

## The Effect of Gelcoat Usage and Fiber Lamination on Mechanical Properties in Parts Produced by Vacuum Infusion Method

Mustafa KELEŞ<sup>1,\*</sup>  Mustafa Can TOPBAŞOĞLU<sup>2</sup>  Kenan YILDIRIM<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>Bursa Technical University, Graduate School, Department of Polymer Materials Engineering, 16310, Yıldırım/BURSA

<sup>2</sup>Bursa Technical University, Graduate School, Department of Metallurgical and Materials Engineering, 16310, Yıldırım/BURSA

<sup>3</sup>Bursa Technical University, Graduate School, Department of Polymer Materials Engineering, 16310, Yıldırım/BURSA

### Graphical/Tabular Abstract

#### Article Info:

Research article  
Received: 30.11.2022  
Revision: 06.01.2023  
Accepted: 09.02.2023

#### Highlights

- Mechanical Properties of Composite Materials

#### Keywords

Gelcoat  
Lamination  
Composite Materials  
Vacuum Infusion Method  
Mechanical Properties

**Purpose:** In this study, the effect of the gelcoat on the surface layer of the composite structures produced by vacuum infusion method on the mechanical properties and the effects of the lamination plan on the final product were investigated.

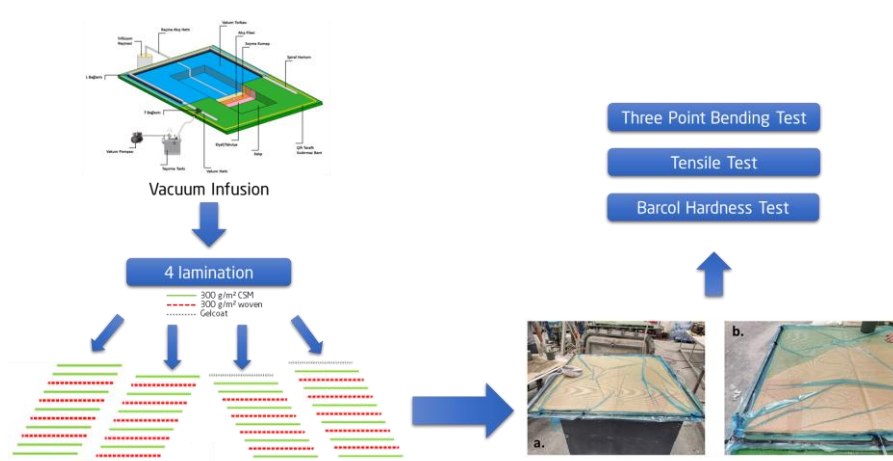


Figure A. Sample production and testing plans

**Theory and Methods:** Two different lamination plans were determined and gelcoat and non-gelcoat plates of these two different laminations were produced. In laminations, 300 gr/m<sup>2</sup> discontinuous mat and 300 gr/m<sup>2</sup> plain woven glass fiber reinforcements were used. Within the scope of the study, tensile, three-point bending and barcol hardness tests were carried out to investigate the mechanical properties.

**Results:** According to the test results, with the increase in the plain woven ratio in the structure, the bending strength is between 11.2-18.7%; an increase of 11.7-16.6% was observed in the tensile strength. It has been determined that the use of gelcoat has a great effect on the mechanical properties. With the use of gelcoat, a decrease of up to 24.3% was observed in the flexural strength; A decrease of up to 17.8% was observed in tensile strength. Up to 5% higher barcol hardness values were obtained in laminations where the plain woven glass fiber layer is closer to the surface.

**Conclusion:** It has been determined that the flexural and tensile strengths increase with an increase in the number of layers of plain-woven glass fiber. However, it has been observed that applying gelcoat results in a decrease in both flexural and tensile strengths. To examine the barcol hardness of the plates, non-gelcoat surfaces were evaluated. The laminations with the plain-woven glass fiber layer closer to the surface had higher barcol hardness values.



## The Effect of Gelcoat Usage and Fiber Lamination on Mechanical Properties in Parts Produced by Vacuum Infusion Method

Mustafa KELEŞ<sup>1,\*</sup> Mustafa Can TOPBAŞOĞLU<sup>2</sup> Kenan YILDIRIM<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Bursa Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Fakültesi, Polimer Malzeme Mühendisliği ABD, 16310, Yıldırım/BURSA

<sup>2</sup>Bursa Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği ABD, 16310, Yıldırım/BURSA

<sup>3</sup>Bursa Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Fakültesi, Polimer Malzeme Mühendisliği ABD, 16310, Yıldırım/BURSA

### Abstract

In this study, the effect of the gelcoat on the surface layer of the composite structures produced by vacuum infusion method on the mechanical properties and the effects of the lamination plan on the final product were investigated. Two different lamination plans were determined and gelcoat and non-gelcoat plates of these two different laminations were produced. In laminations, 300 gr/m<sup>2</sup> discontinuous mat and 300 gr/m<sup>2</sup> plain woven glass fiber reinforcements were used. Within the scope of the study, tensile, three-point bending and barcol hardness tests were carried out to investigate the mechanical properties. According to the test results, with the increase in the plain woven ratio in the structure, the bending strength is between 11.2-18.7%; an increase of 11.7-16.6% was observed in the tensile strength. It has been determined that the use of gelcoat has a great effect on the mechanical properties. With the use of gelcoat, a decrease of up to 24.3% was observed in the flexural strength; A decrease of up to 17.8% was observed in tensile strength. Up to 5% higher barcol hardness values were obtained in laminations where the plain woven glass fiber layer is closer to the surface.

### Makale Bilgisi

Araştırma makalesi  
Başvuru: 30.11.2022  
Düzeltilme: 06.01.2023  
Kabul: 09.02.2023

### Keywords

Gelcoat  
Lamination  
Composite Materials  
Vacuum Infusion Method  
Mechanical Properties

### Anahtar Kelimeler

Jelkot  
Laminasyon  
Kompozit Malzemeler  
Vakum İnfüzyon Yöntemi  
Mekanik Özellikler

### Vakum İnfüzyon Yöntemi ile Üretilen Parçalarda Jelkot Kullanımı ve Elyaf Laminasyonunun Mekanik Özelliklere Etkisi

#### Öz

Bu çalışmada vakum infüzyon yöntemi ile üretilen kompozit yapılarda yüzey katmanında kullanılan jelkotun mekanik özelliklere etkisi ve laminasyon planının nihai ürün üzerindeki etkileri araştırılmıştır. İki farklı laminasyon planı belirlenmiş ve bu iki farklı laminasyonun jelkotlu ve jelkotsuz plakaları üretilmiştir. Laminasyonlarda 300 gr/m<sup>2</sup> keçe ve 300 gr/m<sup>2</sup> bezayağı dokuma cam elyaf takviyeler kullanılmıştır. Çalışma kapsamında mekanik özellikleri araştırmak için çekme, üç nokta eğme ve barcol sertlik testleri yapılmıştır. Test sonuçlarına göre yapıda bez ayağı dokuma oranı artmasıyla birlikte eğme mukavemetinde %11,2-18,7 arasında; çekme mukavemetinde ise %11,7-16,6 arasında artış gözlemlenmiştir. Jelkot kullanımının mekanik özelliklere etkisinin büyük olduğu tespit edilmiştir. Jelkot kullanımı ile birlikte eğme mukavemetinde %24,3'e kadar düşüş gözlemlenirken; çekme mukavemetinde %17,8'e kadar düşüş gözlemlenmiştir. Bezayağı dokuma cam elyaf katmanının yüzeye daha yakın olduğu laminasyonlarda %5'e kadar daha yüksek barcol sertlik değerleri elde edilmiştir.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Hızla gelişen teknoloji ve mühendislik uygulamalarında ve günlük hayatta artan rekabet, yüksek performanslı, düşük yoğunluklu, hafif, korozyona dayanıklı ve yüksek mukavemetli ürünlerin tasarımını zorunlu kılmaktadır. Kompozitler, savunma sanayi, havacılık sanayi, uzay teknolojileri, otomotiv sanayi gibi birçok alanda mevcut malzemelere alternatif olarak araştırılan bu yenilikçi ürünlerden biridir. Kompozit malzemeler, mukavemet/yoğunluk gibi parametreler açısından metal malzemelere göre büyük avantajlara sahiptir. Olağanüstü fiziksel, termal ve mekanik özelliklerin istendiği, özellikle ağırlık tasarrufunun kritik olduğu durumlarda, kompozitler geleneksel malzemelerin yerine tercih edilir [1].

Günümüzde kompozit malzemeler, havacılık endüstrilerinden günlük ev eşyalarına kadar çok geniş bir alanda sıklıkla kullanılmaktadır. Bu kullanımların sıklığı, fiber takviyeli polimer kompozitler üzerinde yapılan çalışmaların artmasına neden olmuştur [2-4].

Küresel kompozit endüstrisi şu anda yaklaşık %90 oranında cam elyafına dayalıdır ve yaklaşık 88 milyar dolar değerindedir. Kompozit sektörü küresel pazarda %1,5'lik bir paya sahip olsa da nihai hedef diğer malzemelerin yerine kompozitlerin kullanılmasıyla bu oranın artırılmasıdır [5]. Günümüzde 88 milyar dolar olan bu değer %7,5 büyüme oranıyla 2026 yılında 126,3 milyar dolara çıkması beklenmektedir[6].

Kompozitlerdeki mekanik performans, büyük ölçüde takviye malzemelerine, matris özelliklerine ve bunların etkileşimine bağlıdır [7]. Matrisin görevi fiberleri düzenli bir şekilde birleştirmek ve onları çevreden korumaktır. Yüklerin fiberlere aktarımına ek olarak, termal ve oksidatif kararlılık, maksimum çalışma sıcaklığı, sıvılara karşı direnç ve nem, matrisin özelliklerinden belirlenir. Gelişmiş kompozitler için polimerik matrisler; termoplastikler ve termosetler olarak kategorize edilir [8]. Termoset reçinelerin kompozit malzemeler için en yaygın matris sistemi olduğu düşünüldüğünde, düşük erime viskozitesine, iyi fiber emdirme ve çok düşük işleme sıcaklıklarına sahiptirler [9]. Takviyeler, esas olarak; kompozit malzemelerde dayanım ve rijitlik sağlamada temel rolü üstlenenlerdir. Bugün piyasada genellikle fiber formunda çok çeşitli takviyeler mevcuttur. Yükün matris yoluyla fiberlere çok verimli bir şekilde aktarılmasını sağlayan ve fiberleri çok etkili ve çekici bir takviye malzemesi yapan fiberlerin yüksek bir en boy oranıdır (uzunluk/çap) [10]. Genel olarak fiber takviyeli kompozitler, yüksek mekanik özelliklere ihtiyaç duyulması nedeniyle otomotiv uygulamaları, havacılık endüstrisi vb. alanlarda tercih edilmektedir [7].

Genel veya ticari amaçlı E-cam fiberleri, günümüz pazarının çoğunluğunu kapsayan takviye fiberleridir [11]. E-camın yoğunluğu nispeten düşük olmakla birlikte mukavemeti oldukça yüksektir; bunlara rağmen Young modülü çok yüksek değildir. Bu nedenle, cam elyafların spesifik mukavemeti oldukça yüksek olmasına rağmen, modül ağırlık oranı aynı seviyede değildir. Fiber yapılarında yüzey alanı normal malzeme yapılarına göre çok daha yüksektir, bunun sonucunda yüzey alanı başına düşen hata miktarı azalır ve bu durum mukavemeti arttıran bir unsur olarak karşımıza çıkar [7].

Lee H. ve ark. aramid kumaş takviyeli poliestere reçineli kompozit malzemelerle yaptığı denemeleri içeren çalışma ile lamine kompozit yapılarda farklı istifleme sırası ve farklı yönlenmedeki ilave bir elyaf katmanının eklenmesi ile kompozit malzemesinin mekanik özelliklerini değişimi incelemiştir. [12].

Raif Sakin cam elyaf takviyeli poliestere reçineli kompozit malzemeler ile yaptığı çalışmada katman sayısı optimizasyonunun, mekanik özellikler açısından büyük öneme sahip olduğunu göstermiştir. Optimum laminasyon sayısı ve yönlenmesini çekme ve üç nokta eğme testleri ile çalışma sonucunda ortaya çıkarmıştır [13].

Gökhan D. ve ark. çeşitli yüklere maruz kalan, farklı elyaf oryantasyonlarına sahip cam takviyeli polimer kompozit malzemenin eğilme davranışlarını incelemiştir. Sonuç olarak da üç nokta eğilme testi ile eğilme gerilmesine en fazla etki yapan elyaf oryantasyonunu belirlemiştir [14].

Rukiye ERTAN ve ark. karbonfiber takviyeli epoksi matrisli farklı yüzey katman sayısına sahip sandviç yapıları kompozit malzemelerinin eğilme davranışlarını araştırmıştır. Üç nokta eğilme testi yaparak eğilmeye karşı direncin katman sayısındaki artışla doğru orantılı olarak arttığını belirlemiştir [15].

Mustafa Ç. ve Boran B. elyaf/reçine oranındaki artış ile E-Cam elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit malzemelerin mekanik özelliklerindeki değişimleri araştırmıştır. Bu araştırmanın sonucunda çekme, darbe ve üç nokta eğme testleri yapılarak farklı elyaf dizimleri kaynaklı elyaf/reçine oranının yükselmesi ile birlikte kompozit yapının çekme uzama, maksimum gerilme, darbe dayanımı ve elastik modül özelliklerinin arttığı gözlemlenmiştir [16].

Raif S. Reçine iki yönlü cam-dokuma takviyeli poliestere matrisli kompozit yapılarda cam-keçe kullanımının mekanik özellikler üzerine tesiri incelenmiştir. Çalışmalar neticesinde çekme ve üç nokta eğme testleri yapılarak pek çok sektörde kullanım yeri bulan büyük boyutlu tabakalı kompozit levhalarda dokuma cam elyafların arasına keçe cam elyaf takviyesinin mekanik anizotropi üzerinde olumlu etkisi olduğu belirlenmiştir. Ayrıca maliyet açısından da çalışmalar yapılmış ve optimum kompozit levha maliyeti için çıkarımlar yapılmıştır [17].

Muhammet Raci A. ve ark. cam ve karbon hibrit takviyeli epoksi matrisli kompozit yapılarda elyaf laminasyon sıralamasının mekanik ve dinamik özelliklere etkisi araştırmıştır. Üç nokta eğme, çekme ve titreşim testleri yapılarak numunelerin maksimum eğilme dayanımları, elastisite modülleri ve doğal frekans ve sönüm oranı değerleri tespit edilmiştir. Sonuçlardan elde edilen veriler ile interply hibrit kompozit yapılarda laminasyon sırasının maksimum eğilme dayanımı, elastisite modülü ve titreşim özelliklerine etkisi belirlenmiştir [18].

I. Infanta May P. ve Ramalingam S. kıvrımsız cam elyaf takviyeli polimer kompozitin nihai gerilme mukavemetini araştırmıştır. Farklı fiber ortantasyonları ve laminasyon planları ile üretilen plakalar için çekme ve basma testleri yapılarak mekanik özellikleri karşılaştırmıştır. Farklı oryantasyonlara sahip fiberlerin birbirleri ile kıyaslanarak daha fazla mukavemet sağlayan laminasyonlar belirlenmiştir [19].

KC Nagaraja ve ark. bu çalışmada, E-Cam ve karbon fiberin epoksi matrisle takviye edilmesiyle yapılan hibrit kompozitlerde karbon tabakasının farklı bir istifleme dizisinin çeşitli mekanik özellikler üzerindeki etkisini incelemiştir. Çekme ve üç nokta eğme testleri yapılarak farklı istifleme sıralamalarının karşılaştırılması yapılmış ve laminatlar birbiri ile karşılaştırıldığında daha iyi bükülme özellikleri veren laminasyon belirlenmiştir [20].

Daekyun O. Ve ark. bu çalışmada dokuma ve keçe cam elyafı takviye kombinasyonlarının cam elyaf takviyeli polimer kompozit yapılarının mekanik değerlerine ve kalitesine etkilerini araştırmıştır. Farklı laminasyon planları ile üretilen plakalara çekme ve üç nokta eğme testleri yapılarak mukavemeti en fazla arttıran laminasyon tespit edilmiştir [21].

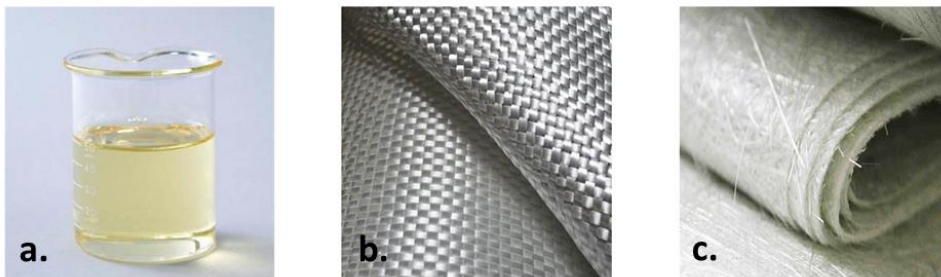
M.Y. Yuhazri ve ark. jelkot kalınlığının dokuma cam elyaf takviyeli poliester matrisli lamine kompozitin mekanik özellikleri ve arayüzey bağlantısı üzerindeki etkileri üç nokta eğilme testi ve çekme testi kullanılarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda jelkot kalınlığı arttıkça kompozitin mekanik özelliklerinin iyileştiğini ve jelkotlu kompozitlerin gerilme mukavemetinde jelkotsuz kompozitlere göre %38 oranında artış gözlemlendiğini bildirmişlerdir [22].

Bu çalışmada, farklı laminasyonlarda cam elyafı takviyeli polyester reçine matrisli kompozit yapılarda jelkot uygulamasının söz konusu yapıların mekanik özelliklerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu maksatla, iki farklı kumaş tipinde cam elyafı, matris malzemesi olarak tercih edilen polyester reçine vakum infüzyon kalıplama yöntemiyle farklı dizilimlerde birleştirilerek oluşturulan kompozit yapılara jelkot uygulamasının kompozit yapının mekanik özelliklerine etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

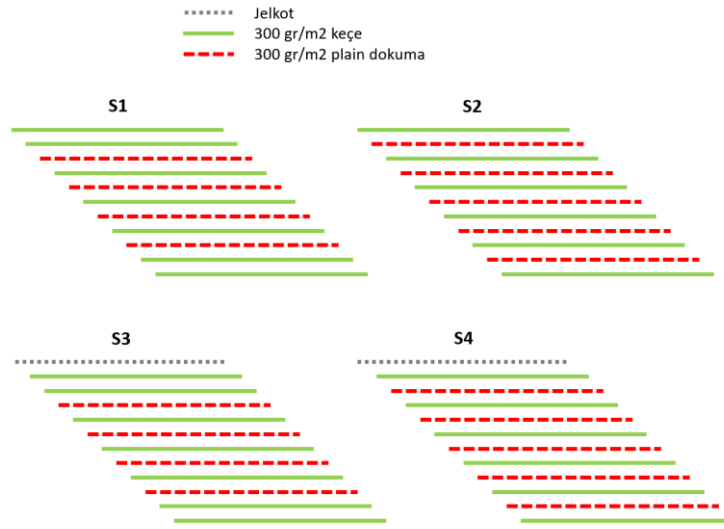
## 2. MATERYAL VE METOTLAR (MATERIALS AND METHODS)

### 2.1. Materyal

Bu çalışmada takviye malzemesi olarak bezayağı dokuma cam elyafı (300 gr/m<sup>2</sup>) ve cam elyaf keçe (300 gr/m<sup>2</sup>) kullanılmıştır (Şekil 1). Termoset matris malzemeleri olarak Nuvocryl 60-60G ve Nuvopol 37-05 jelkot seçilmiştir. Tablo 1’de kullanılan reçine ve jelkot için yapılmış olan ham madde testlerine ait sonuçlar verilmiştir. Plaka üretimi vakum infüzyon yöntemi ile Tablo 2’de yer alan plana göre yapılmıştır. Laminasyona ait şematik plan Şekil 2’de gösterilmiştir. Üst üste sıralanan takviye kumaşları 400 mbar basınçta vakumlanmıştır. Polyester reçinenin tüm takviye kumaşlarına emdirilmesi, vakum basıncı ile gerçekleştirilmiştir. Sistem vakum etkisi altında 60 °C’de 4 saat kütleme işlemine tabi tutulmuştur. Sonrasında vakum infüzyon yöntemi ile üretilen plakalar kalıptan çıkarılmıştır.



Şekil 1. a) Polyester reçine, b) 300 gr/m<sup>2</sup> bezayağı dokuma cam elyaf, c) 300 gr/m<sup>2</sup> keçe camelyaf



Şekil 2. Laminasyon planı şematik gösterim

Tablo 1. Kullanılan reçine ve jelkotun ham değerleri

	Viskozite (mPa.s)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Sertlik (Barcol)	Jelleşme Süresi (Dakika)
NUVOPOL FR 60-60 G	383	1,26	39	23
NUVOPOL Gelcoat 37-05	3658	1,42	40	30

Tablo 2. Laminasyon Planı

Numune	Reçine	Jelkot	Elyaf Tipi	Vakum Basıncı (mbar)	Kür Sıcaklık(°C)/ Süreleri(s)
S1	Nuvocryl FR60-60G	-	7 kat 300 gr/m <sup>2</sup> keçe 4 kat 300 gr/m <sup>2</sup> bezayağı dokuma	400 mbar	60 °C / 4 saat
S2	Nuvocryl FR60-60G	-	6 kat 300 gr/m <sup>2</sup> keçe 5 kat 300 gr/m <sup>2</sup> bezayağı dokuma	400 mbar	60 °C / 4 saat
S3	Nuvocryl FR60-60G	Nuvopol 37-05	7 kat 300 gr/m <sup>2</sup> keçe 4 kat 300 gr/m <sup>2</sup> bezayağı dokuma	400 mbar	60 °C / 4 saat
S4	Nuvocryl FR60-60G	Nuvopol 37-05	6 kat 300 gr/m <sup>2</sup> keçe 5 kat 300 gr/m <sup>2</sup> bezayağı dokuma	400 mbar	60 °C / 4 saat

## 2.2. Metod

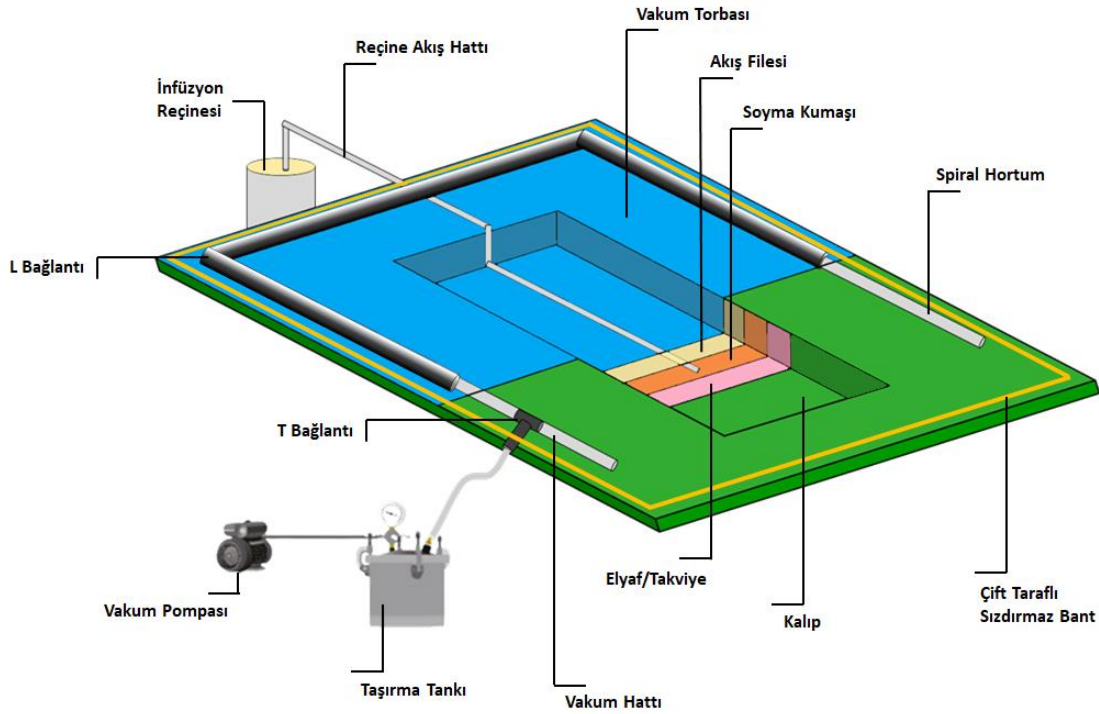
### 2.2.1 Kompozit Üretim Yöntemi

Parçalar vakum infüzyon kalıplama yöntemiyle ile üretilmiş olup üretim yöntemine ait şema Şekil 3'te verilmiştir. Vakum infüzyon, özellikle otomotiv ve deniz endüstrilerinde büyük kompozit parçalar üretmek için kullanılan Sıvı Kompozit Kalıplama (LCM) proseslerinden biridir. Kalıp yüzeyi aseton ve tiner gibi

maddelerle temizlenir. Yüzeye bir kat kalıp ayırıcı malzeme uygulanmıştır (gerekirse yaklaşık on beş dakika sonra ikinci bir kat uygulanabilir). Jelkot uygulaması yapılmış (proses planına göre fırça ya da spreyleme yöntemiyle) ve kürlenmesi beklenmiştir. Jelkotun jelleşme süresi Tablo 1’de gösterilmiştir.

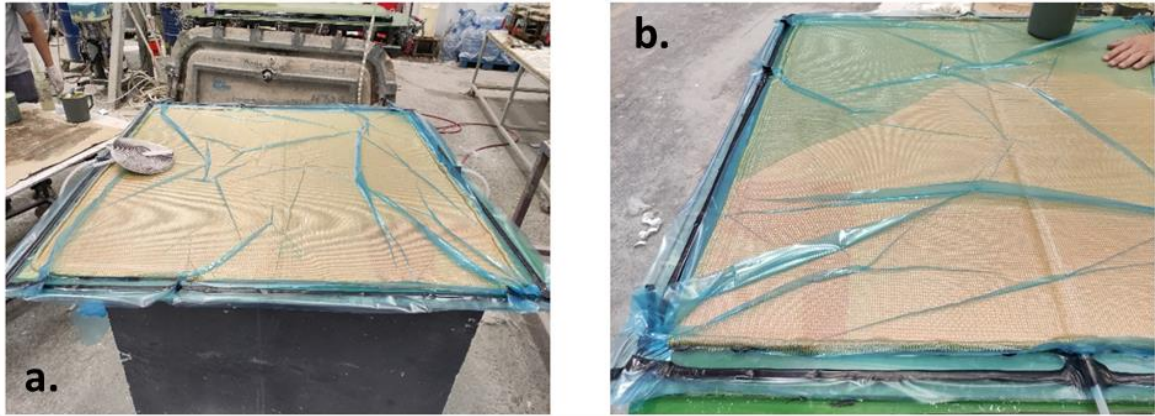
Jelkot fiber takviyeli plastik kompozitlerin yüzey katmanında yer alır. Fiberlerin yüzeyden gözükmesini engeller, yüzey kalitesini artırarak estetik bir görünüm sağlar. Bunun yanı sıra kompozit malzemeye kimyasal direnç, UV direnci ve hidroliz direnci gibi dış ortam performansı sağlar [23].

Jelkotun kalıp üzerinde kürlenmesi gerçekleştiikten sonra cam fiberlerden yapılmış bir takviye edici kumaş kalıp yüzeyi üzerine serilmiştir. Elyaf laminasyonu üzerine bir soyma kumaşı, akış filesi ve vakum torbası yerleştirilmiştir. Kalıp yüzeyi ile vakum torbası arasına kalıbın dört bir kenarını çevreleyecek şekilde çift taraflı bant yapıştırılmış ve vakum torbası kalıbın etrafına hava sızıntısı olmayacak şekilde bu bant ile sabitlenerek yerleştirilmiştir. Vakum pompası, hava sızıntılarını test etmek için çalıştırılmış, eş zamanlı olarak hesaplanan miktarda reçine hazırlanarak reçine emiş hortumu reçine haznesine bağlanmıştır. Vakum basıncı 400 mbar seviyesine ayarlanır tüm takviye yüzeyi reçine ile ıslanana kadar infüzyona devam edilmiştir. Tamamlanmış elyaf laminasyonuna ait vakum testi Şekil 4.a ve reçinenin laminasyon içerisinde akışı Şekil 4.b’de gösterilmiştir. İşlem sonunda tüm giriş çıkış valfleri kapatılmış ve vakum uygulaması durdurulmuştur. Sonrasında parça kalıp ile beraber fırına alınmış, 60 °C’de 4 saat boyunca kürlenmiştir. Kürlenme prosesi ile parçada mukavemet ve rijitlik sağlandıktan sonra parça kalıptan çıkartılmıştır.



Şekil 3. Vakum infüzyon yöntemi şematik gösterimi

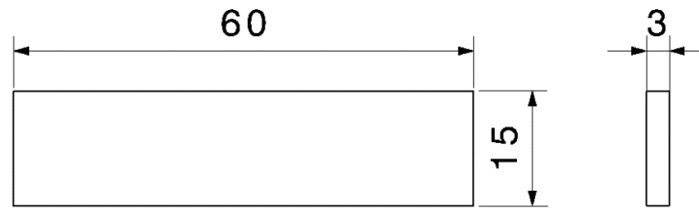
Proses sırasında vakum uygulamasının iki sebebi vardır. Birincisi elyaf laminasyonunu sıkıştırmak ve ikincisi fiberler arasındaki boş alanları doldurmak üzere termoset reçineyi haznedeki kalıp boşluğuna çekmek. Reçine sistemi, tam kalıp doldurmayı sağlamak üzere jelleşme süresi kalıp doldurma süresinden biraz daha uzun olacak şekilde tasarlanmıştır. Üretim tasarımı (akış filesi ve reçine dağıtım borularının boyutları ve konumları, reçine girişleri ve çıkışlarının doğru yerleştirilmesi), tam kalıp doldurma elde etmek ve böylece parçadaki mikro ve makro düzeydeki boşlukları (ıslanmamış bölgeler) ortadan kaldırmak için kritik öneme sahiptir. Akış filesi, kullanılan laminasyondan daha yüksek gözenekliliğe ve geçirgenliğe sahip olmalıdır. Reçine esas olarak bu ortamdan önce düzlem içi yönlerde akar ve daha sonra bitişik laminasyonda yavaş bir şekilde emilir. Dağıtım ortamı, tek kullanımlık veya gömülü olabilir. Tek kullanımlık dağıtım ortamı, soyma kumaşı ile vakum torbası arasına yerleştirilir; gömülü akış filesi ise kumaş katmanları arasına sıkıştırılır ve böylece bitmiş ürünün bir parçası olur [24]. Gömülü akış filesi, parçanın enine kesitinin kalınlığını ve atalet momentini artırır, ancak fiber hacim oranını ve mekanik mukavemeti azaltır.



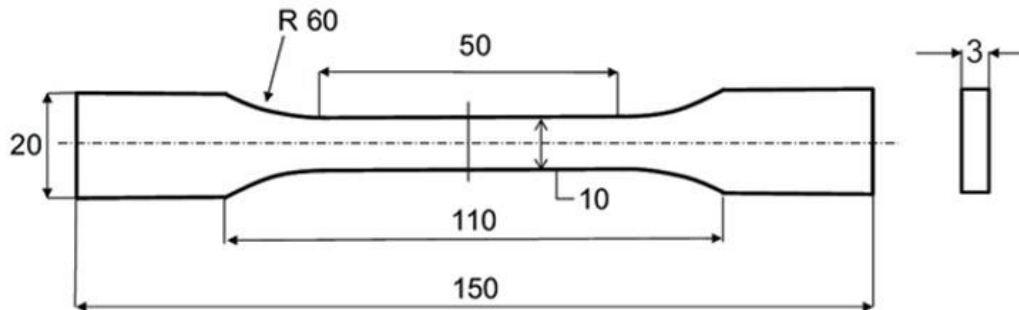
Şekil 4. a) Tamamlanmış elyaf laminasyonu, b) Reçinenin elyaf laminasyonu içerisinde ilerlemesi

### 2.2.2 Testler

Her farklı laminasyon için 10 adet olmak üzere toplam 40 numune hazırlanmıştır. Numuneler ATLAS LH-EMK 20 kN model mekanik test cihazında ISO 14125 standardında Şekil 5'te gösterilen numune geometrilerine uygun üç nokta eğme testine ve ISO 527-4 standardında Şekil 6'da gösterilen numune geometrilerine uygun şekilde çekme testine tabi tutulmuştur. Çekme ve eğme testi 2 mm/dk hızında yapılmış ve parçalar kırılıncaya kadar kuvvet uygulanmıştır. Bu testlerin sonucunda, farklı fiber laminasyonlarına sahip cam fiber/polyester kompozitlerin Maksimum Eğilme Gerilmesi, Maksimum Sapma ve Elastisite Modülü elde edilmiştir. Ayrıca ASTM D2584 standardına uygun şekilde BARBER COLMAN GYZJ 934-1 model sertlik cihazıyla Barcol Sertlik Testi yapılmıştır.



Şekil 5. Üç nokta eğme test numunesi ölçüleri



Şekil 6. Çekme test numunesi ölçüleri

#### 4. SONUÇ (CONCLUSION)

##### 3.1. Çekme Test Sonuçları

Çekme testleri ISO 527-4 standardına uygun şekilde yapılmış olup test sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.

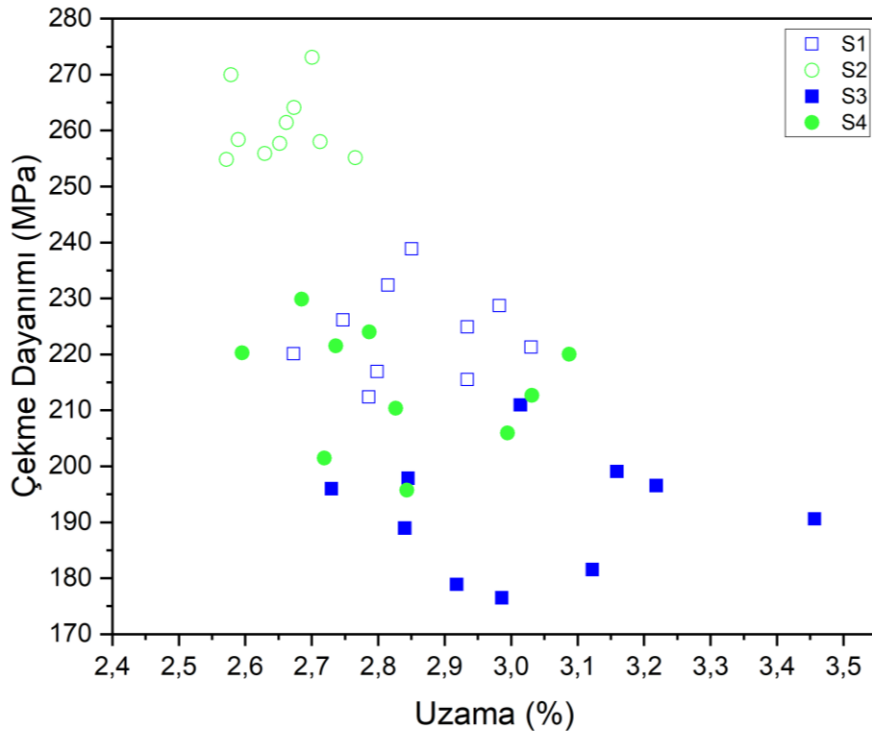
**Tablo 3.** Çekme test sonuçları

Numune Genişlik (mm)	Kalınlık (mm)	Çekme Dayanımı (MPa)	Minimum (MPa)	Maksimum (MPa)	
S1	10,03 (0,037)	2,78 (0,043)	223,73 (7,727)	212,407	238,876
S2	10,03 (0,029)	2,82 (0,033)	260,84 (6,006)	254,811	273,047
S3	10,03 (0,034)	3,59 (0,080)	191,70 (10,063)	176,511	210,985
S4	10,02 (0,039)	3,72 (0,032)	214,18 (10,260)	195,763	229,855

\*Sonuçlar numune test sonuçlarının ortalamasına göre verilmiştir. Parantez içerisinde yer alan değerler standart sapma değerleridir.

Laminasyonda katman sayısı sabit tutularak keçe kumaş azaltılıp, bezayağı dokuma cam elyaf katman sayısının artırılması ile çekme mukavemet değerleri artmıştır.

Jelkot kullanımı ile parçaların mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemiştir. Aynı laminasyona sahip jelkotlu S3 ve jelkotsuz S1 kıyaslandığında ve S1-S3'den farklı olmak üzere aynı laminasyona sahip jelkotlu S4 ve jelkotsuz S2 kıyaslandığında jelkotsuz numunelerin çekme mukavemetlerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Çekme dayanımı - yüzde uzama grafiği Şekil 7'de verilmiştir.



**Şekil 7.** Çekme dayanımı - Yüzde uzama grafiği



### 3.2. Eğme Test Sonuçları

Eğme Testleri ISO 14125 standardına uygun şekilde yapılmış olup test sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

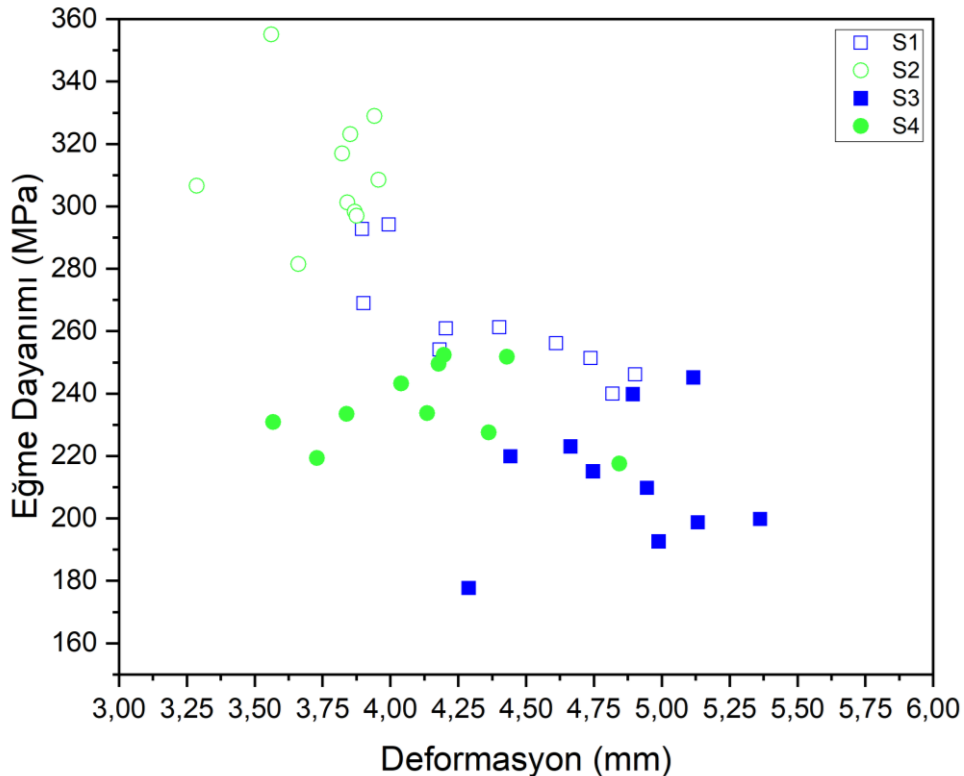
**Tablo 4.** Eğme test sonuçları

Numune	Genişlik (mm)	Kalınlık (mm)	Eğme Dayanımı (MPa)	Minimum (MPa)	Maksimum (MPa)
S1	15,05 (0,033)	2,77 (0,048)	262,58 (17,248)	240,014	294,215
S2	15,03 (0,033)	2,72 (0,055)	311,72 (19,464)	281,556	355,079
S3	15,07 (0,035)	3,66 (0,083)	212,16 (19,878)	177,678	245,177
S4	15,06 (0,032)	3,70 (0,043)	235,93 (12,175)	217,514	252,398

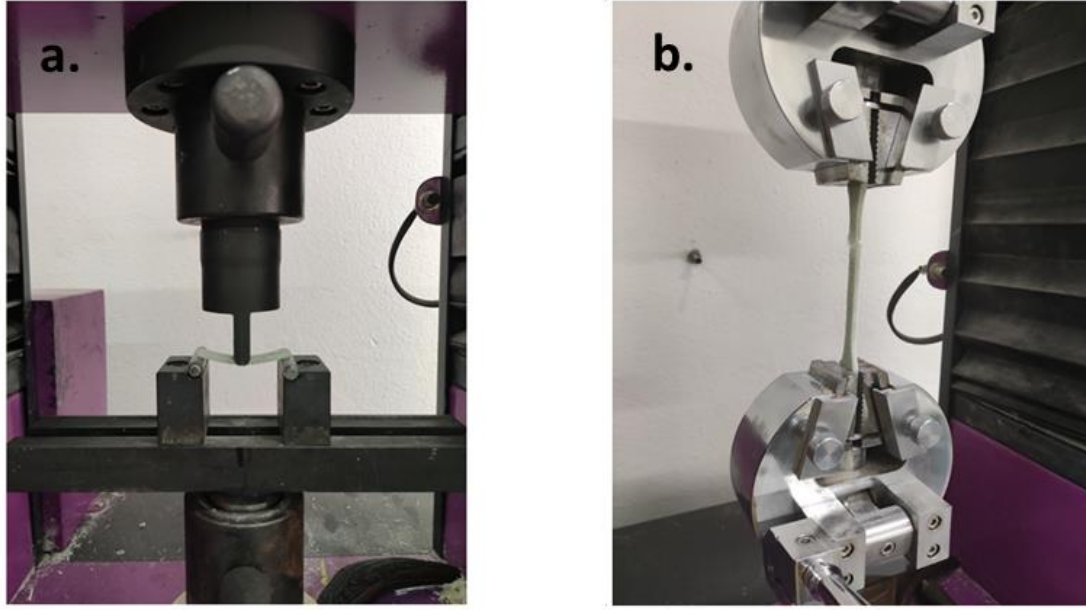
\*Sonuçlar numune test sonuçlarının ortalamasına göre verilmiştir. Parantez içerisinde yer alan değerler standart sapma değerleridir.

Laminasyonda katman sayısı sabit tutularak keçe kumaş azaltılıp, bezayağı dokuma cam elyaf katman sayısının artırılması ile eğme mukavemet değerleri artmıştır.

Jelkot kullanımı ile parçaların mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemiştir. Eğme dayanımı - deformasyon grafiği Şekil 8'de verilmiştir. Aynı laminasyona sahip jelkotlu S3 ve jelkotsuz S1 kıyaslandığında ve S1-S3'den farklı olmak üzere aynı laminasyona sahip jelkotlu S4 ve jelkotsuz S2 kıyaslandığında jelkotsuz numunelerin eğme mukavemetlerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Üç nokta eğme ve çekme testi uygulaması Şekil 9'da gösterilmiştir.



**Şekil 8.** Eğme dayanımı - Deformasyon grafiği



**Şekil 9. a) Üç nokta eğme testi uygulaması b) Çekme testi uygulaması**

### 3.3. Barcol Sertlik Test Sonuçları

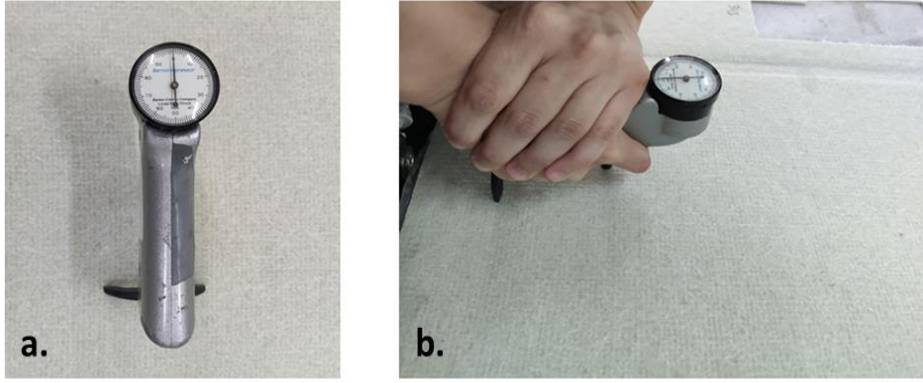
Her numune için ASTM D2584 standardına uygun şekilde Barcol sertlik ölçümü yapılmış olup sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir. Barcol sertlik testi uygulaması Şekil 10'da gösterilmiştir.

**Tablo 5. Barcol sertlik test sonuçları**

<i>Numune</i>	<i>Barcol Sertlik (Barcol)</i>	<i>Minimum (Barcol)</i>	<i>Maksimum (Barcol)</i>
<i>S1</i>	59,8	57	63
<i>S2</i>	63	59	65
<i>S3</i>	58,4	55	61
<i>S4</i>	63,8	62	68

*\*Sonuçlar numune test sonuçlarının ortalamasına göre verilmiştir.*

Barcol sertlik testi sonuçlarına göre numuneler arasında birbirine yakın sertlik değerleri ölçülmüştür. Sertlik ölçümleri tüm plakalarda jelkotsuz yüzeyden yapılmış olup S1-S3 ve S2-S4 numuneleri aynı laminasyona sahiptir. Bezayağı dokuma cam elyaf katmanının yüzeye daha yakın olduğu S2-S4 numunelerinde ölçülen sertlik değerleri için ortalamalar alınınca bir artış söz konusudur.



**Şekil 10. a) BARBER COLMAN GYZJ 934-1 sertlik cihazı b) Barcol sertlik testi uygulaması**

### 3.4. Tartışma

Bu çalışmada vakum infüzyon yöntemi ile üretilen kompozit yapılarda yüzey katmanında kullanılan jelkotun mekanik özelliklere etkisi ve laminasyon planının nihai ürün üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Mekanik özellikleri araştırmak için çekme, üç nokta eğme ve barcol sertlik testleri yapılmıştır.

Laminasyon planlarının farklı olması sebebiyle eğme ve çekme mukavemetlerinde anlamlı bir fark oluşmuştur. Bezayağı dokuma cam elyaf katman sayısının artışı ile eğme ve çekme mukavemetlerinde artış belirlenmiştir. Jelkotsuz S1 ve S2 numuneleri kıyaslandığında; S2 numunesinin S1 numunesine göre daha fazla bezayağı dokuma kumaş içermesi sebebiyle eğme mukavemetinde %18,7'lik; çekme mukavemetinde ise %16,6'lık bir artış gözlemlenmiştir. Jelkotlu S3 ve S4 numuneleri kıyaslandığında; S4 numunesinin S3 numunesine göre daha fazla dokuma kumaş içermesi sebebiyle eğme mukavemetinde %11,2'lik; çekme mukavemetinde ise %11,7'lik bir artış gözlemlenmiştir.

Aynı laminasyon planına sahip numuneler için jelkotlu ve jelkotsuz tiplerinin eğme ve çekme mukavemetleri incelenmiştir. Jelkot uygulamasının hem eğme hem de çekme mukavemetlerinde düşüşe sebebiyet verdiği gözlemlenmiştir. Aynı laminasyona sahip S1 ve S3 numuneleri kıyaslandığında; jelkotlu S3 numunesinin üzerinde jelkot bulunmayan S1 numunesi göre eğme mukavemetinde %19,2'lik; çekme mukavemetinde ise %14,3'lük bir düşüş gözlemlenmiştir. Aynı laminasyona sahip S2 ve S4 numuneleri kıyaslandığında; jelkotlu S4 numunesinin üzerinde jelkot bulunmayan S2 numunesi göre eğme mukavemetinde %24,3'lük; çekme mukavemetinde ise %17,9'lük bir düşüş gözlemlenmiştir.

Jelkotun mukavemete etkisi ile ilgili literatürde çok fazla bilgi yer almamaktadır. M.Y. Yuhazri ve ark. jelkot kalınlığının dokuma cam/polyester lamine kompozitin mekanik özellikleri ve arayüzey bağlantısı üzerindeki etkileri üç nokta eğilme testi ve çekme testi kullanılarak incelenmiştir ve jelkotun mukavemeti artırıcı etki gösterdiğini bildirmişlerdir [23]. Fakat yapmış olduğumuz çalışmada jelkotun mukavemeti olumsuz yönde etkilediği ve büyük bir etkisinin olduğu görülmüştür. Bu etkinin uygulanan jelkotun 1 mm olduğu ve jelkotun kalınlığı artırırken hiçbir takviye barındırmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Plakaların jelkotsuz yüzeylerinden barcol sertlikleri incelenmiştir. Bezayağı dokuma cam elyaf katmanının yüzeye daha yakın olduğu S2 ve S4 laminasyonlarında S1 ve S2 laminasyonlarına göre daha yüksek barcol sertlik değerleri elde edilmiştir. En dış katmanlarında iki kat keçe cam elyaf bulunan S1-S3 ve en dış katmanlarında tek kat keçe cam elyaf bulunan S2-S4 laminasyonları kıyaslandığında barcol sertlik değerlerinde %5 oranında artış gözlemlenmiştir.

### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışmada kullanılan ham maddeler Sazcılar Otomotiv tarafından temin edilmiştir ve çalışma Sazcılar Otomotiv bünyesinde gerçekleştirilmiştir. Katkılarından dolayı Sazcılar Otomotiv'e teşekkürlerimizi sunarız.

**KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- [1] Tong, L., Mouritz, A., & Bannister, M.K. (2002). 3D Fibre Reinforced Polymer Composites.
- [2] Bakis, C.E., Bank, L.C., Brown, V.L., Cosenza, E., Davalos, J.F., Lesko, J.J., Machida, A., Rizkalla, S.H., & Triantafillou, T.C. (2002). Fiber-Reinforced Polymer Composites for Construction—State-of-the-Art Review. *Journal of Composites for Construction*, 6, 73-87.
- [3] Saheb, D. N., & Jog, J. P. 1999. Natural fiber polymer composites: a review. *Advances in Polymer Technology: Journal of the Polymer Processing Institute*, 18(4), 351-363
- [4] Zheng, Y., Wang, W., Mosalam, K.M., & Zhong-feng, Z. (2018). Mechanical behavior of ultra-high toughness cementitious composite strengthened with Fiber Reinforced Polymer grid. *Composite Structures*, 184, 1-10.
- [5] Wilson, A. (2017). Vehicle weight is the key driver for automotive composites. *Reinforced Plastics*, 61, 100-102.
- [6] Markets and Market, (2021), Composites Market by Fiber Type, Resin Type, Manufacturing Process, End-Use Industry and Region – Global Forecast to 2026, <https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/composite.asp>.
- [7] Sezgin, H., & Berkalp, O.B. (2017). The effect of hybridization on significant characteristics of jute/glass and jute/carbon-reinforced composites. *Journal of Industrial Textiles*, 47, 283 - 296.
- [8] Campbell, F.C. (2010). *Structural Composite Materials*.
- [9] Lee, D.G. (2005). *Axiomatic Design and Fabrication of Composite Structures: Applications in Robots, Machine Tools, and Automobiles*.
- [10] Shahzad, A. (2014). *Impact and Fatigue Properties of Natural Fibre Composites*.
- [11] Wallenberger, F.T., Macchesney, J.B., Naslain, R.R., & Ackler, H.D. (1999). *Advanced inorganic fibers: Processes, structures, properties and applications*.
- [12] Lee, H., Jung, K.H., & Park, H. (2021). Study on Structural Design and Analysis of Composite Boat Hull Manufactured by Resin Infusion Simulation. *Materials*, 14.
- [13] Sakin, R. (2021). Layup Design Optimization for E-glass Woven Roving Fabric Reinforced Polyester Composite Laminates Produced by VARTM. *Fibers and Polymers*, 22, 509-527.
- [14] Demircan, G., Ozen, M., & Kısa, M. (2020). Flexural Properties of Glass Fiber Reinforced Epoxy Composites at Different Strain Rates.
- [15] Ertan, R., Kuş, A., & Durgun, I. (2019). ÜÇ BOYUTLU DOKUMA KUMAŞ TAKVİYELİ SANDVIÇ KOMPOZİTLERDE YÜZEYLERDEKİ ELYAF KATMAN SAYISININ EĞİLME DAVRANIŞINA ETKİSİ. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 24, 231-240.
- [16] Çakir, M.C., & Berberoğlu, B. (2018). E-Cam Elyaf Takviyeli Epoksi Matrisli Kompozit Malzemelerin Elyaf Oranındaki Artış İle Mekanik Özelliklerindeki Değişimlerin İncelenmesi. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*.
- [17] Sakin, R. (2017). RTM ile üretilen iki-yönlü cam-dokuma takviyeli kompozit levhalarda cam-keçe kullanımının mekanik anizotropi üzerine etkisi.
- [18] Aydın, M.R., Acar, V., Yapıcı, F., Yıldız, K., Topcu, M.V., & Gündoğdu, Ö.L. (2018). Inter-ply Hibrit Kompozit Yapılarda Elyaf Diziliş Sıralamasının Mekanik ve Dinamik Özelliklere Etkisi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 8, 255-263.

- [19] Infanta May Priya, I., & Senthil, R. (2021). Mechanical behavior of biaxial non-crimp glass fiber reinforced polymer composite. *Materials Today: Proceedings*.
- [20] Nagaraja, K., Rajanna, S.K., Prakash, G.S., & Rajeshkumar, G. (2020). The Role of Stacking Order on Mechanical Properties of Glass/Carbon Reinforced Epoxy Hybrid Composites Prepared by Resin Infusion Technique. *Materials Today: Proceedings*, 22, 2446-2451.
- [21] Oh, D.J., Jang, J., Jee, J., Kwon, Y., Im, S., & Han, Z. (2022). Effects of fabric combinations on the quality of glass fiber reinforced polymer hull structures. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*.
- [22] Yuhazri, M.Y., Amirhafizan, M.H., Nilson, G., Sihombing, H., Kamarul, A.M., & Nirmal, U. (2018). Effects of gelcoat thickness on mechanical properties of woven glass/polyester laminated composite. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 12, 3370-3386.
- [23] Pomázi, Á., & Toldy, A. (2019). Multifunctional Gelcoats for Fiber Reinforced Composites. *Coatings*.
- [24] Yenilmez, B., & Sozer, E.M. (2009). Compaction of e-glass fabric preforms in the Vacuum Infusion Process, A: Characterization experiments. *Composites Part A-applied Science and Manufacturing*, 40, 499-510.