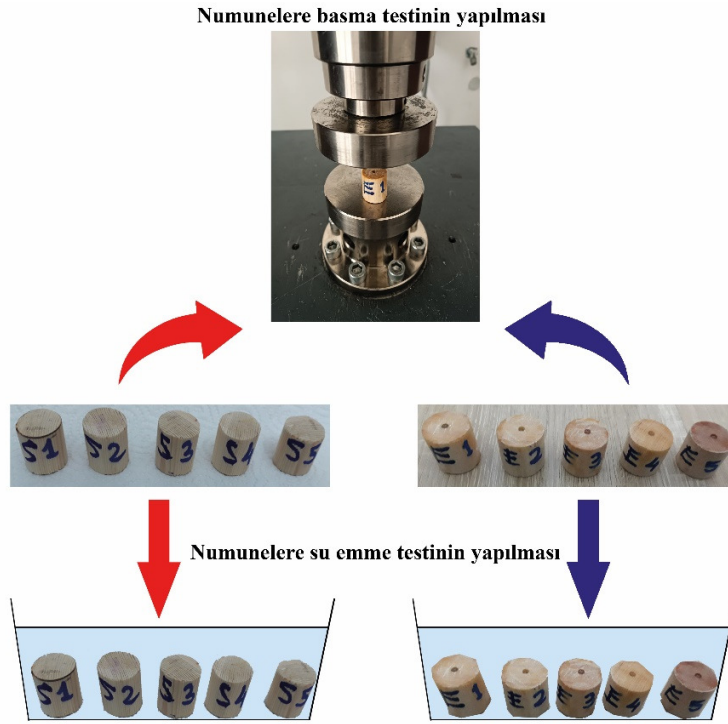
2. Materyal ve Metot

Deney çalışmasında kullanılan çam (*Pinus Pinea L.*) İç Anadolu Bölgesinin Yozgat ilinde kereste işleme tesislerine ait özel bir firmadan temin edilmiştir. Çamın seçiminde, budaksız, radyal çatlakları olmayan, mikroorganizmaların ve böceklerin zarar vermemiş olmasına dikkat edilmiştir. Bu ahşabın fiziksel ve mekanik testlerinin standartları belirlenen boyutlarına getirmek için çapı ve yüksekliği 20x20 mm boyutlarında silindirik numuneler şeklinde kesilmiştir. Kesim işlemi yapılan numunelerin zımpara ile yüzeyleri düzeltilmiştir. Yapılarda ahşap malzemelerin nem oranı % 12-15 oranında kullanıldığından, numuneler 25±1°C sıcaklıkta ve % 65±5 bağıl nem şartlarında istenilen nem derecesine ulaşıncaya kadar bekletilmiştir. Ahşabın birleştirilmesinde kullanılan epoksi reçine

BRTR Kimya A.Ş. (Türkiye) firmasından satın alınmıştır. Epoksi reçine A ve B iki bileşenden oluşmakta ve bu bileşenlerin karışımında üretici firmanın tavsiye ettiği oranda (5:3–5kg A epoksi + 3kg B sertleştirici) kullanılmıştır. Üretici firma tarafından belirlenen epoksi reçineye ait bazı özellikler Tablo 1’de verilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan malzemelerin ve deneylerin fotoğrafı Şekil 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışma kapsamında kullanılan epoksi reçinesinin bazı özellikleri

Özellikler	Değerler
Renk ve Görünüm	Şeffaf ve Parlak
Yoğunluk (gr/cm ³)	1,10
Karışım Oranı	5A /3B
Karışım Ömrü (25°C)	30 dakika
Kuruma Süresi (25°C)	12 saat
Mekanik Mukavemet	7 gün



Şekil 1. Çalışma kapsamında kullanılan malzemelerin ve deneylerin fotoğrafları

TS-155 (1978) standardında, ahşap birleşimlerde kullanılacak çivinin çapı birleşimdeki ahşap elemanın kalınlığı 1/7 veya 1/11 oranında seçilebilir olarak ifade edilmiştir. Bu nedenle numunelerin üst yüzeyinin orta bölümüne 3 mm çapında delikler açılmıştır. Bir kap içerisine epoksi reçinesinin A ve B bileşenleri 5:3 oranında ilave edilerek hazırlanmıştır. Sonra bu karışım, homojen dağılım elde edilene kadar 3 dakika karıştırılmıştır. Hazırlanan bu karışım numunelerin üst yüzeyine açılan deliklerin içerisine doldurulmuştur. Epoksi reçinesinin mekanik mukavemeti 7 günde tamamlandığı için, döküm işlemi yapılan epoksi reçinesinin 25±1°C sıcaklıkta 7 gün boyunca bekletilmiştir. Daha sonra bu numunelere su emme ve basınç testleri yapılmıştır. Su emme testi ASTM-D570-98 (2005) standardına göre, 20x20 mm boyutlarında 10 adet silindirik numuneler hazırlanarak belirlenmiştir. Su emme testinde, öncelikle numunelerin kuru ağırlıklarının 0,001 g hassasiyetli hassas terazide ağırlıkları belirlenmiştir. Sonra bu numuneler saf su dolu kaplara konulmuş ve 24 saat sonra sudan çıkarılmıştır. Sudan çıkarılan numunelerin 0,001 g hassasiyetli hassas terazide ağırlıkları ölçülmüştür. Son olarak bu numunelerin su emme ağırlığı ile kuru ağırlığı arasındaki fark not edilerek numunelerin su emme miktarları tespit edilmiştir. Numunelerin su emme yüzdesi denklem 1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Su Emme (\%)} = \left(\frac{W_1 - W_2}{W_2} \right) \times 100 \quad (1)$$

Verilen eşitlikte;

W_1 : Su emmiş numunenin ağırlığı (g)

W_2 : Kuru deney numunenin ağırlığı (g) değerlerini ifade etmektedir.

Su emme deneyinin yapılmasıyla numunelerin görünür yoğunluk ve açık gözeneklilik değerleri TS-EN-1936 (2010) standardına göre belirlenmiştir. Görünür yoğunluk değerinin belirlenmesi için, numuneler sabit kütleyle gelinceye kadar 100°C etüv fırında kurutma yapıldıktan sonra nem etkisinden korumak için desikatörün içine alınmıştır. Desikatörün içinde kalan numuneler oda sıcaklığına gelinceye kadar bekletilmiş ve 0,001 g hassasiyetli hassas terazide ağırlıkları ölçülmüştür. Daha sonra numunelerin suya doymuş ve su içerisindeki ağırlıkları arasındaki fark 0,001 g hassasiyetli hassas terazide belirlenmiştir. Numunelerin görünür yoğunluk değerleri denklem 2 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\rho_b = \left(\frac{m_d}{m_s - m_h} \right) \times \rho_{rh} \quad (2)$$

Verilen eşitlikte;

ρ_b : Görünür yoğunluk (kg/m³)

m_d : Kuru deney numunenin ağırlığı (m³)

m_s : Su emmiş numunenin ağırlığı (m³)

m_h : Su emmiş numunenin su içerisindeki ağırlığı (m³)

ρ_{rh} : Suyun yoğunluğu=997,6 (kg/m³) değerlerini ifade etmektedir.

Açık gözeneklilik değerinin belirlenmesi için, numuneler sabit kütleyle gelinceye kadar 100°C etüv fırında kurutma yapıldıktan sonra nem etkisinden korumak için desikatörün içine alınmıştır. Desikatörün içinde kalan numuneler oda sıcaklığına gelinceye kadar bekletilmiş ve 0,001 g hassasiyetli hassas terazide ağırlıkları ölçülmüştür. Daha sonra numunelerin suya doymuş ve su içerisindeki ağırlıkları tartılarak not edilmiştir. Numunelerin açık gözeneklilik değerleri denklem 3 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\rho_o = \left(\frac{m_s - m_d}{m_s - m_h} \right) \times 100 \quad (3)$$

Verilen eşitlikte;

ρ_o : Açık gözeneklilik (%)

m_d : Kuru deney numunenin ağırlığı (m³)

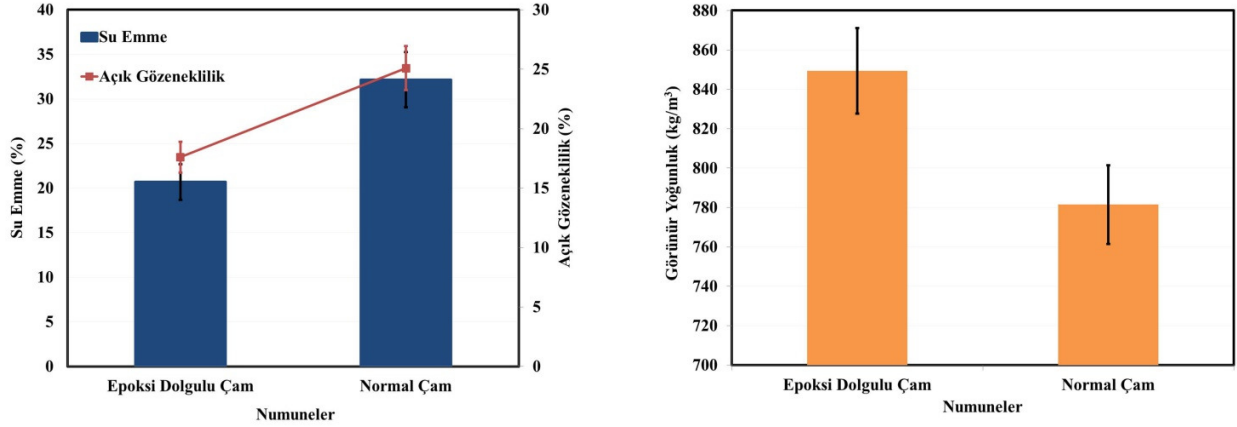
m_s : Su emmiş numunenin ağırlığı (m³)

m_h : Su emmiş numunenin su içerisindeki ağırlığı (m³) değerlerini ifade etmektedir.

Basınç testi ASTM-D695-10 (2010) standardına göre, 20x20 mm boyutlarında 10 adet silindirik numune kullanılarak yürütülmüştür. Bu testte SHIMADZU AGS-X (Japonya) marka basınç cihazı kullanılmış olup, numunelere 1 mm/dk kuvvet hız değeri uygulanmıştır. Numuneler cihaz içerisine yerleştirilerek uygulanan kuvvet değerleri N (Newton), numunelerin deformasyonu ise mm (milimetre) cinsinden kaydedilmiştir. Basınç testi için, silindirik numune iki plakalar arasına yerleştirilmiştir. Sonra bu plakalar zıt yönde içeri kuvvetle numune bütünlüğünü kaybedinceye kadar birbirine sabit hızla (1 mm/dk) sıkıştırılmıştır. Her bir numunenin basma yükü altındaki dayanıklılığı, deformasyonu ve şekil değişikliğindeki genişlemenin ölçülmesiyle malzemenin mukavemeti belirlenmiştir.

3. Bulgular ve Tartışmalar

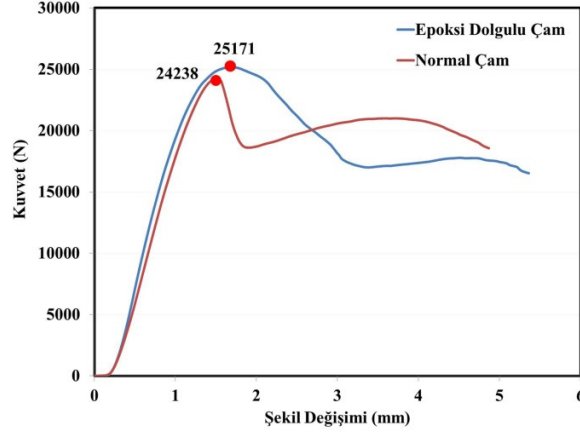
Epoksi reçine dolgulu ve dolgunsuz çamın (normal) ortalama su emme, açık gözeneklilik ve görünür yoğunluk değerlerinin grafik sonucu Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2'deki verilere göre, epoksi dolgulu ve normal çamın sırasıyla görünür yoğunluk değerleri 849,42 kg/m³ ve 781,48 kg/m³ olduğu tespit edilmiştir. Çama epoksinin ilave edilmesiyle numunenin yoğunluk değeri, normal çama göre % 8,69 oranında artış sağlamıştır. Numunelerin su emme oranı incelendiğinde, epoksi dolgulu çamın su emme oranı % 20,69, normal çamın su emme oranının ise % 32,17 olduğu belirlenmiştir. Epoksi ilave edilmesi, çamın açık gözenekliliğinin % 30 oranında azalmasını sağlamıştır. Ayrıca çama epoksi maddesinin eklenmesi, daha az suyun iletimini sağlamasında ve selülozun hidrofilik yapısının iyileştirilmesinde etkisi olduğu söylenebilir. Epoksi dolgulu çamın su emme testi sonucuna göre, numunelerde herhangi bir ayrışma veya çatlama gözlenmemiştir. Bu durum, epoksi yapıştırıcıların, % 36'ya kadar nem içeriğine sahip ahşabın birleştirme yüzeyinde, şişme gerilimlerine karşı dirençli olduğunu göstermektedir.



Şekil 2. Epoksi reçine dolgulu çamın ve normal çamın ortalama su emme, açık gözeneklilik ve görünür yoğunluk değerleri

Basınç testinde, uygulanan kuvvet karşısında numunenin kesit alanı artarak şekilde değişim görülmektedir. Numunede oluşan şekil değişimi, yük karşısında malzemenin absorbe ettiği enerji göstermektedir. Şekil 3’de kuvvet-şekil değişim grafiğinde numunelerin en yüksek kuvvet değerleri kırmızı nokta ile gösterilmiştir. Şekil 3’de basınç testi sonucuna göre, epoksi dolgulu çamın en yüksek basınç kuvveti, yaklaşık olarak 25 kN ve 1,7 mm şekil değişikliğine sahip iken, normal çamın ise en yüksek basınç kuvveti, yaklaşık olarak 24 kN ve 1,5 mm şekil değişikliğinin olduğu görülmektedir. Bu durum, epoksi dolgulu çamın normal çama göre, daha esnek ve dayanıklı bir davranış gösterdiğini ifade etmektedir. Diğer bir şekilde, epoksi dolgulu çamın basınç kuvveti normal çamın basınç kuvvetinden % 4 daha yüksektir. Epoksi dolgulu çam, normal çamdan farklı olarak 5 mm’lik şekil değişiminden sonra malzeme deformasyonu uygulanan basınç kuvveti karşısında dayanabildiğini göstermiştir. Bu iki deney numunesinin basınç kuvvetlerinin birbirlerine yakın değerde olması, ortam koşullarının değişimlerinde benzer tepkilerin vermesini sağlamaktadır. Ayrıca malzemenin benzer yapısal davranış göstermesi gerilme kuvvetleri nedeniyle ileride oluşabilecek çatlama ve aşınma gibi hasarların sebebiyetlerini önlemesi açısından önemlidir.

Literatürde ahşapların birleşim bölgelerinde kullanılan epoksi yapıştırıcıların su emme oranları ve dayanımlarıyla ilgili çeşitli araştırmacılar tarafından çalışmaların yapıldığı görülmektedir (Broughton ve Hutchinson, 2001; Liu vd., 2019; Tannert vd., 2012; Wheeler ve Hutchinson, 1998). Örneğin Wheeler ve Hutchinson (1998) tarafından yapılan çalışmada, %22’ye kadar nem içeriğine sahip ahşabın birleşme bölgesindeki epoksi yapıştırıcıların mekanik mukavemetinde herhangi bir düşüş tespit edilmediği gözlemlenmiştir. Broughton ve Hutchinson (2001), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, dişbudak ve meşe ahşapların epoksi reçine ile birleştirilmesinde nem içeriğinin % 30 ve üzerinde numunelerin mekanik mukavemetinde % 60–65 oranında azalış olduğunu göstermişlerdir. Tannert vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada, ladin ahşapların epoksi yapıştırıcı ile birleştirilmesinde bağlantıların mukavemeti üzerinde önemli artışa neden olmadığını ve ahşap bağlantıların yük deformasyon tepkisine bağlı hasarların azaldığı tespit edilmiştir. Liu vd. (2019) tarafından yapılan araştırmada, bambu ahşapların birleştirilmesinde kullanılan epoksi yapıştırıcıların ahşap ile yüzey arasındaki bağlanma özelliğini incelemişlerdir. Aynı çalışmada, ahşabın birleşim yüzeyi boyunca epoksi reçinenin mikro açıklıklarına nüfuz ederek alt tabaka ile yapıştırıcı arasındaki bağ kuvvetinin etkisini arttırdığı belirlenmiştir. Literatürde ulaşılan tüm bu çalışmalarda, ahşabın makroskopik özelliklerinin birbirinden farklı olması nedeniyle epoksi yapıştırıcıların ahşabın birleşim bölgesinde farklı yapısal davranış sergilemesine rağmen, epoksi yapıştırıcıların ahşabın birleştirme bölgelerinde su emilimini azaltması ve yük taşıma kuvvetini arttırmasını sağladığı görülmektedir. Dolayısıyla, bu araştırma kapsamında çam ahşapların birleşim bölgesindeki epoksi reçinenin ara yüzeyine yayılarak mikro gözenekleri doldurması, ahşabın su emme oranında % 36 azalma ve mekanik direncinde % 4 artış gözlemlenmesi, literatürdeki ilgili çalışmaların sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Epoksi reçine dolgulu çamın ve normal çamın basınç kuvveti değerleri

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, çam ahşapların birleştirilmesinin kullanımına yönelik epoksi yapıştırıcıların bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesine odaklanılmıştır. Deneysel çalışmalar kapsamında elde edilen verilere dayanılarak sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Ahşap birleştirilmesinde epoksi kullanılması, çamın gözenekliliğinin % 30 oranında azalmasını sağlamıştır. Çamda gözenek oranının azalmasıyla su emiliminin daha az olmasını ve selülozun hidrofilik yapısını iyileştirmiştir.
- Epoksi yapıştırıcıların, % 36'ya kadar nem içeriğine sahip ahşabın birleştirme yüzeyinde, şişme gerilimlerine karşı dirençli olduğu belirlenmiştir.
- Basınç testi sonuçlarına göre, epoksi dolgulu çamın normal çama göre, % 4 daha dayanıklı olduğunu göstermiştir. Epoksi dolgulu çam, normal çamdan farklı olarak 5 mm'lik şekil değişiminden sonra malzeme deformasyonuna dayanabildiği ve % 13 daha esnek olduğu tespit edilmiştir.
- Epoksi dolgulu çamın basınç kuvveti değeri 25 kN, normal çamın basınç kuvveti 24 kN değerinde tespit edilmiştir. Bu iki kuvvetin birbirine yakın değerde olması, ahşapların mekanik özelliklerinin uyumlu olduğunu göstermiştir.

Sonuç olarak, epoksi yapıştırıcıların çamların birleştirilmesinde mekanik özellikleri açısından uyumlu, neme karşı dayanımı ve uygulanan yüzeyin yük taşıma gücünü arttırdığından, ahşaptan yapılan yapı elemanlarının çevresel koşullara bağlı oluşabilecek zararların azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca epoksi yapıştırıcının ahşaba nüfuz ettikten sonra ahşabın çürümüş kısımlarını sağlamlaştırması, fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirme performansları nedeniyle, tarihi binaların restorasyonunda önerilmektedir.

Referanslar

ASTM-D570-98. (2005). Standard Test Method for Water Absorption of Plastics. American Society for Testing Materials. West Conshohocken, PA.

ASTM-D695-10. (2010). Standard Test Method for Compressive Properties of Polymer Matrix Composite Materials. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA.

Broughton, J. G., & Hutchinson, A. R. (2001). Effect of timber moisture content on bonded-in rods. *Construction and building materials*, 15(1), 17-25.

Carroll, C. T., Leichti, R. J., & Clauson, M. (2010). Wood materials, nails, and sheathing connections from early 20th century residential buildings. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 22(11), 1122-1128.

Custódio, J., Broughton, J., & Cruz, H. (2009). A review of factors influencing the durability of structural bonded timber joints. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 29(2), 173-185.

Çalışkan, Ö., Meriç, E., & Yüncüler, M. (2019). Ahşap ve ahşap yapıların dünü, bugünü ve yarını. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(1), 109-118.

Davis, T. J., & Claisse, P. A. (2001). Resin-injected dowel joints in glulam and structural timber composites. *Construction and Building Materials*, 15(4), 157-167.

- Frihart, C. R. (2009). Adhesive groups and how they relate to the durability of bonded wood. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 23(4), 601-617.
- Gindl, W., & Gupta, H. (2002). Cell-wall hardness and Young's modulus of melamine-modified spruce wood by nano-indentation. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 33(8), 1141-1145.
- Guan, Z., Komatsu, K., Jung, K., & Kitamori, A. (2010). Structural characteristics of beam-column connections using compressed wood dowels and plates. In: WCTE 2010–World Conference on Timber Engineering, Trentino, Italy.
- Jung, K., Kitamori, A., & Komatsu, K. (2008). Evaluation on structural performance of compressed wood as shear dowel. *Holzforschung*, 62(4), 461–467.
- Liu, W., Zheng, Y., Hu, X., Han, X., & Chen, Y. (2019). Interfacial bonding enhancement on the epoxy adhesive joint between engineered bamboo and steel substrates with resin pre-coating surface treatment. *Wood science and technology*, 53, 785-799.
- Nakata, K., Sugimoto, H., Inoue, M., & Kawai, S. (1997). Development of compressed wood fasteners for timber construction I (in Japanese). *Mokuzai Gakkaishi*, 43, 38–45.
- Nishiuchi, M., & Mori, T. (2003). High-performance bamboo nail (in Japanese). *Summ Tech Pap Annu Meet Archit Inst Jpn*, 9, 43–44.
- Raftery, G. M., Harte, A. M., & Rodd, P. D. (2009). Bonding of FRP materials to wood using thin epoxy gluelines. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 29(5), 580-588.
- Sousa, J. M., Correia, J. R., & Cabral-Fonseca, S. (2018). Durability of an epoxy adhesive used in civil structural applications. *Construction and Building Materials*, 161, 618-633.
- Stoeckel, F., Konnerth, J., & Gindl-Altmutter, W. (2013). Mechanical properties of adhesives for bonding wood—A review. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 45, 32-41.
- Tannert, T., Vallée, T., & Hehl, S. (2012). Experimental and numerical investigations on adhesively bonded timber joints. *Wood science and technology*, 46, 579-590.
- TS-155. (1978). Çiviler. Türk standartları enstitüsü, Ankara.
- TS-EN-1936. (2010). Doğal Taşlar-Deney Metotları, Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik. TSE, Ankara, 1-12.
- Wheeler, A. S., & Hutchinson, A. (1998). Resin repairs to timber structures. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 18(1), 1-13.
- Zhou, K., Li, A., Xie, L., Wang, C.-C., Wang, P., & Wang, X. (2020). Mechanism and effect of alkoxysilanes on the restoration of decayed wood used in historic buildings. *Journal of Cultural Heritage*, 43, 64-72.