



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Lamine Kayın Panellerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Üzerine Lif Dolgulu Epoksi Tutkallarının Etkisi

Nuray Balcı, Leyla Aktürk, Deniz Aydemir*

Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orman Fakültesi, Bartın Üniversitesi, Bartın, TÜRKİYE

** Sorumlu yazarın e-posta adresi: denizaydemir@bartin.edu.tr*

ÖZET

Termoset bir polimer olan epoksi, birçok alanda kullanımı olan bir materyaldir. Suya, aside ve alkaliye direnci çok yüksek, zamanla direnç özelliğini kaybetmez ve bu yüzden birçok materyalin ya da kompozitin hazırlanmasında kullanılabilir. Özellikle yüzey kaplamalarında ve yüzey özelliklerinin iyileştirilmesinde farklı katkı maddeleriyle birlikte kullanılabilir. Bu çalışmada; lamine kayın panellerin fiziksel, mekanik ve yüzey morfolojisi üzerine Mikro fibril selüloz (MFC), Nanofibril selüloz (NFC), pamuk (C) ve α -selüloz (AC) katkılı epoksi tutkalının etkileri araştırılmıştır. Lamine malzemeler 5 katmanlı olarak Doğu kayını (*Fagus orientalis*) odunu kullanılarak yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre epoksi'ye eklenen farklı katkı maddelerinin, lamine malzemelerin yoğunluk değerlerini kısmen yükselttiği belirlenmiştir. Yoğunluk değerlerine göre tam kuru rutubette NFC ilaveli lamine kompozitlerin yoğunluğu 0.70 gr/cm^3 , hava kurusu rutubette MFC'li kompozitlerin 0.74 gr/cm^3 ve %100 rutubette ise kontrol örneklerinde 0.90 gr/cm^3 olarak belirlenmiştir. Elde edilen mekanik özelliklere bakıldığında sırasıyla en yüksek eğilme direnci, MFC içeren kompozitlerde $118,5 \text{ MPa}$; eğilmede elastikiyet modülü ve basınç direnci ise C'li numunelerde 9385 MPa ve 66.81 MPa olarak belirlenmiştir. Elektron mikroskobu yardımıyla yapılan yüzey analizlerinde ise katkı maddelerinin yüzeyde tutunmayı artırarak mekanik özellikleri yükselttiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Lamine kompozitler, kayın odunu, lif katkılı tutkallar, epoksi

The Effect of Fibers Filled Epoxy on the Physical and Mechanical Properties of Laminated Beech Wood Panels

ABSTRACT

Epoxies which are a thermoset polymer are commonly used. They can be used at preparing many products and composites because of high resistance to acid, alkali and not loss strength the performance with duration. They can be specially benefited with different fillers at the surface coating and in improving the surface performance. In this study, the effects of fillers such as micro fibrillated cellulose (MFC), Nano fibrillated cellulose (NFC), cotton (C), and alpha cellulose (AC) on the physical and mechanical properties and morphological behavior inside the layers of the laminated beech composites were investigated. The laminated composites were prepared as 5 layers from beech (*Fagus orientalis*) wood. The results showed that the addition of fillers to epoxy slightly increased the density of the laminated composites. According to the kiln-dried, air-dried, and wet density, the maximum density values were determined at 0.70 gr/cm^3 for the composites with NFC, 0.74 gr/cm^3 for the

composites with MFC, and 0.90 gr/cm³ for the control composites. The maximum values for mechanical properties of the composites such as flexure strength, modulus of elasticity at flexure and compression strength were determined at 118,5 MPa for the laminated composites with MFC and 9385 MPa and 66.81 MPa for the laminated composites with C. In the surface analysis conducted with helping electron microscopy (SEM), it was found that the fillers increased the mechanical performance by increasing the bonding on the surfaces of the layers

Keywords: Laminated composites, Beech Wood, fiber filled adhesives, epoxy

I. GİRİŞ

EPOKSİ reçine genellikle yüksek yapışma direnci ve iyi fiziksel özelliklerinden dolayı elektronikten farklı inovatif ürünlerin üretimine kadar birçok üründe kullanılmaktadır [1]. En yaygın kullanım alanlarından biride ahşap yat üretiminde masif papellerin sudan korunması ve yüzeyin parlak bir hal alması için en yoğun kullanılan ara maddelerdendir. Ayrıca farklı özellikler kazandırmak için bazı kullanım alanlarında epoksi reçinesine çeşitli dolgu maddeleri ilave edilmektedir. Böylece hem farklı özellikler kazanmakta hemde direnç özelliklerinde artış meydana gelmektedir [2]. Epoksiler genellikle biri sertleştirici biride reçine olmak üzere çift komponent olarak kullanılmaktadır. Sertleştirici epoksi reçinesindeki çapraz bağlanma sayısını artırarak tutkalın daha hızlı sertleşmesine katkı sağlamakta böylece daha etkili bir yapışmanın oluşumunu kolaylaştırmaktadır. Epoksi reçine termoset bir polimer olduğu için sertleşme sonrasında tekrar eski haline alamaz ve çeşitli darbelerde veya ısı altında rijit bir davranış göstermektedir [3]. Son yıllarda yeni ürünlerin üretilmesiyle polimerler farklı şekillerde ve farklı dolgu maddeleriyle güçlendirilerek yeni ürünler elde edilmektedir. Bu yönde birçok araştırmacı farklı bio-materyaller yada farklı nano ölçekli ilaveler kullanarak polimerlerin gelişimi için çalışmaktadırlar [2,4,5,6]. Bu çalışmada epoksi reçinesinin özelliklerinin değiştirilmesinde selüloz esaslı olan dolgu maddelerinden faydalanılacaktır. Selüloz nano ölçekte fibrillerin bir araya gelmesiyle meydana gelen zincir şekilli bir biyo-polimerdir. Genellikle bu fibriller hidrojen bağı olarak adlandırılan bir bağlanmayla bir arada tutulmaktadır. Hidrojen bağları hem zincirler arasında hemde moleküller arasında oluştuğu için yüksek dirence sahip bir yapı meydana gelmektedir. Bu nedenle birçok kompozitten güçlendirici olarak ya da farklı ürünlerde dolgu/katkı maddesi olarak kullanılabilir [7]. Bu çalışmada, mikrofibril selüloz (MFC), Nanofibril selüloz (NFC), Pamuk (C), Alfa selüloz (AC) epoksi reçinesinin özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılmıştır. Hazırlanan bu karışımlar kullanılarak dolgu maddeleri ilaveli epoksi tutkallarının lamine malzemenin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılacaktır. Bu kapsamda kompozitlerin; su alma, kalınlığına şişme, basınç direnci, eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü araştırılmıştır.

II. DENEY

A. KULLANILAN MALZEME

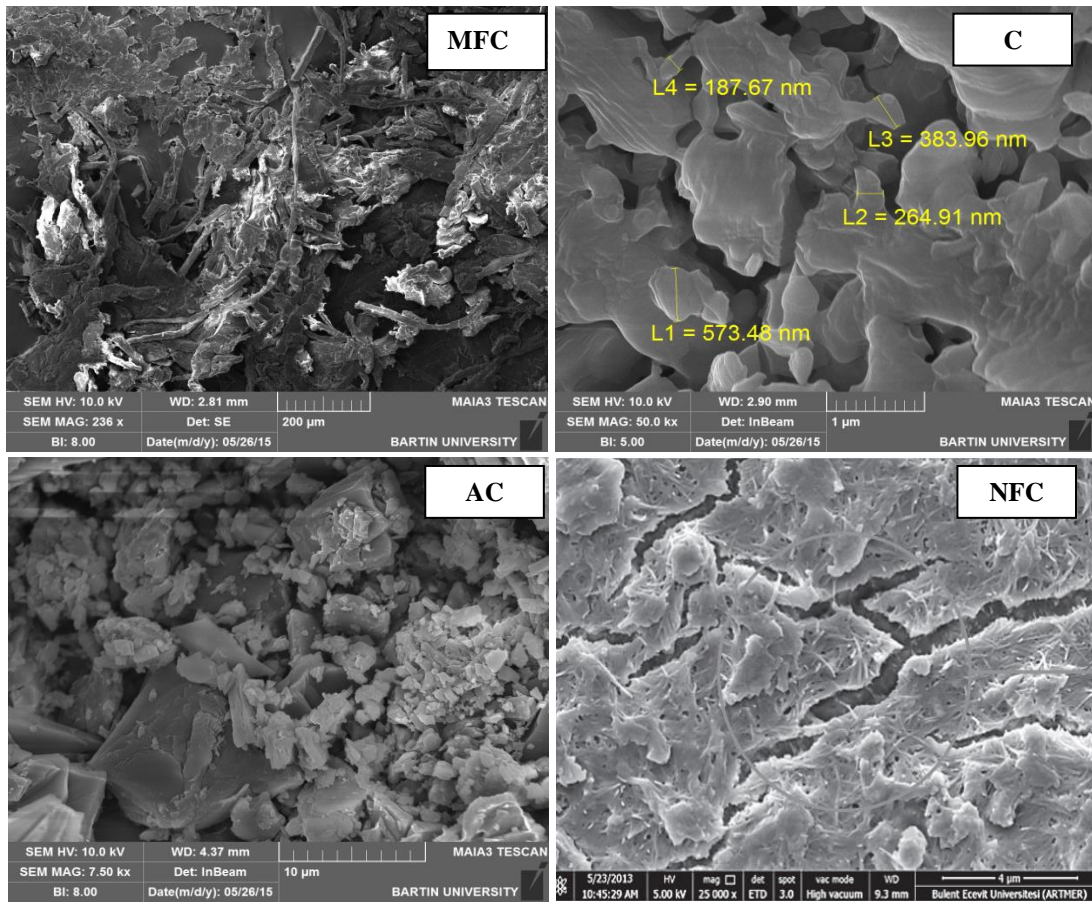
Çalışmada kullanılan Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.) Batı Karadeniz Bölgesinin Bartın ilinde özel bir firmadan temin edilmiştir. Ağaç malzemenin seçiminde, kerestelerinin kusursuz, liflerinin düzgün, budaksız, normal büyüme göstermiş, reaksiyon odunu olmayan, böcek ve mantar zararlarına uğramamış olmasına özen gösterilmiştir. Temin edilen ahşap materyal Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi Mobilya Atölyesinde 40 x 20 x 400 mm örnek ebatlarına getirilmiştir. Elde edilen deney

örneklerinin yüzeyi iyice zımparalandıktan sonra $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta ve $\%65\pm 5$ bağıl nem şartlarında $\%12$ rutubete ulaşmaya kadar bekletilmişlerdir. Örneklerin birleştirilmesi için çift komponentli Tekno Marin markalı epoksi reçinesi kullanılmıştır. Epoksi tutkalı üretici firmanın tavsiye ettiği miktarda ve oranda kullanılmıştır. Üretici firma tarafından reçinenin teknik özellikleri Tablo 1’ de gösterilmiştir.

Tablo 1. Epoksi (Tekno Marin Era 4000-A) reçinesinin özellikleri

Özellikler	Değerler
Yoğunluk (gr/cm^3)	1,1
Uygulama aralığı ($^{\circ}\text{C}$)	+ 15 ~ + 35
Kuruma zamanı (20°C)	1 saat
Uygulama şekli	Fırça, rulo
Karışım oranı (ağırlık ile hacim)	2A / 1B

Deney örneklerinin hazırlanmasında kullanılacak olan dolgu maddeleri; α -selüloz (AC), pamuk (C), MFC (Mikrofibril selüloz), NFC (Nanofibril selüloz) laboratuvarımızda asit hidrolizi yöntemiyle üretilmiştir. Kullanılan dolgu maddelerine ait olan elektron mikroskobu resimleri Şekil.1’de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan dolgu maddelerine ait görüntüler

B. EPOKSİ-LİF KARIŞIMININ HAZIRLANMASI

Epoksi kompozitler, farklı dolgu maddelerinin (MFC, NCC, AC ve C) epoksiye eklenmesiyle ve solüsyon tekniği kullanılarak karıştırılacaktır. Çalışma sonucunda elde edilen örneklere ait formülasyon kodları Tablo 2’ de verilmiştir.

Tablo 2. Tutkala katılan nanopartiküller

Kısaltmalar	Formülasyon
Kontrol	Saf Epoksi
MFC	Selüloz Mikrofibril (%5)+Epoksi
NCC	Nanokristalin Selüloz (%5)+Epoksi
AC	Alfa Selüloz (%5)+Epoksi
C	Pamuk Selülozu (%5)+Epoksi

Dolgu maddeleri ilk etapta mekanik karıştırıcı yardımıyla 2000 devir/dk hızla 5 dakika süreyle 50 ml dolgu maddesi solüsyonuyla 22 gr epoksi tutkalı karıştırılmıştır. Mekanik karışım sağlandıktan sonra elde edilen karışım ultrasonik karıştırıcı yardımıyla 10 dk daha partiküllerin dağılması için karıştırılmıştır. Hazırlanan karışıma 11gr sertleştirici eklenerek homojen bir karışım sağlanıncaya kadar mekanik karışım yapılmıştır. Her formülasyon için benzer hazırlama prosesi uygulanarak tüm örnekler hazırlanmıştır.

C. LAMİNE PANELLERİN HAZIRLANMASI

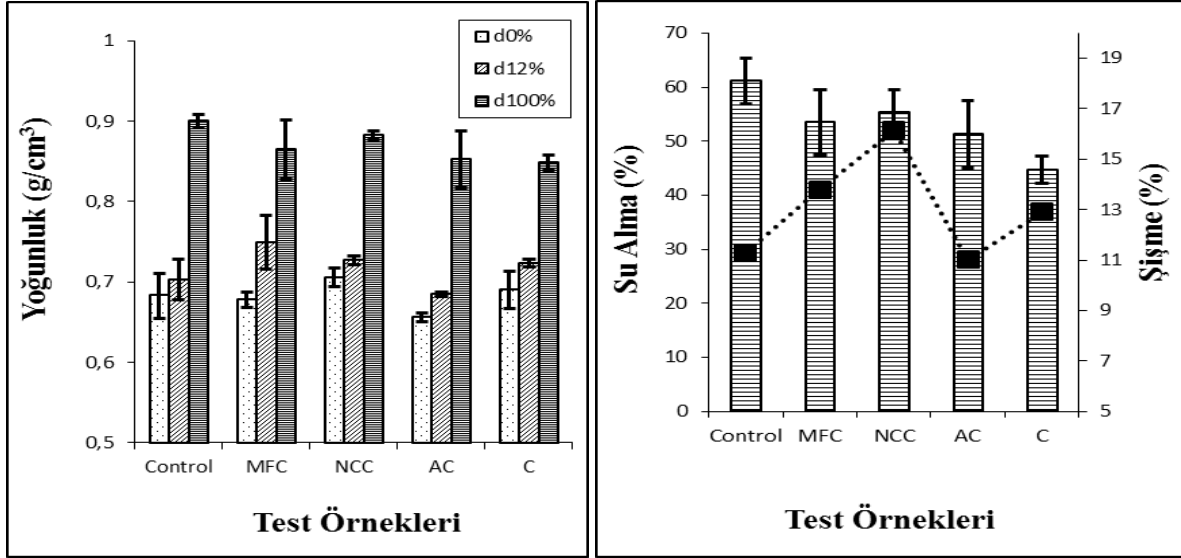
İklimlendirme sonrası %12 rutubette ulaşan 4x2x40cm boyutlarındaki kayın tabaka üzerine hazırlanan tutkallar fırça yardımıyla sürülmüştür. Her tabakaya ayrı ayrı yapılan tutkallama işlemi her bir tabakaya standartta belirtildiği gibi 220 g/m² olacak şekilde uygulanmıştır. Tutkallanan ve üst üste konulan tabakalar soğuk preste tutkalın sertleşmesi için 1 saat bırakılmıştır. Diğer tüm örnek formülasyonları için aynı işlem uygulanmış her bir formülasyon için 4’er levha hazırlanmıştır. 4 x 2 x 40 cm boyutlarında lamine edilmiş kayın panellerin bir kenarları planya edilerek, yüksek devirli daire testere makinesinde ve standartlarda belirtilen ölçülerde su alma, kalınlığına şişme, eğilme direnci, elastikiyet modülü ve basınç direnci için numuneler hazırlanmıştır. Her bir test 15 numune üzerinde yürütülmüştür.

D. KULLANILAN YÖNTEMLER

Yoğunluk; TS 2470 (2005)’ e göre 20 x 20 x 30 mm boyutlarında örnekler hazırlanarak belirlenmiştir. Su Alma ve Kalınlığa Şişme; 20 x 20 x 30mm boyutlarında 15 adet numune kullanılarak yürütülmüştür. Tam kuru haldeki, boy ve ağırlıkları alınan kompozitler su banyosunda 24 saat bekletilerek su alma ve kalınlığına şişme yüzdeleri belirlenmiştir. Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü; Utest marka test cihazında TS EN 310 standardına göre yürütülmüş ve deney sonrasında ortalamalar alınarak eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülleri belirlenmiştir. Basınç Direnci; Utest marka test cihazında 20x20x30mm boylarında numuneler kullanılarak ilgili standarda göre belirlenmiştir. Elde edilen verilere ait standart sapmalar, varyasyon kat sayıları ve ortalamalar gibi istatistiki veriler SPSS16 paket programı kullanılarak analiz edilmiştir.

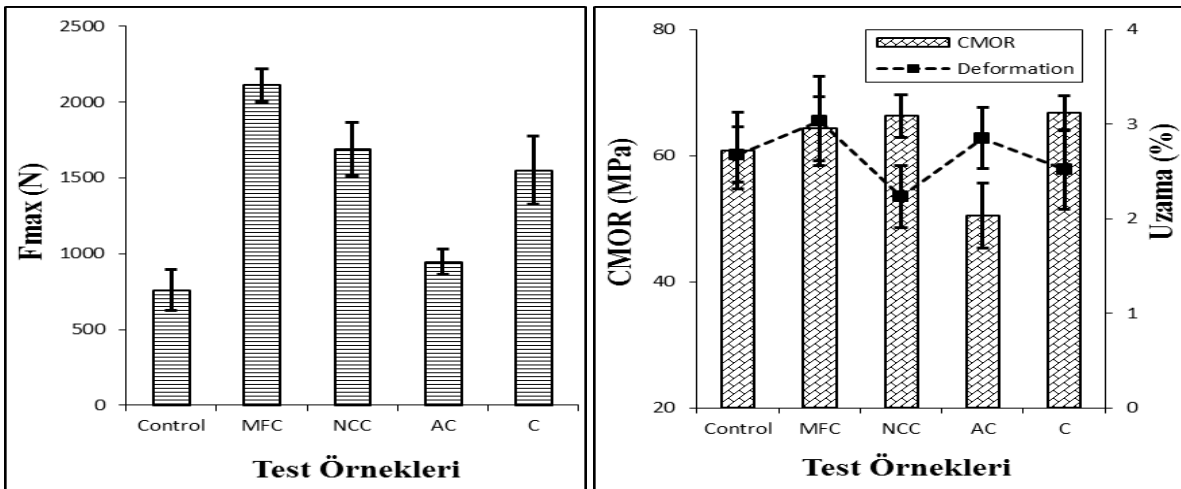
III. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada, farklı boyutlara sahip olan selüloz esaslı dolgu maddeleri; epoksi reçinesinin yapışma direnci ve özelliklerini iyileştirilmesi için kullanılmıştır. Dolgu maddeleriyle hazırlanan epoksi tutkalı kullanılarak lamine kayın paneller hazırlanmış ve bazı fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Şekil 2 hazırlanan kompozitlerin fiziksel özelliklerinden olan su alma ve kalınlığına şişme değerlerini göstermektedir.



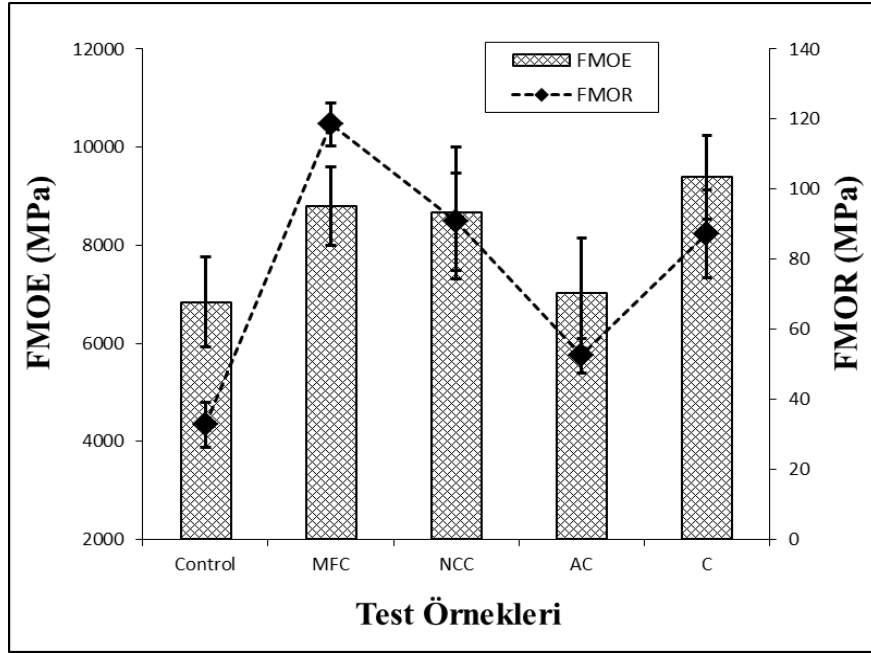
Şekil 2. Lamine kompozitlerin ortalama yoğunluk ve su alma değerleri

Elde edilen verilere göre kompozitlerin yoğunluk değerleri dolgu maddelerinin ilavesiyle farklı oranlarda değiştiği belirlenmiştir. Su alma ve kalınlığına şişme verileri incelendiğinde en yüksek su alma değerlerinin kontrol numunelerine ait iken en yüksek şişme değerleri dolgu maddelerinde olduğu belirlenmiştir. Bu durumun selülozun hidrofilik yapısından dolayı meydana geldiği düşünülmektedir. Ayrıca dolgu maddeleri küçük borular şeklinde düşünüldüğünde suyun iletiminin daha kolay olmasının da büyük etkisi olduğu söylenebilir.



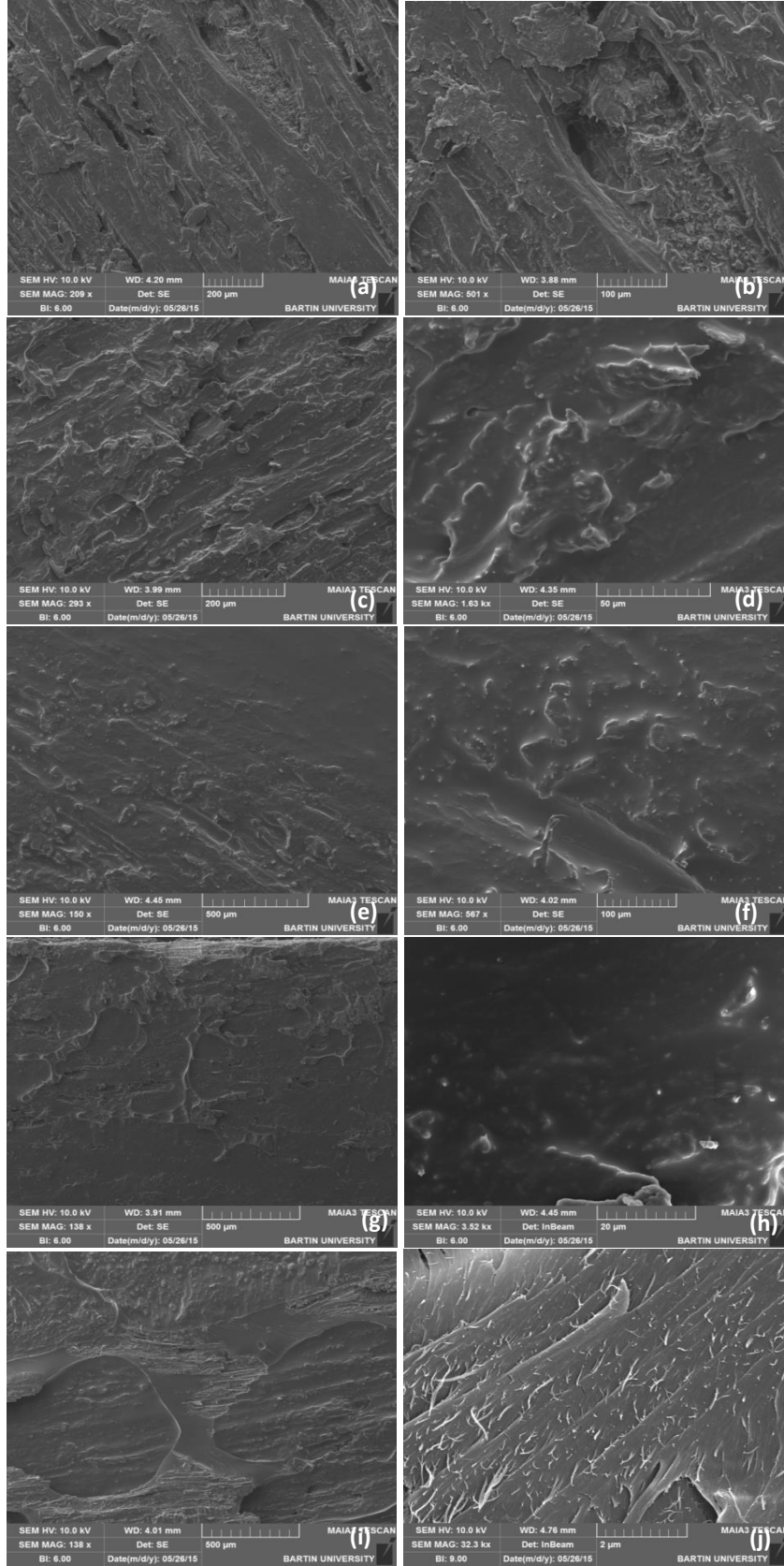
Şekil 3. Lamine kompozitlerin Fmax, uzama ve basınç direnci (CMOR) değerleri

Hazırlanan kompozitlerin mekanik performansını belirlemek için basınç direnci (CMOR), basınçta uzama oranları ve kırılmanın meydana geldiği andaki maksimum kuvvet (Fmax), eğilme direnci (FMOR) ve eğilmede elastikiyet modülü (FMOE) değerleri araştırılmıştır. Şekil 3, kompozitlerin basınç direnci, basınçta uzama ve Fmax değerlerini göstermektedir. Şekil 3’de, basınç direnci sonuçlarına bakıldığında AC dışındaki dolgu maddeleri ile hazırlanan kompozitlerin mekaniksel özellikleri kontrol numunesine göre daha yüksek olduğu bulunmuştur. En yüksek basınç direnci değeri NCC ve C ile yapılan kompozitlerde 66,3 MPa ve 66,8 MPa olarak belirlenirken en düşük basınç direnci ise AC ile yapılan kompozitlerde 50,5 MPa olarak belirlenmiştir. Kırılma esnasındaki maksimum kuvvetlere bakıldığında ise, dolgu liflerinin kullanıldığı kompozitlerde Fmax değerinin kontrol örneklerine ait Fmax değerlerine göre hayli yüksek olduğu görülmüştür. Bu durumun liflerin yüzey alanını genişletmesiyle daha fazla tutunma sağladığı ve bu durumun dolgulu epoksi ile hazırlanmış kompozitlerdeki Fmax değerini yükselttiği sonucu çıkarılabilir. Şekil 4’de hazırlanan lamine kompozitlerin eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü gösterilmiştir. Basınç direncinde olduğu gibi eğilme ve elastikiyet modülü değerleri de dolgu maddelerinin ilavesiyle yükseldiği belirlenmiştir. Eğilme direncindeki değişimlerin elastikiyet modülüne göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Eğilme direnci değerlerine göre en yüksek artış MFC ilaveli kompozitlerde 118.50 MPa olarak belirlenirken en düşük direnç değeri ise kontrol örneklerinde 32.75 MPa olarak bulunmuştur. Eğilmede elastikiyet modülü değerlerine bakıldığında en yüksek elastikiyet 9385 MPa ile C ilaveli kompozitlerde iken en düşük elastikiyet değeri ise 6842 MPa ile Kontrol numunelerinde olduğu belirlenmiştir. Hazırlanan kompozitlerin kırılma sonrası tabakalar arası morfolojik yapı Şekil 5’ de verilmiştir.



Şekil 4. Lamine kompozitlerin ortalama eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerleri

Yapılan deneyler sonucunda eğilme direncinde MFC ilaveli kompozitler, elastikiyet modülü ve basınç direncinde ise C ilaveli kompozitlerde diğerlerine göre daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca tabakalar arasında yapılan morfoloji analizi ile yüzeyde ve epoksi matriks içerisinde dolgu maddelerinin belirli bir düzende dağıldıkları faka bazı kısımlarda gruplaşmaları görüldüğü saptanmıştır.



Şekil 5. Lamine kompozitin lameller arası yüzeyin elektron mikroskop görüntüleri: (a, b): kontrol, (c, d): AC; (e, f): C, (g, h): MFC; (i, j) NFC

IV. SONUÇ

Çalışmamızda, lamine kayın üretimi için epoksi tutkalı ve dört farklı dolgu maddesi kullanılmıştır. Levhalar farklı dolgu maddesi tipine göre gruplandırılıp yoğunluk, su alma, kalınlığına şişme, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve basınç direnci değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 1’de yoğunluk değerleri incelendiğinde farklı dolgu maddelerinin epoksi’ye ilavesiyle hazırlanan kompozitlerin farklı rutubetlerdeki yoğunlukları farklı değerler aldığı belirlenmiştir. Su alma şişme değerlerine bakıldığında su alma değerlerinin en yüksek kontrol örneklerinde % 61 oranında olduğu hesaplanmıştır. En düşük su alma oranının ise C ilaveli kompozitlerde %44,7 olarak bulunmuştur. Kalınlığına şişme değerleri incelendiğinde en yüksek şişme genellikle dolgu maddesi ile hazırlanan kompozitlerde olduğu belirlenmiştir. En yüksek şişme oranı NCC içeren kompozitlerde %16,13 iken en düşük şişme oranı ise AC içeren numunelerde %11 olarak hesaplanmıştır. Su alma oranı az olmasına rağmen şişme oranı değerlerinin dolgu maddesi içeren kompozitlerde daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bu durumun kullanılan dolgu maddelerinin selüloz esaslı olması ve selülozun hidrofilik yani su seven yapısından kaynaklandığı söylenebilir. Ayrıca selülozun bir zincir şeklindeki yapısından dolayı suyun daha fazla içeriye nüfuz etmesini kolaylaştırmış olabileceği de söylenebilir. Bu sebeplerden dolayı da dolgu maddesi içeren kompozitler daha az su almasına karşın daha fazla kalınlık yönünde şişme meydana getirmiştir. Hazırlanan kompozitlerin mekanik özelliklerine bakıldığında Eğilme direnci değerleri kontrol için 32,7 MPa, MFC ilaveli kompozitlerde 118,5 MPa, NCC ilaveli kompozitlerde 90,8 MPa, AC ilaveli kompozitlerde 52,5 MPa ve C ilaveli kompozitlerde 87,2 MPa olarak bulunmuştur. Eğilmede elastikiyet modülü değerleri kontrol için 6842,5 MPa, MFC ilaveli kompozitlerde 8798,25 MPa, NCC ilaveli kompozitlerde 8659 MPa, AC ilaveli kompozitlerde 7026,50 MPa ve C ilaveli kompozitlerde 9385 MPa olarak hesaplanmıştır. Basınç direnci değerleri ise kontrol 60,8 MPa, MFC ilaveli kompozitlerde 64,2 MPa, NCC ilaveli kompozitlerde 66,3 MPa, AC ilaveli kompozitlerde 50,5 MPa, C ilaveli kompozitlerde 66,8 MPa olarak bulunmuştur. Yapılan deneyler sonucunda eğilme direncinde MFC ilaveli kompozitler, elastikiyet modülü ve basınç direncinde ise C ilaveli kompozitlerde diğerlerine göre daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca tabakalar arasında yapılan morfoloji analizi ile yüzeyde ve epoksi matriks içerisinde dolgu maddelerinin belirli bir düzende dağıldıkları faka bazı kısımlarda gruplaşmaları görüldüğü saptanmıştır. Buna karşın dolgu maddelerinin mekanik performansı artırdığı buna karşın şişme değerlerini yükselttiği belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışmanın Elektron Mikroskopu Analizi çalışmaları BAP-2013.1.91 nolu Bartın Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi tarafından desteklenmiştir.

V. KAYNAKLAR

- [1] L. Kozma, I. Olefjord *Material Science Technology* **3(11)** (1987) 954-962.
- [2] D. Aydemir *Drvna Industrija* **66(1)** (2015) 35-40.
- [3] E. M. Petrie, *Epoxy Adhesive Formulations*, McGraw Hill, (2006).
- [4] S. Auer, D. Frenkel *Nature* **413(6857)** (2001) 711-713.
- [5] L. L. Zhai, G. P. Ling, Y. W. Wang *International Journal of Adhesion & Adhesives* **28(1)** (2007) 23-28.
- [6] R. Masoodi, R. F. El-Hajjar, K.M. Pillai, V. Sabo *Materials and Design* **36** (2012) 570-576.
- [7] I. Siro, D. Plackett *Cellulose* **17(3)** (2010) 459-494.