

## Inter-ply Hibrit Kompozit Yapılarda Elyaf Diziliş Sıralamasının Mekanik ve Dinamik Özelliklere Etkisi\*

Muhammet Raci AYDIN<sup>1</sup>, Volkan ACAR<sup>2</sup>, Furkan YAPICI<sup>2</sup>, Kaan YILDIZ<sup>2</sup>, Muhammed Vefa TOPCU<sup>2</sup>, Ömer GÜNDOĞDU<sup>2</sup>

**ÖZET:** Son yıllarda geliştirilen yeni üretim metotları ile tabakalı kompozit yapıların kullanım alanları dikkate değer bir şekilde artmıştır. Bu yapıların kullanım performanslarını arttırmak amacıyla farklı tekil kumaşlar, farklı diziliş sıraları ile aynı kompozit yapıda kullanılarak hibrit kompozit yapılar elde edilmiştir. Tabakalı hibrit kompozit yapıların mekanik özellikleri ile ilgili birçok araştırma yapılmışken dinamik özellikleri ile ilgili yapılan araştırmalar henüz yeterli değildir. Bu çalışma kapsamında; tekil cam (C) ve tekil karbon (K) elyaf lar kullanılarak VARTM (Vakum Destekli Reçine Transfer Kalıplama) yöntemi ile 4 tabakalı, 4 farklı diziliş sırasına sahip numunelerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu numuneler; sade cam (C<sub>4</sub>), sade karbon (K<sub>4</sub>) olmak üzere iki tekil kompozit yapı ve bu iki elyaf türünün aynı yapı içerisinde simetrik olarak farklı diziliş sıralarıyla kullanılmasıyla elde edilen iki farklı hibrit kompozit yapıdan (KCCK ve CKKC) oluşmaktadır. Üretilen kompozit levhalardan, ilgili ASTM standartlarına göre üç nokta eğilme, çekme ve titreşim testleri için gerekli olan numuneler kesilerek elde edilmiştir. Üç nokta eğilme testleri yapılarak numunelerin maksimum eğilme dayanımları ve çekme testleri yapılarak numunelerin elastisite modülleri belirlenmiştir. Ayrıca ankastre-serbest sınır şartında serbest titreşim analizleri yapılarak doğal frekans ve sönüm oranı değerleri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile interply hibrit kompozit yapılarda diziliş sırasının maksimum eğilme dayanımı, elastisite modülü ve titreşim özelliklerine etkisi incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Doğal frekans, eğilme dayanımı, interply hibrit kompozit, sönüm oranı.

## Influence of Fiber Stacking Sequence in Inter-ply Hybrid Composites Structures on the Mechanical and Dynamics Properties

**ABSTRACT:** With the new manufactured methods developed in recent years, the application areas of layered composite structures have increased considerably. In order to increase the utilization performances of these structures, hybrid composite structures were obtained by using single fabrics in different sequences. While many studies have been carried out on the mechanical properties of layered hybrid composite structures, studies on dynamic properties are not enough. In the scope of this work, samples with 4 layers with 4 different sequence were manufactured by using VARTM (Vacuum Assisted Resin Transfer Moulding) method using single glass (G<sub>4</sub>) and single carbon (C<sub>4</sub>) fibers. These samples are either single composite structures consisting of single glass (G<sub>4</sub>) and single carbon (C<sub>4</sub>) or symmetric composites with different order of arrangements of these two fibers within the same structure (CGGC and GCCG). Samples were cut from produced composite sheets for three point bending, tensile and vibration tests according to the relevant ASTM standards. With three point bending tests determined the maximum flexural strength of the samples. Tensile tests were performed to determine the young modulus of the samples. In addition, natural frequency and damping ratio values were determined by free vibration analysis under fixed-free boundary conditions. With the obtained results, the effect of sequence of interply hybrid composite structures on the maximum flexural strength, the modulus of elasticity and vibrational properties was investigated.

**Keywords:** Damping ratio, flexural strength, interply hybrid composite, natural frequency.

<sup>1</sup> Muhammet Raci AYDIN (0000-0002-4120-1816), Iğdır Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Iğdır, Türkiye

<sup>2</sup> Volkan ACAR (0000-0001-7412-301X), Furkan YAPICI (0000-0003-0828-2690), Kaan YILDIZ (0000-0001-7843-4595), Muhammed Vefa TOPCU (0000-0003-0818-3828), Ömer GÜNDOĞDU (0000-0003-2656-4181), Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye

Sorumlu yazar/Corresponding Author: Ömer GÜNDOĞDU, omerguson@atauni.edu.tr

\* Bu çalışma 09-11 Ekim 2017 tarihinde Iğdır-Türkiye'de düzenlenen II. International Iğdır Symposium'unda sunulmuş ve kongre özet kitabında yayınlanmıştır.

## GİRİŞ

Eskiden beri insanlar, bir malzemeyi başka malzeme ile birleştirerek daha iyi özelliklere sahip yeni malzemeler elde etmişlerdir. En az iki farklı malzemenin, farklı özelliklere sahip yeni bir malzeme oluşturmak amacıyla, fiziksel olarak birleştirilmesi neticesinde elde edilen yeni malzemelere kompozit malzemeler denilmektedir. Birçok kompozit malzeme çeşidi olmakla birlikte bunlardan mühendislik uygulamalarında daha çok kullanılanlar elyaf takviyeli tabakalı kompozit malzemelerdir. Elyaf takviyeli tabakalı kompozit malzemeler, belirli bir üretim yöntemi ile üst üste dizilen takviye elemanları ve matris bileşenlerinden meydana gelmektedir. Bu yeni malzemelerin üretilmeye başlanmasıyla; yorulma, aşınma, korozyon ve çevresel etkilere dayanım ile beraber hafiflik, mukavemet ve rijitlik gibi istenilen özelliklere sahip yeni malzemeler elde edilmiştir. Kompozit sektöründe bu olumlu gelişmelere rağmen istenilen bütün özelliklerin tek bir kompozit yapıda toplanması oldukça zordur. İstenilen amaç doğrultusunda birbirlerinin eksik yönlerini gidermek için, bir yapıda birden fazla elyaf türünün birlikte kullanılması ile elde edilen hibrit kompozit denilen yapılara ihtiyaç duyulmuştur. Hibrit kompozit yapılar, günümüzde çok farklı elyaf türlerinin takviye elemanı olarak kullanılabilmesi ile oldukça ilgi çekici bir vaziyet almıştır. Araştırma ve geliştirme faaliyetleri hızla devam eden bu yeni malzemelerin, üstün özelliklerinden dolayı ulaşım sektöründen (toplu taşıma, otomobil, havacılık, denizcilik), spor ekipmanlarına kadar çok farklı alanlarda giderek artan bir kullanıma sahip olacağı öngörülmektedir. Tabakalı kompozitlerde hibritleşme ile ilgili bazı çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

Swolfs et al (2014), tarafından polimer kompozitlerin elyaf hibritleşmesi ile ilgili yapılan literatür taramasında tabakalı kompozitlerde hibrit mekanizması hakkında temel bilgiler verilmiştir. Elyaf takviyeli kompozit malzemeler yapılarındaki bazı eksikliklere rağmen yapısal uygulamalarda hızla artan bir pazar payına sahip olmuştur. Farklı elyaflar ile hibritleşme işlemi yapılarak bu eksikliklerin giderilebileceği ifade edilmiştir. Optimal bir tasarım için eğilme, çekme, çarpma, kırılma özellikleri hakkında bilgi verilmiştir. Hibrit kompozit yapıların üretilmesinin temel amacı, tam olarak istenilen özelliklere sahip yeni malzemelerin üretilmesidir. Genellikle pahalı olan tek tip takviye elemanının kullanılmasından meydana gelen yüksek maliyetler de böylece düşürülmüş olur (Strong,

2008). Tabakalı hibrit kompozit malzemelerin en yaygın kullanılan türü interply hibrit kompozit malzemelerdir. Bunlar farklı takviye elemanlarının (farklı elyaf kumaşlardan) her bir tabakada ayrı bir elyaf çeşidi olacak şekilde, üst üste dizilmesiyle oluşturulan tabakalı kompozit yapılarıdır. Subagia ve Kim (2013), bazalt-karbon interply hibrit kompozit malzemelerin eğilme dayanımını ve elyaf dağılımındaki farklılığın gerilme üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Dorigato ve Pegoretti (2013), karbon, bazalt, cam elyaflarını kullanarak bazalt-karbon ve cam-karbon interply hibrit kompozit malzemeler üretmişler ve bu yapıların mekanik özelliklerini incelemiş, darbe testlerini yapmışlardır. Bazalt ile yapılan hibrit yapıların cam ile yapılanlara göre daha yüksek mekanik özelliklere sahip olduğunu ifade etmişlerdir. De Rosa et al (2011), cam-bazalt hibrit kompozit yapının darbe testlerini hem sayısal yöntemlerle hem de deneysel olarak yapmışlardır. Zhang et al (2011), hafif yük taşıyan yapılar için cam ve karbon elyaf kumaşlarla güçlendirilmiş hibrit kompozitlerde, plain dokuma cam elyaflar ile twill dokuma karbon elyafların farklı diziliş sıraları için çekme, basma ve üç nokta eğilme testleri sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Deneysel olarak test edilen numuneler için analitik çözümler geliştirilmiş ve bu çözümlerin deneysel verilerle iyi bir uyum sağladığı görülmüştür. Hibrit kompozit yapıyı oluşturan elyafların diziliş sırası değiştirilerek maksimum dayanım elde edilebileceği sonucuna varılmıştır. Yeter et al (2014), tabakalı kompozit yapılarda hibritleşmenin burulma davranışına etkisi konulu çalışmalarında 12 tabakalı 0/90, 30/60, -45/45 yönlenme açılarına ve diziliş sıralarına sahip S-cam, aramid ve karbon elyaf takviye elemanlı hibrit kompozit numunelerde burulma davranışlarını araştırmışlardır. Diziliş sırasının burulmayı doğrudan etkilediğini belirtmişlerdir. Ayrıca deneysel çalışmalarını sayısal analiz sonuçlarıyla (ANSYS® ile) desteklemişlerdir. Kompozit malzemelerin dinamik özelliklerinin sınıflandırılması ve standardizasyonu oldukça zordur. Deneylerde akustik ve optik yöntemlerle kullanan ekipmanlar ve temassız algılayıcıların kullanılmasıyla sonuçların güvenilirliği artmıştır. Sönümün ana sebeplerinden olan enerji kayıp mekanizmalarının altında yatan fiziksel nedenlerin daha iyi anlaşılması için daha fazla araştırma çabalarına ihtiyaç vardır. Bu da deneysel sınıflandırmalarla mümkün olabilir. Deneysel çalışmaların güvenilirliği, deneylerin standartlara uygun olarak yeterli miktarda yapılmasına bağlıdır.

Sonuçta fiziksel gözlemlerin en uygun bir şekilde matematiksel ifadelerle dönüştürülmesi öngörülen modellerin doğruluk kabiliyetlerini geliştirecektir (Treviso et al, 2015). Özellikle dinamik özelliklerin tayini için yapılan testlerde en büyük problemin, geleneksel ivme ölçer ve sınır koşulları için kullanılan diğer test ekipmanlarının numunelerin kütesine yaptığı etki olduğunu belirtmişlerdir. Talbot ve Woodhouse (1997), yaptıkları çalışmada deneysel sonuçlar ve öngörülen koşullar arasında önemli farklılıklar bulmuşlardır. Maheri (2010), plakalar üzerinde farklı sınır şartları altında sönüm ile ilgili yoğun çalışmalar yapmış ve kısıtların sönüm üzerine etkisinin sertlik (rijitlik) dağılımı ile ilgili olduğunu ifade etmişlerdir. Berthelot et al (2008), malzeme tabakaları ve yönlendirmelerinin, kirişin uzunluk değişiminin, titreşim üzerindeki etkisini analiz edilerek frekansa bağlı kayıp faktörlerini ve sönüm katsayılarını belirlemişlerdir. Bulut et al (2016), yaptıkları çalışmada farklı oranlarda bazalt ve aramid elyafına sahip hibrit kompozitlerin sönümleme ve titreşim (doğal frekans) özellikleri araştırmışlardır. Tek yönlü bazalt elyaf ve twill örgülü aramid elyaf takviye elemanı olarak kullanmışlardır. Yaptıkları çalışma kapsamında karşılaştırma için hibrit olmayan bazalt/epoksi ve aramid/epoksi tabakalı kompozit yapılar imal etmişlerdir. Kompozit plakaların dinamik özellikleri modal analiz yapılarak deneysel olarak belirlenmiştir. Sönümlenme özellikleri, logaritmik azalma yöntemi ile hesaplanmış. Yapıların kayıp modülü (loss modulus), depolama modülü (storage modulus) ve sönümleme oranı (damping ratio) değerleri belirlenmiştir. Hibrit yapılar ile hibrit olmayan kompozit yapılar arasındaki ilişkiler gözlenmiştir. Ayrıca, aramid elyafın tabakalı kompozit yapılarda kullanılmasının sönümleme özelliklerini arttırdığı buna karşı mukavemet değerlerini düşürdüğü belirtilmiştir. Bulut et al (2016), tarafından yapılan diğer bir çalışmada, aramid ve cam elyafı hibrit kompozitlerin gerilme ve sönümleme davranışları incelenmiştir. Hibrit aramid/cam epoksi reçineli yapılarda, hibritleşmenin etkisini göstermek için farklı elyaf hacim oranlarına göre numuneler imal edilmiş, çekme testi yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca numunelerin dinamik özelliklerini belirlemek için bir dizi titreşim testi yapılmıştır. Sönümleme özellikleri, logaritmik azalma yöntemiyle hesaplanmış, elyaf açısının doğal frekanslara olan etkileri ise ANSYS® paket programı kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar, nispeten kırılğan malzeme S-cam elyafının sert ve yüksek performanslı

aramid elyafı ile hibritleşmesinin sönümleme kapasitesini arttırmada oldukça etkili olduğunu göstermiştir. El Mahi et al (2008), ortotropik kompozit malzemelerin ve plakaların sönüm analizi üzerine çalışmışlar, farklı uzunluklarda tek yönlü cam elyaf takviyeli kompozitlerde sönüm parametrelerini deneysel modal analiz yaparak lazer ve çekiç test tekniği ile araştırmışlardır. Farklı katmanların enerjilerini dikkate alan sonlu elemanlar analizi yaparak bir sönüm modeli geliştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlar, deney sonuçlarıyla oldukça iyi bir uyum gösterdiği için sonlu elemanlar analizi ile geliştirilen modelin karmaşık şekilli yapılara da uygulanabileceğini belirtmişlerdir. Kompozit yapıyı oluşturan polimerler yapı itibarıyla sönüm için en önemli etkenlerdir. Termoplastikler termosetlere göre daha yüksek enerji dağıtma özelliğine sahip iken termosetler yüksek rijitlik ve iyi yapışma değerleri açısından önemlidir. Chung (2003), yaptığı çalışmada matris elyaf hacim oranı artırılarak sönüm oranının artırılabilirliğini belirtmiştir. Ni ve Adams (1984), yaptıkları çalışmada ise karbon ve cam elyaf takviyeli polimerik kompozitler ve cam elyaf takviyeli polimerik kompozitlerde hacim oranının 0.6'ya kadar olan değerlerinde sönümde parabolik bir artış gözlemlenmiştir. Maheri ve Adams (2002), elyaf yönlerinin eğilme yönlerine paralel olması durumunda özel sönüm kapasitesi (SDC: Specific Damping Capacity)'nin arttığını ifade etmişlerdir. Doebing et al (1996), elyaf ayrılması, yapışma zayıflaması, yapraklanma gibi üretim ve kullanım hatalarının sönümü arttırdığını ifade etmişlerdir. Crane ve Gillespie (1991), tek yönlü, 0° ve 90° yönlendirme açısına sahip tabakalı kompozitlerde malzeme sönümünü deneysel olarak yarı güç bant genişliği (half-power bandwidth) metodu ile bulmuşlardır. Ayrıca cam/epoksi ve grafit/epoksi kompozitlerde titreşim sönümlerini kayıp faktörünü dikkate alarak karakterize etmişler ve cam elyafın karbon elyafa göre daha iyi sönüm değerlerine sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Baburaj ve Matsuzaki (1993), hibrit kompozit bir tabakanın malzeme sönüm analizi ve mikro mekaniği hakkında çalışmışlar, malzemenin özel sönümleme kapasitesi (SDC) için elyaf matris sistemini lineer viskoelastik bir malzeme özelliğinde kabul ederek analitik denklemler elde edilmişlerdir. Mohamed et al (2017), cam, karbon ve bazalt elyafı elle yatırma metodunu kullanarak (hand lay up) tekil ve hibrit kompozit numuneler üretmişler ve bu numuneleri mekanik ve dinamik testlere tabi tutmuşlardır.

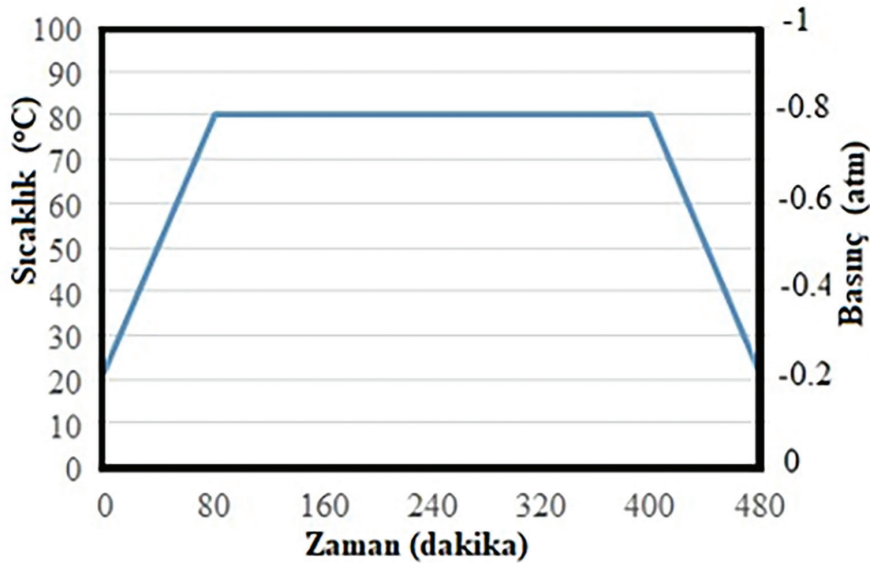
Ayrıca deneysel sonuçları ile ANSYS® sonuçlarını karşılaştırmışlar ve en fazla %15'lik bir hata oranı ile uyumlu sonuçlar elde etmişlerdir. Selver et al (2017) yaptıkları çalışmada ağırlığı ve maliyeti daha ucuz ve daha hafif olan doğal elyaf (keten ve jüt) kullanarak çeşitli diziliş sırasına sahip keten/cam ve jüt/cam elyafli hibrit kompozitleri vakumlu infüzyon yöntemiyle üretmişlerdir. Üretilen numunelerin gerilme, eğilme ve dinamik-mekanik özellikleri incelemişlerdir. Diziliş sırasının değiştirilmesinin gerilme dayanımını çok fazla değiştirmedğini, ancak cam elyafın dış yüzey tabakalarında kullanılmasının eğilme dayanımında önemli farklar oluşturduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca dinamik-mekanik analizler eğilme testi ile benzer sonuçlar verirken, doğal elyafli hibrit kompozitlerin cam takviyeli kompozitlerden daha yüksek sönümleme özelliklerine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Murugan et al (2014) farklı yoğunluklarda karbon ve cam elyaf kumaşları kullanarak elle yatırma yöntemi ile oda sıcaklığında 24 saat boyunca 2.5 MPa basınç altında ürettikleri tekil ve hibrit numuneleri statik ve dinamik-mekanik testlere tabi tutmuşlar. Elde edilen sonuçlara göre hibrit yapıların tekil yapılara göre avantajlı yönlerini belirtmişlerdir.

Bu çalışma kapsamında hibrit kompozit yapılarda diziliş sırasının, maksimum eğilme dayanımına ve titreşim kontrolünde son derece önemli olan doğal frekans ve sönüm kapasitesine etkisi incelenmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan karbon elyaf, cam elyafa göre hem maliyet hem de mekanik özellikler açısından daha yüksek değerlere sahiptir. Özellikle son yıllarda

bu iki elyaf türünün hibrit kombinasyonlarının mekanik özellikleri ile ilgili birçok çalışma yapılmışken dinamik özellikleri ile yapılan çalışmalar henüz yeterli değildir.

## MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada kullanılan karbon (K) elyaf kumaş 250 g m<sup>-2</sup> yoğunlukta, "twill" dokuma olarak Spinteks Tekst. İnş.San.ve Tic. A.Ş./ Denizli'den, cam (C) elyaf kumaş ise 290 g m<sup>-2</sup> yoğunlukta, "plain" dokuma tipi olarak Dost Kimya End. Ham. San. Tic. Ltd. Şti./ İstanbul'dan temin edilmiştir. Reçine sistemi olarak ise Huntsman Araldite® LY 1564/Aradur® 3487 epoksi reçinesi kullanılmıştır. Üretim Vakum Destekli Reçine Transferiyle Kalıplama (VARTM - Vacuum Assisted Resin Transfer Moulding) yöntemi ile yapılmıştır. Karbon ve cam elyaflardan 300 x 300 mm ebatlarında kumaşlar kesilerek, simetrik olacak şekilde 4 tabakalı levhalar üretilmiştir. Kompozit levhaların kürleşme işlemi -0.8 atm basınçta, 80 °C sıcaklıkta 8 saat bekletilerek gerçekleştirilmiştir. Kürleşme süreci şematik olarak Şekil 1'de gösterilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen numunelerin elyaf diziliş sıralaması Çizelge 1'de verilmiştir. Üretilen bu levhalardan; üç nokta eğilme testleri için ASTM D790 standardına göre, çekme testleri için ASTM D3930 standardına göre, titreşim testleri için ise ASTM E756-05 standardına göre 5'er adet numune kesilmiş ve her bir numune türü ile 5 adet test yapılmıştır. (ASTM D790-10, ASTM D3039/D3039M-14, ASTM Standard E756-05). Şekil 2'de titreşim ölçüm sistemi gösterilmiştir.

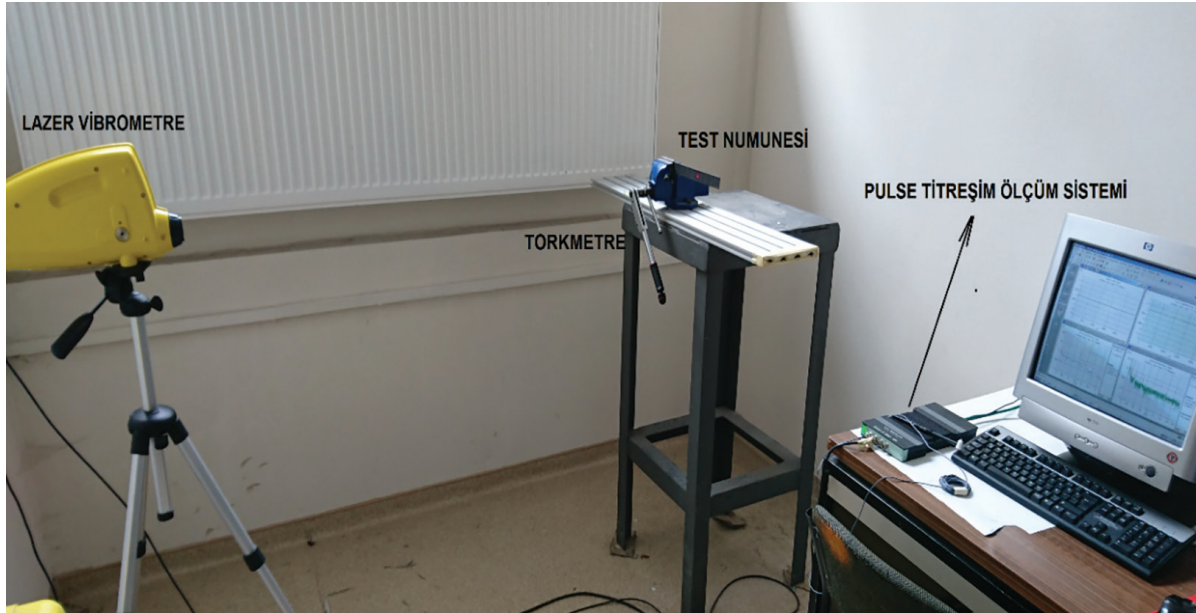


Şekil 1. VARTM yöntemi ile üretilen levhaların kürleşme sürecinin şematik gösterimi



Çizelge 1: Üretimi gerçekleştirilen numunelerin elyaf diziliş sıralaması

<b>Tekil Üretimler</b>	Sade Karbon (4 tabakalı)	Sade Cam (4 tabakalı)
<b>Hibrit Üretimler</b>	Karbon/Cam/Cam/Karbon	Cam/Karbon/Karbon/Cam



Şekil 2. Titreşim ölçüm sistemi

Titreşim karakteristikleri, bilgisayar tabanlı PULSE® (Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S/ Danimarka) titreşim ölçüm sistemi ile belirlenmiştir. Bu sistem, çok kanallı bir analiz sistemi olup çeşitli veri toplama birimleri ve yazılım seçeneklerinden oluşan modüler bir yapıya sahiptir. Testlerde malzeme üzerinde belirli noktalardan darbe çekici kullanarak tahrik kuvveti uygulanmış ve malzemenin cevabı ölçülerek aradaki transfer fonksiyonu (Frequency Response Function, FRF), ME'scope VES® (Vibrant Technology, Inc. / ABD) modal analiz yardımıyla elde edilmiştir. Uygulanan tahrik kuvveti bir kuvvet transdüseri (çekici) ile, cevap ise lazer vibrometre ile ölçülmüştür. Böylece test

numunesinin deneysel modal parametreleri (rezonans frekansı ve sönüm oranı) ankastre-serbest sınır şartı için bulunmuştur. Test numunelerin malzeme sönüm değerleri yarı güç bant genişliği (half-power bandwidth) metodu ile sistem tarafından hesaplanmıştır. Doğal frekans ve sönüm oranı değerleri direkt olarak titreşim ölçüm sisteminin ara yüzünde görülen Frekans Cevap Fonksiyonu (FRF) grafiğinden okunabilmektedir. ASTM D790-10 standartlarına göre üç nokta eğilme testleri universal test cihazı (Shimadzu® Corp/Japonya) ile yapılmıştır. Maksimum eğilme dayanımı ( $s_F$ ) ilgili standart gereği aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır (Eşitlik 1).

$$s_F = \frac{3 P_{max} L}{2 bh^2} \quad (1)$$

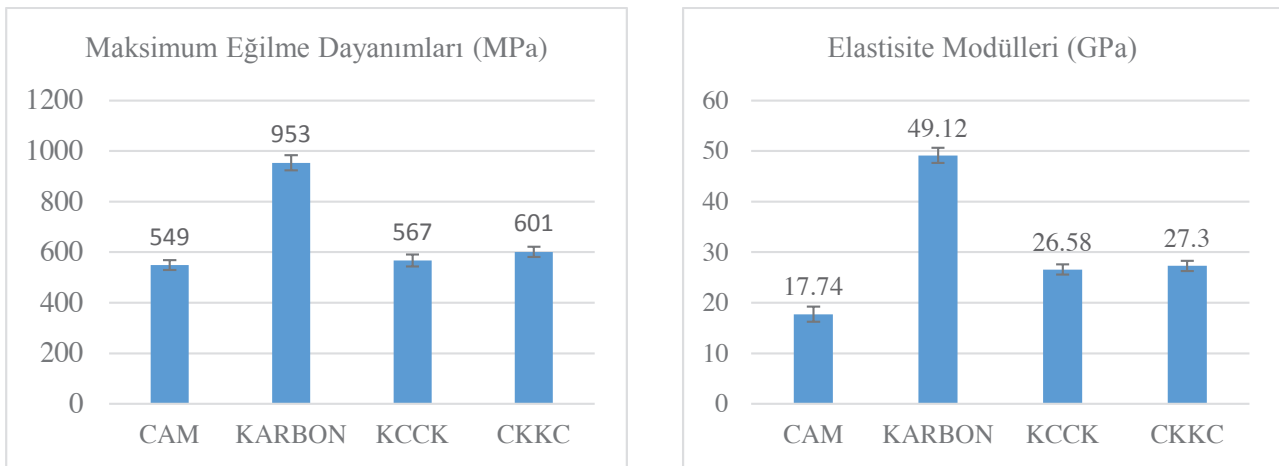
Burada;  $P_{max}$  Kırılma anında numuneye uygulanan kuvvet (N);  $L$  Mesnetler arası mesafe (mm);  $b$

= Numune genişliği (mm);  $h$  = Numune kalınlığı (mm)'dir.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

Karbon (K) ve cam (C) elyaflar kullanılarak 4 farklı oryantasyonda üretimler yapılmıştır. Bunlardan iki tanesi tekil karbon ve tekil cam numunelerdir. Diğer iki numune ise dört tabakalı, simetrik, farklı diziliş sıralarına sahip KCKK ve CKKC interply hibrit kompozit numunelerdir. Bu numunelerin ilgili ASTM standartlarına göre üç nokta eğilme, çekme testleri

yapılarak elde edilen sonuçların ortalama değerleri 95% güven aralığında Şekil 3'de gösterilmiştir. Şekil 3.a'da ASTM D790 standardı gereği numunelerin maksimum eğilme dayanımları Eşitlik 1 yardımıyla hesaplanarak bulunmuştur. Şekil 3.b'de ise çekme testi sonuçlarına göre elde edilen elastisite modülü değerleri verilmiştir.



a) Numunelerin maksimum eğilme dayanımları (Üç nokta eğilme testinden)

b) Numunelerin elastisite modülü değerleri (Çekme testinden)

Şekil 3. Numunelerin maksimum eğilme dayanımları ve elastisite modülleri

Çizelge 2'de titreşim testleri neticesinde elde edilen ortalama doğal frekans değerleri verilmiştir. Şekil 4'te

bu değerlerin değişimi grafik üzerinde gösterilmiştir.

Çizelge 2: Numunelerin doğal frekans değerleri

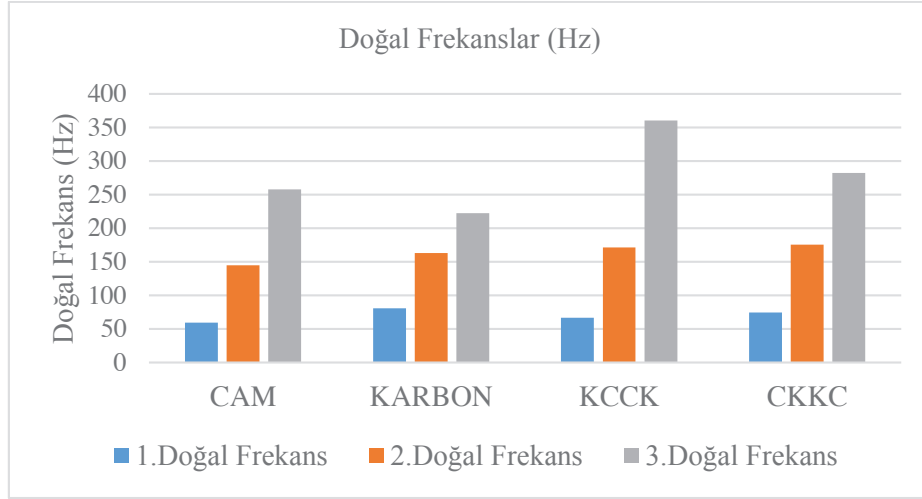
	CAM	KARBON	KCKK	CKKC
1.Doğal Frekans (Hz)	59.4	81.04	66.84	74.72
2.Doğal Frekans (Hz)	144.66	163.08	171.24	175.74
3.Doğal Frekans (Hz)	257.85	222.4	360.07	282.32

Çizelge 3'de ise titreşim testleri neticesinde elde edilen ortalama sönüm oranı değerleri verilmiştir. Şekil 5'de bu değerlerin değişimi grafik üzerinde gösterilmiştir. Üç nokta eğilme testi ve çekme testi

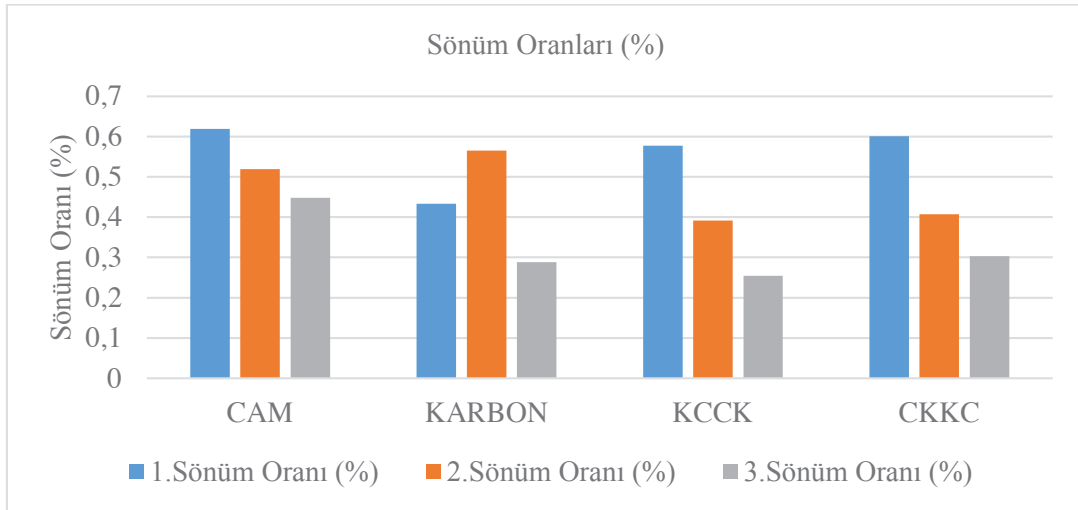
sonunda üretilen kompozit yapılardan, tekil karbon elyaf takviyeli kompozit yapının maksimum eğilme dayanımı ve elastisite modülü değerlerinin diğer numunelere göre daha yüksektir.

Çizelge 3: Numunelerin sönüm oranı değerleri

	CAM	KARBON	KCKK	CKKC
1.Sönüm Oranı (%)	0.619	0.433	0.577	0.601
2.Sönüm Oranı (%)	0.519	0.565	0.391	0.407
3.Sönüm Oranı (%)	0.448	0.288	0.254	0.303



Şekil 4. Numunelerin ilk üç doğal frekansları



Şekil 5. Numunelerin ilk üç sönüm oranı değerleri

Karbonun yapısı gereği daha gevrek bir yapı göstererek diğer numune tiplerine göre daha erken kırıldığı gözlenmiştir. Dış yüzeylerinde karbon elyaf bulunan interply hibrit kompozit numuneler, dış yüzeyinde cam elyaf bulunan interply hibrit kompozit numunelere göre daha düşük değerler almıştır.

Ayrıca tekil cam elyafli numunelerin maksimum eğilme dayanımı ve elastisite modülü değerleri, tekil karbon elyaf takviyeli kompozitlere ve hibrit yapılara göre daha düşük değerler almıştır ve bu durum literatür çalışmaları ile uyumludur (Subagia et al, 2014).

## SONUÇLAR

Titreşim deneylerinde ilk üç doğal frekans ve bu frekanslara karşılık gelen sönüm oranı değerleri incelenmiştir.

- \* Tekil cam elyaf takviyeli numunelerin sönüm oranı değerlerinin diğer numunelere göre en yüksek değerleri aldığı görülmüştür.
- \* Hibrit numunelerden dış yüzeyinde cam elyafı bulunan numunelerin birinci doğal frekans ve sönüm oranı değerleri dış yüzeyinde karbon elyafı bulunan numunelere göre daha yüksektir.
- \* Tekil karbon elyaf takviyeli numunelerin birinci doğal frekans değerinin en yüksek

olduğu görülmüştür, bu durumun karbon elyaf takviyeli kompozit yapının daha yüksek eğilme rijitliği değerlerine sahip olması ile ilgili olduğu düşünülmektedir.

Yapılan deneyler sonucunda hibrit kompozitlerin, maksimum eğilme dayanımı, elastisite modülü, doğal frekans ve sönüm oranı değerlerinin; matris / elyaf oranı dışında malzemeyi oluşturan elyafların türüne, diziliş sırasına göre değişiklik gösterdiği görülmüştür.

Elde edilen sonuçlar neticesinde hibrit kompozit yapılar kullanılarak, aynı miktardaki malzemenin farklı diziliş sıraları ile aynı üretim süresinde farklı dinamik ve mekanik özelliklere sahip malzemelerin elde edilmesinin mümkün olabileceği sonucuna varılmıştır.

## KAYNAKLAR

- ASTM D3039/D3039M – 14, 2013. Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D790 – 10, 2011. Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. ASTM International, PA 19428-2959, United States.
- ASTM Standard E756-05 (Reapproved 2010), 2013. Standard Test Method for Measuring Vibration-Damping Properties of Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA
- Baburaj V, Matsuzaki Y. 1993. Micromechanics and materials damping analysis of an intraply hybrid composite lamina (Conference Paper). Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, Volume 20, 40: 473-485.
- Berthelot JM, Assarar M, Sefrani Y, Mahi AE, 2008. Damping analysis of composite materials and structures, Composite Structures, 85: 189-204.
- Bulut M, Bozkurt ÖY, Erklığ A, 2016. Damping and vibration characteristics of basalt-aramid/epoxy hybrid composite laminates. Journal of Polymer Engineering, 36.
- Bulut M, Erklığ A, Yeter E, 2016. Experimental investigation on influence of Kevlar fiber hybridization on tensile and damping response of Kevlar/glass/epoxy resin composite laminates. Journal of Composite Materials, 50: 1875-1886.
- Chung D, 2003. Structural composite materials tailored for damping. Journal of Alloys and Compounds, 355: 216-223.
- Crane R, Gillespie J. 1991. Characterization of the vibration damping loss factor of glass and graphite fiber composites, Composites Science and Technology, 40(4): 355-375.
- De Rosa IM, Marra F, Pulci G, Santulli C, Sarasini F, Tirillo J, Valente M, 2011. Post-impact mechanical characterisation of E-glass/basalt woven fabric interply hybrid laminates. Express Polymer Letters, 5(5): 449-459.
- Doebbling S, Farrar C, Prime M, Shevitz D, 1996. Damage identification and health monitoring of structural and mechanical systems from changes in their vibration characteristics: A literature review. Tech. Rep., Los Alamos National Laboratory, USA.
- Dorigato A, Pegoretti A, 2013. Flexural and impact behaviour of carbon/basalt fibers hybrid laminates. Journal of Composite Materials, 48(9): 1121-1130.
- Maheri M, Adams R, 2002. Modal Vibration Damping of Anisotropic FRP Laminates Using The Rayleigh-Ritz Energy Minimization Scheme. Journal of Sound and Vibration, 259: 17-29.
- Maheri MR, 2010. The effect of layup and boundary conditions on the modal damping of FRP composite panels. Journal of Composite Materials, 45: 1411-1422.
- Mahi AE, Assarar M, Sefrani Y, Berthelot JM, 2008. Damping analysis of orthotropic composite materials and laminates. Composites Part B: Engineering, 39: 1069-1076.
- Mohamed NM, El-Wazery M.S, El-Elamy I, Zoalfakar S.H, 2017. Mechanical and Dynamic Properties of Hybrid Composite laminates. International Journal of Advanced Engineering and Global Technology, 05(03): 1703-1725.
- Murugan R, Ramesh R, Padmanabhan K, 2014. Investigation on Static and Dynamic Mechanical Properties of Epoxy Based Woven Fabric Glass/Carbon Hybrid Composite Laminates. 12th Global Congress on Manufacturing and Management, GCMM 2014, Procedia Engineering, 97: 459 – 468.
- Ni R, Adams R, 1984. A rational method for obtaining the dynamic mechanical properties of laminae for predicting the stiffness and damping of laminated plates and beams. Composites, 15 (3): 193-199.
- Selver E, Ucar N, Gulmez T, 2017. Effect of stacking sequence on tensile, flexural and thermomechanical properties of hybrid flax/glass and jute/glass thermoset composites. Journal of Industrial Textiles, 0(00): 1-26.



- Strong AB, 2008. Fundamentals of Composites Manufacturing - Materials, Methods, and Applications. Second Edition, Society of Manufacturing Engineers (SME), Dearborn, Michigan, USA. 620 p.
- Subagia IDGA, Kim Y, 2013. A study on flexural properties of carbon-basalt/epoxy hybrid composites. Journal of Mechanical Science and Technology, 27 (4): 987-992.
- Subagia IDGA, Kim Y, Tijing LD., Kim CS., 2014. Shond HK, Effect of stacking sequence on the flexural properties of hybrid composites reinforced with carbon and basalt fibers. Composites Part B: Engineering Volume 58: 251–258.
- Swolfs Y, Gorbatiikh L, Verpoest I, 2014. Fibre hybridisation in polymer composites: A review. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 67:181–200.
- Talbot J, Woodhouse J, 1997. The vibration damping of laminated plates. Compos Part A, Appl Sci Manuf., 97: 1007-1012.
- Treviso A, Genechten BV, Mundo D, Tournour M, 2015. Damping in composite materials: Properties and models. Composites Part B, 78: 144-152.
- Yeter E, Erklığ A, Bulut M, 2014. Hybridization effects on the buckling behavior of laminated composite plates. Composite Structures, 118: 19–27.
- Zhang J, Chaisombat K, He S, Wang CH, 2011. Hybrid composite laminates reinforced with glass/carbon woven fabrics for lightweight load bearing structures. Materials & Design (1980-2015), 36: 75–80.