**Karbon Fiber ile Modifiye Edilen Lamine Ahşap Yapı Malzemelerinin Performans Özelliklerinin Geliştirilmesi.**

1.**Turan Maharrambay AHMADLİ-**

**Muğla Sıtkı Koçman Universitesi**

**muharrembeyturan@gmail.com**

**2.Erkan AVCI**

**Muğla Sıtkı Koçman Universitesi**

[**avci@mu.edu.tr**](mailto:avci@mu.edu.tr)

**3.Kamala YUSIFOVA**

**Azerbaycan Mimarlık ve İnşaat Universitesi**

**Özet**

Bu çalışmada,Karbon fiber ile modifiye edilən lamine ahşap yapı kerestelerinin bazı performans özelliklerinin belirlenmesi hedeflenmişdir. Çalışmada ahşap hammaddesi olarak 3 farklı kalınlıkta Avrupa Ladini (Picea abies) ağacı ve tek yönlü karbon fiber malzeme kullanılmıştır. Kullanılan karbon fiber kumaşlar 4 farklı uygulama bölgesine yapıştırılmıştır. Yapıştırıcı olarak epoksi ve poliüretan tutkalları kullanılmıştır. Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü deneylerinde TS 5497 EN 408 standardına, Su alma miktarı ve Boyutsal şişme oranının belirlenmesinde TS EN 317 standartlarına, Yapışma direnci deneylerinde EN 302-1/2004 standartlarına uyulmuşdur. Deney sonuçlarına göre, örneklerinin statik eğilme direnci en fazla 73,324 N/mm2 etrafı tek kat CFRP yapı malzemesi ve epoksi yapıştırıcısı kullanılan lamine örneklerde, eğilmede elastikiyet modülü ortalama değeri en fazla 11831,797 N/mm2 ile epoksi etrafı CFRP kaplanarak elde edilen örneklerde görülmüşdür. Boyutsal kararlılık testleri sonucunda, ağırlık değişiminde en fazla artış (%57,03) epoksi ile yapıştırılmış lamine örneklerinde, Kalınlık değişiminde en fazla artış (%68,05) ise iç yüzeyde çift kat poliüretan yapıştırıcısı ile yapıştırılan lamine örneklerde, genişlik değişiminde en fazla artış (%72,08) epoksi ile yapıştırılan örneklerde tesbit edilmişdir.Çekme makaslama testilerinde tutkal ve tutkal CFRP etkileşimlerinin yapışma direnci üzerine etkisi %95 güven aralığında önemli olduğu belirlenmiştir.

Yapılan testler sonucunda CFRP ile kuvvetlendirme tekniği lamine kirişlerde rahatlıkla kullanılabileceği görülmüştür. Bazı mekanik özellikler ve suya bağlı boyutsal değişimlerde önemli iyileştirmeler sağlanmıştır.Karbon fiber epoksi yapıştırıcısı ile birkikde kullanılarak dış etkenlerin ahşabın yüzeylerine verdiyi zararlardan korunmasını yardımçı olur.Ahşap sethe uygulanan tutkalın güçlü nüfüz etmesi ve karbon fiberin artan mükavimeti sayesinde ahşapdan yapılan zeminlerin ve sethlerin yırpranmasının karşısını almak için kullanıla bilinir.

***Anahtar Kelimeler:*** *Lamine Ağaç Malzeme, Karbon Fiber (CFRP), Yapıştırıcılar, Mekanik Özellikler.*

**1. Giriş**

Ahşap lamine elemanlar iki ya da daha fazla katın tutkallanarak ve katların lif yönleri birbirine paralel ya da dik gelecek şekilde birleştirilmesi ile elde edilir. Lif yönlerinin paralel gelecek şekilde düzenlenmesi daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Eğer, üretilen ahşap lamine eleman kavisli ise katların lif yönlerinin paralel olarak uygulanması zorunluluğu vardır. Laminasyon da farklı ağaç türü, değişken kat sayısı, farklı boyut, şekil ve kat kalınlıkları uygulanabilmektedir (Kurtoğlu 1979). Laminasyon tekniğinde direnç özelliklerinin daha iyi olabilmesi için ahşap malzemeyi kusurlarından arındırarak en iyi şekilde kullanmak gerekmektedir. Laminasyon tekniği uygulanmasıyla daha yüksek kalitede ve istenilen formda ürün tasarımı yaparak üretmek mümkün olmaktadır. Bu ürünlerin kullanımı masif ahşap malzemeye göre daha yüksektir ve birçok avantajı vardır. Bu yöntemle, kısa boylu ve dar enli ağaç malzemeden daha uzun ve geniş ağaç malzeme üretilebilmektedir. Kısa boylu ağaç malzemede fire oranı az olduğuna göre bu ürünün maliyetini azaltmaktadır. Sağlam parçalardan üretilen lamine malzemelerde kat kalınlıkları ve ağaç malzemenin rengi farklı olduğu için estetik değeri daha yüksektir. (Karayılmazlar vd., 2007).Karbon elyaf takviyeli laminasiyon işlemleri inşaat sektöründen başlayaraq günümüzde bütün endüstri sahelerinde rast gelinir.

Güçlendirilme konusunda yapılan çalışmalar incelendiğinde; yapı malzemelerinin cam lifleri, karbon lifleri ve aramid lifleri ile güçlendirilen lif takviyeli polimer kompozitlerle ilgili çalışmaların çoğunlukta olduğu görülmektedir. Bu malzemelerin, kullanılmasının esas nedeni korozyona ve birçok dış etkenlere karşı daha çok dayanıklı olmalarıdır. CFRP ile güçlendirme yönteminde karbon elyaf tüm betonarme yapı elemanlarının dış kısmına uygulanmakta ve güçlendirilen duvarlar dışarıdan sıva ve alçıpanla kaplanarak duvar görüntüsü elde edilmektedir. CFRP ile güçlendirilen yapıda tuğla ve duvarlar, deprem sırasında yapının ileri geri salınımını azaltmakta ve böylelikle binanın depremde zarar görme riskini düşmektedir. (V. Qluhih ve ark 2010).

Bu çalışmada karbon fiber yapı malzemesi kullanılarak lamine edilmiş kerestelerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi ve buna bağlı olarak yangın ve deprem esnasında daha uzun süre dayanacak yapıların yapılabilmesi ve geliştirilmesi konusu çalışılmıştır. Lamine kerestelerin özellikleri iyileştirilerek dayanıklı ve ekonomik değeri yüksek ahşap yapı elamanları üretilmiştir.

**2. Material Metod**

**2.1. Ahşap malzeme**

Çalışma kapsamında kullanılacak hammaddelerin seçiminde hem endüstride yaygın olarak kullanılan hem de literatürde yer alan hammaddeler tercih edilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılacak odun hammaddesi olarak ağaç türlerinden Avrupa Ladini (Picea abies) ağacı tercih edilmiştir. Tercih olarak bu türün seçilmesi günümüzde ahşap yapılarda en çok ladin ve çam türlerinin kullanılmasından kaynaklıdır. Tam kuru yoğunluğu (D0) 0,47 g / cm3, hava kuru yoğunluğu (Dl2) 0,43 g / cm3 olan bir malzemedir. Ayrıca elastikiyet modülü 10000 N/mm2, eğilme direnci (σE) 68 N/mm2, elyaflara paralel çekme direnci(σg) 80 N/mm2, makaslama direnci ise (σB) 7.5 N/mm2 (Bozkurt ve Erdin, 2000)

2.2.Yapıştırıcılar

Epoksi ve poliüretan yapıştırıcısı, ACM Yapı Kimyasalları San. Tic. Ltd. Şti. firmasından temin edilmiştir. Genellikle iki komponentli olan epoksiler, diğer termoset plastikler gibi belli süre sonra sıvı halden katı hale geçer ve takibe den bir hafta içinde olgunlaşarak nihai sertliğe ulaşır. Cam veya karbon elyafı ile epoksi kombinasyonu mükemmel mekanik dayanıklılığa sahiptir. . Epoksi aynı zamanda bir yüzey kaplama ürünüdür. Ayrıca, boya veya astar olarak da kullanılır. Yoğunluğu 20oC’de 1,5 g/cm3, viskozitesi 1100 MPas' dır. Kullanım şekli 300 g/m2 olarak firma önerisine uyulmuştur.

Poliüretan yapıştırıcıların temel özellikleri dayanıklılık, herhangi bir yüzeye iyi yapışma, büzülme yok, tiksotropi, teknolojiye tam yapışmayla mükemmel yapışma gücü, ısı direncidir. Yoğunluğu 20ºC’de 1,11±0,02 g/cm3, 20ºC±2 sıcaklık ve %65±3 bağıl nem ortamında 30 dakika sertleşmektedir. Üretici firma önerilerine göre bu tutkal ambalaj viskozitesinde ve 300 g/m2 firma önerilerine göre bu tutkalın hazırlanmasında %87 ye %13 sertleştirici kullanılmıştır.

**2.3.Karbon Fiber**

SPM Kompozitler ve İleri Malzeme Teknolojisi Co, Ltd. Şti. firmasından temin edilen CFRP yapı malzemesi incelenmiş ve yapılacak güçlendirme çalışmasına uygun ebat ve form olarak 1,2 mm kalınlığında, 600 g/m2 yoğunlukta düz desenli CFRP yapı malzemesi tercih edilmiştir. Metallere göre oldukça düşük yoğunlukta, çeliğe göre mukavemeti yüksek, aşırı katı olup yüksek aşınma direncine sahiptir. Ayrıca kimyasal dirençleri fazla, hafif ve sınırsız boyda üretim yapılabilir. Karbon lifi takviyeli kompozit malzemeler genellikle; uçak sanayisinde, roket ve uydu yapımında, otomotiv sanayisinde ve birçok spor malzemelerinin yapımında kullanılır (Ç. Altay, 2014).

**2.4.Deney Örneklerinin Hazırlanması**

Çalışmada kullanılan ahşap malzemesi Akkoyun Orman Ürünleri San. Ltd. firması tarafından temin edilmiştir. Kullanılan ağaç malzemenin de birinci sınıf çatlaksız ve budaksız olmasına dikkat edilmiştir. Odun örnekleri üretilecek lamine kereste ölçülerinde daire testere makinesinde kesilmiştir. Kesilen örneklere nem kürlenmeli poliüretan ve çift bileşenli epoksi yapıştırıcıları ve karbon fiber yapı malzemesi eklenerek lamine edilmiştir. Çalışmada kullanılan çift bileşenli Epoksi yapıştırıcısının a bileşeni (reçine) ve b bileşeni (sertleştirici) 1/1 oranında açık gri rengi alana kadar karıştırılıp ve uygulanan yüzeye 300 g/m2 olacak şekilde fırça yardımıyla sürülmüştür. Deney örnekleri hazırlanırken kullanılacak keresteler eğilme performansını etkileyecek budak, çatlak vb. olmaması için görsel olarak kontrol edilmiştir. Kondisyonlanan ve standart rutubet değerlerine ulaşan masif keresteler, yapışmaya uygun pürüzsüz yüzey olacak şekilde hazırlanmıştır. Ahşap lamine keresteler 5 tabakadan (lamel) oluşturularak lamellerin kalınlıkları, 8 mm, 16 mm, 24 mm olarak hazırlanmıştır. Aynı zamanda CFRP yapı malzemesi hazırlanırken liflerinde kopma meydana gelmeyecek şekilde düzgün kesim yapmaya dikkat edilmiştir. Kesilen CFRP yapı malzemesi lamelerin katmanların arasına ve üst tarafına epoksi ve poliüretan yapıştırıcısı ile yapıştırılmıştır. Örnekler tutkalladıktan sonra işkence ile sıkılmıştır. Bununla birlikte elde edilen örnekler her deney grubu için uygun standartlarda istenilen ölçülere getirilmiştir.

**2.5.Deney Metodları**

### 2.5.1. Hava kurusu yoğunluk

Deney örnekleri 20 ºC ± 2 sıcaklık ve %65 ± 5 bağıl nemde kondisyonlanarak %12 rutubete getirilmiştir. Yoğunluk tayininde kullanılacak örnekler lamine kerestelerin enine kesit ölçülerinde ve 100 mm uzunluğunda hazırlanmıştır. Yoğunlukların belirlenmesinde TS 5497 EN 408 esaslarına uyulmuştur. Hazırlanan örnekler 20 ºC ± 2 sıcaklık ve %65 ± 5 bağıl nemde klimatize edilerek %12 rutubete getirilmiştir. Örneklerin boyutları 0,01 mm hassasiyetle ölçülecek ve bu değerler birbiriyle çarpılarak numunelerin hacimleri tespit edilmiştir. Daha sonra 0,01 gr Hassasiyetle tartım yapabilen analitik terazi yardımıyla her bir örneğin ağırlıkları belirlenmiştir. Aşağıda belirtilen formül kullanılarak hava kurusu yoğunluklar bulunmuştur.



d= Yoğunluk (g/cm3)

m=Örnek ağırlığı (g)

v=Örnek hacmi (cm3)

**2.5.2. Statik Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü**

Yapısal boyutta eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü deneylerinde TS 5497 EN 408 standardına uyulmuştur. Uygulama boyutundaki yapı malzemesinde kuvvet merkeze göre simetrik iki noktadan uygulanır. Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülünün hesaplanmasında aşağıda verilen eşitliklerden yararlanılmıştır.

  
σE= Eğilme Direnci (N/mm2)

F= Kırılma anındaki maksimum yük (N)

LS= Dayanaklar arası mesafe (h x 18) (mm)

L= Uygulanan F/2 Kuvvetler arası mesafe (Ls/3) (mm)

b= Örnek genişliği (mm)

h= Örnek kalınlığı (mm)

Em = Eğilmede elastisite modülü (N / mm2)

L1 = Destek eksenleri arasındaki mesafe (mm)

b = Örnek genişliği (mm)

h = Numune yüksekliği (mm)

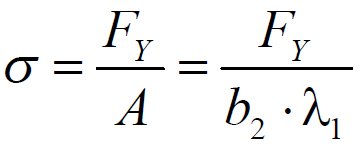
F2-F1 = Yük sapma diyagramı oranları bölgesinin yük artışı (N)

a2-a1 = Mukavemetteki artış nedeniyle, numune uzunluğunun ortasında sapma farkı (mm)

**2.5.3. Yapışma Direnci Çekme Makaslama**

. Lâmine edilmiş ağaç malzemelerden üretilen her türden 10x20x150 mm boyutlarında deney örneği hazırlanmıştır. Hazırlanan deney örnekleri için belirlenen standarda uygun olarak deney düzeneği hazırlanmıştır. Üniversal test cihazında 3 mm/dk. yükleme hızıyla yapışma yüzeyine çekme mukavemeti uygulanarak yapıştırıcı hattından koparılmaya çalışılmıştır.

Yapışma direnci (σ)’ nın hesaplamasında aşağıdaki eşitlikten yararlanılmışdır.



σ = Yapışma direnci (N/mm2)

FY= Kopma anındaki kuvvet (N)

λ = Yapışma yüzeyinin uzunluğu (mm)

b2= yapışma yüzeyinin genişliği (mm)

2.5.5. Verilerin istatiksel olarak değerlendirilmesi

Verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi için SPSS paket programından faydalanılmıştır. Örnek türlerinin sonuçlar üzerinde etkili olup olmadığını belirleyebilmek için varyant analizi uygulanmıştır. Daha sonra faktörler üzerinde, farklılığın boyutunu belirleyebilmek için örneklere Dunca, Anova, Friedman,Scheffe ve T- testi uygulanmıştır.

**3.Bulgular.**

**3.1.Hava kurusu yoğunluk**

Çalışma kapsamında hazırlanan örneklere verilen kodlar ve anlamları Çizelge 1’de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.1.** **Çalışmada kullanılan kodlar ve anlamları**

|  |  |
| --- | --- |
| **Grup kodları** | **Kod Açılımı** |
| KE | Epoksi kontrol grup |
| KP | Poliüretan kontrol grup |
| DE | Epoksi dış yüzey tek kat karbon fiber |
| DP | Poliüretan dış yüzey tek kat karbon fiber |
| AE | Epoksi iç yüzey tek kat karbon fiber |
| AP | Poliüretan iç yüzey tek kat karbon fiber |
| İE | Epoksi iç yüzeyde çift katman karbon fiber |
| İP | Poliüretan iç yüzeyde çift katman karbon fiber |
| TE | Epoksi dış yüzeyde çift kaman karbon fiber |
| TP | Poliüretan dış yüzeyde çift kaman karbon fiber |

Lamine örnekler üzerinde yapılan ölçümlere göre yoğunluk değerlerine ait veriler Çizelge 2’de verilmiştir.

**Çizelge 2. Hava kurusu yoğunluklara ait ortalama değerler**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **No** | **Gruplar** | **Ortalama (****g/cm3)** | **Standart sapma** | **Cov değeri** |
| 1 | KE | 0.486 | 0.013 | 1.91 |
| 2 | KP | 0.449 | 0.008 | 1.72 |
| 3 | DE | 0.541 | 0.021 | 3.70 |
| 4 | DP | 0.521 | 0.006 | 1.12 |
| 5 | AE | 0.479 | 0.006 | 1.17 |
| 6 | AP | 0.469 | 0.012 | 2.47 |
| 7 | İE | 0.518 | 0.020 | 2.29 |
| 8 | İP | 0.484 | 0.002 | 0.47 |
| 9 | TE | 0.501 | 0.016 | 2.79 |
| 10 | TP | 0.469 | 0.008 | 1.76 |

Yapılan deneyler sonucunda en yüksek hava kurusu yoğunluk, epoksi dış yüzey CFRP kaplamalı örneklerde 0,54 g/cm3, en düşük yoğunluk poliüretan (kontrol) ile lamine edilen örneklerde 0,449 g/cm3 elde edilmiştir.

**3.2. Statik Eğilme Direnci**

Deney gruplarının tanımlayıcı statistik değerleri çizelge 3 de gösterilmişdir

Çizelge 3.Deney gruplarının tanımlayıcı statistik değerleri

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Gruplar | Standart sapma | Standart  Hata | Varyasyon katsayısı (Cov) | Serbestlik derecesi | %95 Güven Aralığında | | Minimum | Maksimum |
| Alt Sınır | Üst  Sınır |
| KE | 9,39 | 5,42 | 24,4 | 2 | 15,04 | 61,74 | 32,52 | 49,23 |
| KP | 3,13 | 1,80 | 9,08 | 2 | 26,69 | 42,26 | 31,03 | 37,15 |
| DE | 7,08 | 4,09 | 9,61 | 2 | 56,01 | 91,21 | 66,67 | 80,92 |
| DP | 8,00 | 4,61 | 12,94 | 2 | 41,99 | 81,74 | 55,02 | 70,63 |
| AE | 9,05 | 5,22 | 14,1 | 2 | 41,68 | 86,67 | 55,49 | 73,56 |
| AP | 6,25 | 3,61 | 10,40 | 2 | 44,39 | 75,47 | 55,60 | 67,11 |
| İE | 9,65 | 5,52 | 24,11 | 2 | 16,03 | 64,01 | 33,10 | 51,05 |
| İP | 12,15 | 7,01 | 10,33 | 2 | 5,24 | 65,64 | 24,58 | 48,57 |
| TE | 6,37 | 3,68 | 10,22 | 2 | 47,18 | 78,86 | 56,51 | 69,26 |
| TP | 3,17 | 1,83 | 5,38 | 2 | 50,99 | 66,77 | 57,01 | 62,55 |

% 95 güven güven düzeyinde verilerden göründüğü gibi en fazla değişim epoksi ve poliüretan gruplarında dış yüzeylere uygulanmış CFRP gruplarında görülmüştür. CFRP nin elastik olması özelliğine göre örneklerinin boy ölçüleri arttıkça verilerde artış olduğu görülmüştür. Gruplar arasında değişim miktarını belirlemek için Anova ve Duncan testi ile birlikte normallik testi yapılmıştır.

**Çizelge 4.deney gruplarının varyans analizi verileri**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Gruplar | Smirnov test verileri | | Shapiro wilk  Test verileri | | T-değeri | Varyans  Değeri | Kareler  Ortalaması | F değeri | P değeri  (P≤0,05) |
| İstatistik  Değeri | Çarpıklık değeri | İstatistik değeri | Önemlilik  Değeri |
| KE | 0,368 | 1,026 | 0,791 | 0,093 | 8,48 | 0,956 | 88,33 | 176,66 | 0,05 |
| KP | 0,264 | -1,496 | 0,954 | 0,589 | 8,68 | 0,806 | 9,82 | 19,64 | 0,04 |
| DE | 0,193 | 1,415 | 0,997 | 0,891 | 5,22 | 0,790 | 50,21 | 100,42 | 0,05 |
| DP | 0,263 | 1,250 | 0,955 | 0,592 | 9,71 | 0,928 | 64,01 | 128,02 | 0,01 |
| AE | 0,197 | -1,176 | 0,996 | 0,874 | 5,89 | 0,939 | 82,00 | 164,00 | 0,02 |
| AP | 0,342 | 1,606 | 0,845 | 0,228 | 19,69 | 0,852 | 39,11 | 78,22 | 0,02 |
| İE | 0,331 | 0,855 | 0,864 | 0,279 | 9,86 | 0,971 | 93,26 | 186,52 | 0,06 |
| İP | 0,240 | 1,473 | 0,974 | 0,691 | 33,45 | 0,822 | 147,78 | 295,56 | 0,03 |
| TE | 0,184 | -1,500 | 0,999 | 0,928 | 7,71 | 0,852 | 40,65 | 81,30 | 0,09 |
| TP | 0,380 | 1,500 | 0,761 | 0,025 | 10,43 | 0,809 | 10,09 | 20,18 | 0,05 |

İç katmanlara uygulanmış tek kat poliüretan grupları arasındaki verilerin dağılımı bu şartı sağlamıyor. Epoksi grubun dış yüzeylere uygulanan çift kat CFRP grubu ise en yüksek homojen değeri verisine sahiptir.

**3.3. Elastikiyet Modülü**

Deney gruplarının elastikiyyet modülü tanımlayıcı statistik değerleri çizelge 5 de gösterilmişdir

**Çizelge 5. deney gruplarının elastikiyet modülü istatiksel analizi.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Gruplar | Standart sapma | Standart  Hata | Varyasyon katsayısı (Cov) | Serbestlik derecesi | %95 Güven Aralığında | | Minimum | Maksimum |
| Alt Sınır | Üst  Sınır |
| KE | 1932,32 | 1115,63 | 21,71 | 2 | 4096,40 | 13696,80 | 7241,20 | 11019,94 |
| KP | 1270,02 | 733,39 | 14,86 | 2 | 5387,70 | 11698,80 | 7079,85 | 9361,18 |
| DE | 6742,15 | 4608,32 | 35,43 | 2 | 6543,55 | 33121,46 | 7860,42 | 22457,57 |
| DP | 960,08 | 3892,70 | 6,42 | 2 | 2277,54 | 35775,48 | 11806,62 | 25159,23 |
| AE | 2902,37 | 1675,68 | 29,71 | 2 | 2541,17 | 16960,96 | 6584,67 | 12285,16 |
| AP | 709,22 | 409,34 | 7,26 | 2 | 7994,36 | 11516,88 | 8940,77 | 10231,58 |
| İE | 3116,04 | 1904,07 | 34,02 | 2 | 783,10 | 17173,63 | 5875,95 | 12443,97 |
| İP | 2514,25 | 318,13 | 28,92 | 2 | 2288,76 | 5026,45 | 3156,50 | 4247,73 |
| TE | 7982,02 | 554,75 | 60,05 | 2 | 1257,13 | 1734,90 | 13851,32 | 15550,37 |
| TP | 1215,81 | 1215,80 | 13,92 | 2 | 5713,70 | 11754,13 | 7384,52 | 9774,05 |

Gruplar arasında farklılığı belirlemek amacıyla yapılan testlerin sonuçları Çizelge 6 da gösterilmiştir

**Çizelge 6. deney gruplarının varyans elastikiyet modülü analizi verileri**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Gruplar | Smirnov test verileri | | Shapiro wilk  Test verileri | | T-değeri | Varyans  Değeri | Kareler  Ortalaması | F değeri | P değeri  (P≤0,05) |
| Statistik değeri | Çarpıklık değeri | Statistik değeri | Önemlilik  Değeri |
| KE | 1,620 | 0,231 | 0,980 | 0,732 | 11,497 | 3733943,04 | 8420,20 | 1,914 | 0,072 |
| KP | 1,722 | 0,361 | 0,917 | 0,806 | 26,96 | 1613608,40 | 7963,07 | 1,220 | 0,001 |
| DE | 1,114 | 0,347 | 0,836 | 0,204 | 2,88 | 6370991,24 | 11401,68 | 1,960 | 0,002 |
| DP | 1,524 | 0,262 | 0,956 | 0,596 | 23,83 | 4545951,18 | 9685,05 | 1,874 | 0,002 |
| AE | 1,886 | 0,253 | 0,924 | 0,964 | 5,81 | 8423767,36 | 11209,93 | 1,634 | 0,028 |
| AP | 1,741 | 0,350 | 1,00 | 0,829 | 12,44 | 502685,892 | 10196,21 | 1,882 | 0,006 |
| İE | 1,700 | 0,350 | 0,829 | 0,185 | 4,71 | 1088364,93 | 11172,76 | 1,765 | 0,051 |
| İP | 1,462 | 0,231 | 0,980 | 0,732 | 11,64 | 1561056,37 | 9157,76 | 1,880 | 0,007 |
| TE | 1,602 | 0,231 | 0,916 | 0,980 | 4,88 | 2504333,71 | 10232,64 | 1,901 | 0,039 |
| TP | 1,554 | 0,277 | 0,942 | 0,534 | 7,97 | 1478171,54 | 9488,28 | 1,336 | 0,015 |

Ç.Altayın yapmış olduğu benzeri çalışmasında da Eğilmede elastikiyet modülü en fazla katmanlar arası Epoksi ve etrafı CFRP kaplanarak elde edilen örneklerde (14004,83 N/mm2) belirlenmiştir. CFRP malzemesi, lamine ağaç malzemenin elastiklik özelliğini artırıp, sert hale getirmektedir.

**3.4. Yapışma Direnci Çekme Makaslama Testi**

Deney grupları üzerinde yapılan ön işlemler çizelge 7’de gösterilmiştir.

**Çizelge 7. Yapışma (Çekme-makaslama) deneyi için uygulanan ön işlemler**

|  |  |
| --- | --- |
| İşlem Kodu | Ön işlem |
| A1 | Standart atmosferde\* 7 gün şartlandırıldıktan hemen sonra test etme |
| A2 | 4 gün 20±5°C suya daldırma ve ıslak koşullarda test etme |
| A3 | 4 gün 20±5°C suya daldırma  Standart atmosfer koşullarında orijinal ağırlığına\*\* kadar yeniden şartlandırma ve kuru test |
| A4 | 6 saat kaynayan suya daldırma, 2 saat 20±5°C suda daldırma ve ıslak test |
| A5 | 6 saat kaynayan suya daldırma, 2 saat 20±5°C suda daldırma  Standart atmosfer koşullarında orijinal ağırlığına kadar yeniden şartlandırma ve kuru test |
| \* Standart atmosfer koşulları 20±2°C sıcaklık ve %65±5 bağıl nem koşullarıdır  \*\* Orijinal ağırlık için tolerans %+2 ve %-1 dir. | |

Yapışma direnci deneyleri üzerinde yapılan varyans analizi verileri çizelge 8 da gösterilmiştir.

**Çizelge8. Yapışma direncine ait varyans analizi**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Varyans Kaynağı** | **Kareler Toplamı** | **Serbestlik derecesi** | **F değeri** | **P değeri** |
| Etkileşim | 441,25 | 1 | 463,25 | 0,00 |
| Tutkal | 19,85 | 1 | 19,20 | 0,00 |
| Tutkal x CFRP | 19,85 | 1 | 19,20 | 0,00 |

Varyans analizi sonuçlarına göre, etkileşim, tutkal ve tutkal CFRP etkileşimlerinin yapışma direnci üzerine etkisi %95 güven aralığında önemli olduğu belirlenmiştir. Bunlara ait Duncan testi sonuçları ise Çizelge 9da verilmiştir.

**Çizelge 9. Yapışma deneyine ait gruplarda duncan testi**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Örnek Türü** | **Ortalama Değer (N/mm2)** | **Homojenlik Grubu** |
| CFRP + Epoksi | 115,40 | A |
| Epoksi etrafı CFRP | 118,20 | B |
| Poliüretan etrafı CFRP | 104,11 | AB |
| Epoksi (Kontrol) | 101,12 | C |
| Poliüretan (Kontrol) | 83,72 | CD |

Poliüretan ile epoksi yapıştırıcılı örnekler duncan testine göre aynı homojenlik grubunda bulunmuştur. Lamine örnekleri oluştururken kullanılan tutkal çeşidi örnekleri CFRP kullanılmayan yapılmayan lamine örneklerinde herhangi bir etki göstermemiştir.

**4. Sonuçlar**

Deney sonuçlarına göre en fazla yoğunluk epoksi etrafı tek kat CFRP qrupunda görülmüştür 0,521 g/cm3. Deney sonuçlarına göre, örneklerinin statik eğilme direnci en fazla (73,324 N/mm2) etrafı tek kat CFRP yapı malzemesi ve epoksi yapıştırıcısı kullanılan lamine örneklerde elde edilmiştir ve kontrol gruplarına göre %26 oranında artış göstermiştir. Ahşap sektöründe karbon fiber takviyeli kompozitler epoksi yapıştırıcısı ile birlikte kullanılarak ahşap malzemenin eğilmeye karşı maruz kalan kısımlarında güçlendirme çalışmalarında kullanılabilir

Eğilmede elastikiyet modülü ortalama değeri en fazla 11831,797 N/mm2 ile epoksi etrafı CFRP kaplanarak elde edilen örneklerde belirlenmiştir ve kontrol gruplarına göre %24,31 oranında artış göstermiştir. Yüksek esneme ve kopma özelliği sayesinde CFRP yapı malzemesinin ahşap köprü, merdiven, kolon, kiriş ve çatılarda bölgesel güçlendirmede kullanılabilir.

Yapışma deneyi sonucunda, katmanlar arası CFRP yapı malzemesi ve Epoksi yapıştırıcısı ile lamine edilen örnek türlerinde ortalama yapışma direncinin en fazla olduğu belirlenmiştir (19.85 N/mm2). Aynı zamanda kontrol gruplarına göre % 101,89 oranında artış göstermiştir. Bundan dolayı, CFRP ve epoksi yapıştırıcısı kullanılarak ahşap yapıların zarar görmüş bölümlerinde ve restorasyon çalışmalarında kuvvetlendirme amacıyla kullanılabilir.

Sonuç olarak karbon fiber malzeme ve epoksi yapıştırıcı kullanılarak ahşap kolon, kiriş vb. yapı elemanlarının güçlendirilmesinde kullanılabilir.Karbon elyafı ahşap yapı kesitlerinde yüksek esneme ve kırılma özelliklerinden dolayı ercih edile bilir. Ayrıca epoksinin uygulandığı yüzeye kuvvetli ve hızlı nüfuz etmesi ve karbon fiber ile artan mukavemeti sayesinde özellikle ahşap zeminlerde aşınma süresini uzatmak için kullanılabilir.

6. **References**

Ahmad,Y (2013) Ductility of Timber Beams Strengthened Using Fiber Reinforced Polymer , *Journal of Civil Engineering and Architecture,*5(66): 535–544.

Akün, H., (2008) *Poliüretan, Karbon Fiber Kompozitlerin Hazırlanması ve Karakterizasyonu,* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 89 s.

Aleksandroviç,A., (2013) Усиление деревянных конструкций с использованием

стальных витых крестообразных стержней ,Journal Scıentıfıc Bulletın,3(30):128-137.

Altay, Ç., Cibo ,C., Özçifçi, A., Baysal, E., Toker,H.,(2018) Determination of Some

Mechanical Properties of Laminated Wood Material Reinforced with Carbon Fiber, Meslek Bilimler Dergisi,7(2):125-132 .

Amani, A., Niyazi, A., (2018) Türkiye’de Prefabrik Yapı Sektörünün Hızlı Gelişimi, *Journal of Engineering Sciences and Design,* 6(3):487-494.

Aydın, E., (2019) *Karbon Fiber Takviyeli Polimer Kompozit ile Alüminyum Alaşımının (AL 7075) İstiflenmiş Halde Delinebilirlik Özelliklerinin Araştırılması,* Doktora Tezi,Gazi Üniversitesi, Ankara, 207s.

Bardavit, D., (1992) *Ahşap İskelet Yapıda Taşıyıcılık ve Koruyuculuk Sorunları*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul ,102s, İstanbul.

Bilgin, Y., (2010) *Türkiyede Masif Panel Sektörünün Yapısal Durumu ve Ağaç İşleri Endüstrisindeki Kullanım Olanakları,* Yüksek Lisans Tezi,İstanbul Üniversitesi, İstanbul,142s.

Budak, A., Uysal, H., Aydın, A., (2004) Kırsal Yapıların Deprem Karşısındaki Davranışı, *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Dergi.* 35 (3-4): 209-219.

Çalışkan, Ö., Meriç, E., Yüncüler, M., (2019) Past, Present and Future of Timber and Timber Structures, *BSEU Journal of Science,* 6 (1), 109-118.

Çögurcü, M., (2007) *Yığma Yapıların Yatay Derz Güçlendirme Yöntemiyle Güçlendirilmesi,* Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya,204 s.

Durgun, I., (2014) Vakum İnfüzyon Yöntemi ile Kompozit Parça Üretimi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,*24(4):902-911.

Ergün, A., Çavdar, E., (2010) Geleneksel Balıkesir Dursunbey Evleri’nde Yapım Teknolojileri ve Malzeme Kullanımları, *BAÜ Fen Bil. Ens. Dergisi*, 12(2): 1-11.

Esen, E., (2009) *Kompozit Yaprak Yayların Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Yorulma Analizinin Yapılması,* Yüksek Lisans Tezi ,Bartın Universitesi, Bartın, 160 s.

Gluhih, N., Vladimir, N., Petrov, V.M., Khudaev, E.V., (2017) Strengthening of structural elements sticker of composite materials at compressed and stretched area, *Journal Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,* 9(6):1273-1281.

Gül, N., Güzelçoban, S., (2019) Çağdaş Ahşap Yapım Sistemlerinin Çok Katlı Yapılarda Kullanımının İncelenmesi, *The Tree, Kent Akademisi,* 12(3):586-599.

İçel, B., Şimşek, Y., (2017) Isıl İşlem Görmüş Ladin ve Dişbudak Odunlarının

Mikroskobik Görüntüleri Üzerine Değerlendirmeler, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bil. Ens. Dergisi, 21(2): 414-420

Karayılmazlar, S., Çabuk, Y., Atmaca, A., Aşkın, A., (2007) Orman Ürünleri Endüstrisinde Laminasyon Tekniği ve Önemi, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi,* 9(11):78-86.

Karayılmazlar, S., Çabuk, Y., Atmaca, A., Aşkın, A., (2014) Laminasyonlu Ahşap Kirişlerin Çeşitli Yapılarda Kullanımı, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi,* 10(14):13-21.

Kartal, B., (2015) *Yapılarda Ahşap Kullanımı ve Çağdaş Yapı Teknolojisinde Ahşap Kullanımı,* Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi, Istanbul, 224s.

Kaya, A., (2016) Kompozit Malzemeler ve Özellikleri, *Putech & Composite Poliüretan ve Kompozit Sanayi Dergisi*, (29): 38-45.

Kaya, B., (2014) *Kompozitlerin Mekanik Alaşımlama ve Sinterleme Süreçlerinin İncelenmesi ve Karakterizyon Çalışmaları*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 175 s.

Keskin, E., (2003) *Betonarme Yapıların Onarımı Güçlendirilmesi ve Lifli Güçlendirilmiş Polimerler*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul,139s.

Kılınçarslan,Ş.,Türker,Y.,(2020) Ahşap Malzemelerin FRP ile Güçlendirilmesinin Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi, *Teknik Bilimleri Dergisi*,1(10):22-30.

Koçu, N., Dereli, M., (2005) Betonarme Karkas Yapılarda Malzeme, Tasarım, Uygulama Hataları ve Deprem Etkilerinin Araştırılması, *Deprem sempozyumu,* 23-25 mart 2005, Kocaeli, Kocaeli Üniversitesi Basım Evi, Bildiriler Kitabı 1. Cilt:716-724.

Kupers, R., (2014) *A Clımate Polıcy Revolutıon: What The Scıence of Complexıty Reveals About Savıng The Planet,* Harvard University Press 2020, ABD, 413s.

Kurtoğlu, A., Zorlu, A., (1979) Yapıştırılmış Tabakalı Ağaç Malzemeler, *İ.Ü., Orman Fakültesi Dergisi,* 2(1):65-69.