

Araştırma Makalesi / Research Article

ARAMİD VE KARBON LİF TAKVİYELİ TERMOPLASTİK KOMPOZİT KİRİŞLERİN İMPULS GİRDİ ALTINDAKİ TİTREŞİM DAVRANIŞLARI

Aysun BALTACI
Mehmet SARIKANAT*
Mesut TURAN

Ege Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü 35100 – Bornova, İzmir

Gönderilme Tarihi / Received: 01.11.2011

Kabul Tarihi / Accepted: 25.11.2011

ÖZET

Günümüzde cam, karbon, aramid lif v.b. takviyeli kompozit malzemelerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Özellikle aramid ve karbon lif düşük yoğunluğa, yüksek darbe dayanımı, yüksek aşınma dayanımı, yüksek yorulma dayanımına, titreşim sönümleme özelliğine sahiptirler. Bu özelliklerinden dolayı, özellikle aramid lifler balistik koruma uygulamalarında (askeri kasklar, kurşun geçirmez yelekler vb.), uzay ve uçak sanayinde, otomotiv sanayinde bir çok uygulama alanına sahiptir. Termoplastik malzemeler ise, üstün kırılma tokluğu, raf ömrünün uzun olması, geri dönüşebilirlik özelliği, yüksek sertlik ve darbe dayanımı gibi özelliklerinden dolayı termosetlere göre daha çok tercih edilmektedir. Bu çalışmada, farklı açılı oryantasyonlarına sahip aramid ve karbon lif içeren kıvrımsız kumaş takviyeli termoplastik matrisli kompozit malzemeler sıcak presleme yöntemi ile üretilip, üretilen malzemelerden kiriş numuneleri çıkarılmıştır. Kirişler darbe yüklerine (impuls girdi) maruz bırakılıp, bu yük etkisinde titreşim davranışları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Termoplastik kompozitler, aramid lif, karbon lif, kıvrımsız kumaş

VIBRATION BEHAVIOR OF ARAMID AND CARBON FIBER REINFORCED TERMOPLASTIC COMPOSITE BEAMS UNDER IMPULSE INPUT

ABSTRACT

Nowadays, due to their low density, high impact strength, high wear strength, high fatigue strength and high vibration damping properties, the use of glass, carbon, aramid fiber reinforced composite materials have rapidly grown. Among them especially aramid fiber has been popularly used in ballistic protection applications (military helmets, bulletproof vests etc) in space and airplane industry and in automotive industry. On the other hand, thermoplastic materials have been preferred much more in comparison to thermosets due to their superior properties such as crack fullness, long shelf life, biodegradability, high hardness and impact strength. In this study, aramid and carbon fiber reinforced thermoplastic composite materials with different fibre orientation angles, were fabricated with hot pressing method. Beam samples were taken out from the fabricated composites. Beams were subjected to impact loads (impulse input) and their vibration behaviours were investigated.

Keywords: Thermoplastic Composites, aramid fiber, carbon fiber, non-crimp fabric

**Sorumlu Yazar/Corresponding Author: msarikanat@gmail.com*

1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler, istenilen amaç için farklı özelliklerdeki iki yada daha fazla malzemenin, belirli şartlar altında ve belirli oranlarda makro yapıda bir araya getirilerek elde edilen malzemelerdir. Karma bir malzemenin oluşumu ile geliştirilebilecek bazı özellikler sertlik, dayanıklılık, ağırlık azaltma, aşınmaya mukavemet, ısı özellikler, yıpranmaya ve paslanmaya karşı dayanıklılıktır. İstenilen özellikler çeşitli doğrultulardaki lif takviyeleri ile sağlanabilir.

Çok eksenli kumaşlar, her katı farklı eksenlerde liflerden kıvrımsız (non-crimp) yapıda imal edilebilen çok katlı kumaşlardır. Katların sayısı, eksen açısı, ağırlığı ve kullanılan lif tipi isteğe göre tasarlanabilmektedir. Birbirine polyester iplikle bağlanan bu katlara ayrıca, cam keçe, yüzey tülü gibi malzemeler eklenebilmektedir. Bütün katlar -20'den -90'a ve/veya +20'den +90'a değişik açılarda yönelmiş lif içerecek şekilde üretilebilmektedir. 100g/m²-3000 g/m² aralığında farklı ağırlıkta ürünler üretme imkanı vardır. Çok eksenli kumaşların kompozit malzeme üretiminde lif üzerinde yapısı gereği reçine biriktiren noktalar oluşmamaktadır. Böylece, reçine tüketimi azalır ve lif üzerinde homojen bir reçine dağılımı sağlanır. Bu sayede kompozit içinde bulunan lif oranı artmaktadır. Bu artan lif oranı ile yüksek gerilme dayanımı değerlerine ulaşılır. Çok eksenli kumaşlar; kompozit üreticisine tasarım esnekliği sağlaması, reçine kullanımında tasarruf, reçinenin hızlı ilerleyebildiği ve ıslanmanın daha kolay olduğu kumaş yapısı, reçine uygulaması sırasında oluşabilen hava boşluklarını engelleyen kumaş yapısı, kompozit üründe düzgün yüzey görüntüsü, işçilik ve zaman tasarrufu, kullanım sırasında düşük fire oranı, uygulama sırasında kesildiğinde kumaşın dağılmaması, yüzey tülü ve keçe gibi malzemeler ile kombine olarak üretilebilmesi gibi avantajlara sahiptir. Kıvrımsız kumaşları içeren kompozitlerin açı oryantasyonlarının geometrik, mekanik ve titreşim davranışlarını nasıl etkilediği konusunda birçok araştırma yapılmıştır [1-8]. Bu çalışmalarda bu tür kumaşların kullanılmasıyla birlikte polimer takviyeli kompozitlerin özelliklerinde artış sağlanmıştır.

Termoplastik polimerlerinin çeşitlerinin çok fazla olmasına rağmen matris olarak kullanılan polimerler sınırlıdır. Termoplastikler düşük sıcaklıklarda sert halde bulunurlar, ısıtıldıklarında yumuşarlar. Termosetlere göre matris olarak kullanımları daha az olmakla birlikte üstün kırılma tokluğu, hammaddenin raf ömrünün uzun olması, geri dönüşüm kapasitesi ve sertleşme prosesi için organik çözücülere ihtiyaç duyulmamasından dolayı güvenli çalışma ortamı sağlaması gibi avantajları bulunmaktadır. Bunun yanı sıra şekil verilen termoplastik parça işlem sonrası ısıtılarak yeniden şekillendirilebilir. Oda sıcaklığında katı halde bulunan termoplastikler soğutucu içinde

bekletilmeden depolanabilir. Termoplastikler yüksek sertlik ve çarpma dayanımı özelliğine de sahiptirler.

Bibo ve arkadaşları, kıvrımsız kumaşlar ile takviye edilmiş kompozitlerin çekme ve bası yükünde oluşan hasar mekanizmaları üzerinde çalışmışlardır [9]. Truong ve arkadaşları ise kıvrımsız kumaş takviyeli kompozitlerde açı oryantasyonunun dikiş doğrultusundaki rijitliğinin nasıl değiştiğini tespit etmişlerdir [10].

Birçok çalışmada, kıvrımsız kumaş takviyeli termoset kompozitler üzerinde incelemeler yapılmıştır. Termoplastik kompozitler ile ilgili çalışmalar termosetlere göre daha az olmakla birlikte, son yıllarda giderek artmaktadır.

Karger-Koscis aramid kumaş/Polietereketon(PEEK) ve aramid kumaş/polietilen tereftalat (PET) kompozitlerin rijitliği ve dayanımları üzerinde anizotropinin etkilerini incelemiştir [11]. Cuong ve Maekewa yaptıkları çalışmada; aramid lif takviyeli polipropilen kompozitlerde basma kalıplama basıncının ve emdirmeye zamanının mekanik özellikler üzerine etkilerini araştırmışlardır [12]. Ramakrishna ve arkadaşları ise kıvrımsız cam lif takviyeli polipropilen kompozitler üretmişler ve darbe testleri yaparak darbe hasar dirençlerini tespit etmişlerdir [13]. Meyer ve arkadaşları, PEEK reçine kullanılarak üretilen kıvrımsız kumaş takviyeli kompozit malzemelerin sıcak şekillendirme davranışlarını incelemiştir [14]. Tanaka ve arkadaşları, iplik ve ilmek gerginliğinin kıvrımsız kumaş takviyeli termoplastik kompozitlerin çeki dayanımına etkisini araştırmışlardır [15]. Hufenbach ve arkadaşları ise çalışmalarında çok tabakalı cam lif takviyeli polipropilen kompozitlerin farklı sıcaklık ve hız altındaki çekme testlerini yaparak sıcaklığın ve hızın çeki gerilmesine etkilerini incelemiştir [16]. Spiros ve arkadaşları, uçak gövdesi parçaları için PEEK kullanılarak üretilen kıvrımsız kumaş takviyeli kompozitlerin mekanik davranışlarını incelemiştir [17].

Bu çalışmada, farklı açı oryantasyonlarına sahip aramid ve karbon lif içeren kıvrımsız kumaş takviyeli termoplastik matrisli kompozit malzemeler sıcak presleme yöntemi ile üretilip, üretilen malzemelerden kiriş numuneleri kesilerek çıkarılmıştır. Kirişler ani darbe yüklerine (impuls girdi) maruz bırakılıp, bu yük etkisinde titreşim davranışları incelenmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Malzemeler

2.1.1. Lif malzemeleri:

Bu çalışmada, kompozit malzeme üretiminde farklı lif açılara sahip kıvrımsız kumaşlar kullanılmıştır. Bu kıvrımsız kumaşların bazı özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Bu kumaşlar Metyx Telateks Tekstil Ürünleri San. ve Tic. A.Ş. (Türkiye) firmasından sağlanmıştır. Kullanılan

karbon ve aramid fitilden dokunmuş kumaşın birim alan ağırlığı 300g/m² ve dokuması 2/2 dimidir. Bu çalışmada kullanılan takviye malzemesi olarak kullanılan aramid lifin çekme dayanımı 2542 MPa, elastisite modülü 113 GPa, karbon lifin çekme dayanımı 6250 MPa, elastisite modülü ise 240 GPa'dır.

Tablo 1: Kırırımsız kumaşların özellikleri

Kumaş tipi	Lif tabakası		Dikiş			
	Ağırlık [g/m ²]	Açı [°]	Lif Tipi	Lineer yoğunluk [tex]	Örgü deseni	İğne sayısı [iğne/inch]
Tek yönlü karbon kumaş	200	0	PES	5	Tricot	5
Tek yönlü aramid kumaş	224	0	PES	5	Tricot	6
İki eksenli karbon kumaşlar	400	(+45/-45)	PES	5	Tricot	5
	400	(0/90)	PES	5	Tricot	5
İki eksenli aramid kumaşlar	457	(+45/-45)	PES	5	Tricot	6
	457	(0/90)	PES	5	Tricot	6

2.1.2. Matriks malzemeler:

Bu çalışmada, kompozit malzeme üretirken PETKIM Petrokimya Holding A.S. firmasından sağlanan yüksek yoğunluklu polietilen (S 0452, 0,950 - 0,956 g/cm³) kullanılmıştır. Bu malzemenin erime akış hızı 0,30-0,50 g/10dk'dır. Kullanılan yüksek yoğunluk polietilenin çekme dayanımı 37 MPa, elastisite modülü ise 0,8 GPa'dır.

2.2. Kompozitlerin Üretimi

2.2.1. Plastik tabakaların hazırlanması:

Plastik tabakalar, sıcak preste üretilmiştir. Granül haldeki malzeme 180x180x1 mm boyutlarındaki kalıp içinde eritilip (maksimum 195 C), presin tablaları arasında basınç (10000 kPa) altında tutulmuştur (Şekil 1). Pres tablaları oda sıcaklığına kadar soğuduktan sonra, tabakalar kalıptan çıkarılmıştır.



Şekil 1. Sıcak presleme yöntemi ile üretim

2.2.2. Kompozit levhaların hazırlanması:

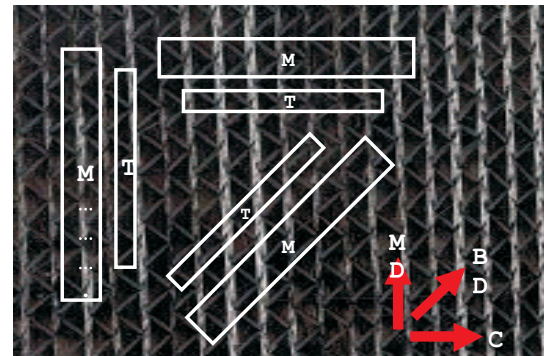
Lif malzeme (180x180 mm), plastik tabakaların arasına konulduktan sonra, sandviç halinde, kalıp (180x180x3 mm) içersine yerleştirilmiştir. Sıcak preste 210C'ye kadar ısıtılan kalıba, bu sıcaklıkta 10000 kPa'lık basınç uygulanmıştır. Matris malzemenin lif malzemeye daha iyi nüfuz etmesini sağlamak için sıcaklık yüksek tutulmuş ve bu sıcaklıkta bir süre beklenmiştir. Daha sonra kalıbın oda sıcaklığına gelinceye kadar soğumaya bırakılmıştır. Üretilen kompozit malzemelerin özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: Farklı Açı Dizilişlerine Sahip Test Numunelerinin Özellikleri

Kumaş türü	V _f (%)	Diziliş	Lif Tabaka Sayısı	Kalınlık (mm)
Tek yönlü aramid kumaş	33,7±1,3	[0] ₁₂	12	7,01±0,04
Tek yönlü karbon kumaş	24,8±0,6	[0] ₁₂	12	5,47±0,02
45/-45 karbon kumaş	41,5±1,6	[45/-45] ₆	12	6,53±0,31
45/-45 aramid kumaş	33,5±1,6	[45/-45] ₆	12	6,13±0,24
0/90 aramid kumaş	32,6±1,2	[0 /90] ₆	12	7,25±0,41
0/90 karbon kumaş	25,6±0,7	[0/90] ₆	12	5,79±0,43
Karbon fitilden dokunmuş kumaş	39,2±1,5		12	3,83±0,01
Aramid fitilden dokunmuş kumaş	38,4±1,4		12	3,53±0,015

2.3. Test numuneleri

Üretilen kompozit levhalardan 0° (MD: Machine Direction), 45° (BD: Bias Direction), 90° (CD: Cross Direction) yönlerinde numuneler kesilmiştir (Şekil 2). Çekme deneyi numunelerinin boyutları 25x165 mm, deneysel modal analiz numunelerinin boyutları ise 25x200 mm'dir.



T: Çekme deneyi numunesi

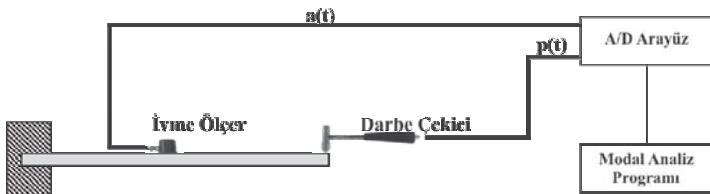
Şekil 2. Tabakadan çıkarılan numuneler

2.4. Çekme Deneyi

Çekme deneyleri ASTM D-3039 standardı esas alınarak, Shimadzu marka AUTOGRAPH AG-IS serisi universal çekme makinasında yapılmıştır. Çekme hızı 1,3 mm/dak olarak alınmıştır. Test anında numunelerdeki birim şekil değiştirme video ekstansometre (SHIMADZU Non-contact Video Extensometer DVE-101/201) ile ölçülmüştür.

2.5. Deneysel Modal Analiz

Modal titreşim testleri, yapı ve numunenin titreşim özelliklerinin ölçülmesinde kullanılır. Tek moddaki numunelerin titreşmesinden doğal frekans ölçümleri efektif modülün ve sönüm değerlerinin hesaplanmasında kullanılır. Ancak, test prosedürleri yavaş ve zahmetlidir ve teknikler küçük laboratuvar numuneleri için uygundur. Bu çalışmada uzun, ince bir kiriş üzerinde çalışılmıştır. Kiriş bir ucundan sabitlenmiş, diğer ucu ise serbest bırakılmıştır. Şekil 3'de modal analiz testinde kullanılan sistem gösterilmiştir. İmpuls kuvvet çekici (086CO3, Çekiç hassasiyeti 2,17 mV/N, PCB Piezotronics, Depew, NY, USA) kullanılarak kiriş üzerinde tek bir noktadan uyarım verilmiştir. Kiriş bu impuls uyarıya cevabını ölçebilmek için tek yönlü piezoelektrik ivmeölçerler (KS 95B-100, Voltaj duyarlılığı 10,11 mV/m/s², ağırlık 3,2 g, Metra Mess-u Frequenztechnik, Radebeul, Germany) kullanılmıştır. Daha sonra A/D arabirim kartından (PD2-MF-16-400/14L, United Electronic Industries, Inc., Canton, USA) kişisel bilgisayarlar MATLAB programı kullanılarak ivme ölçerler ve kuvvet çekiciden alınan sinyaller kaydedilmektedir. Şekil 3'de deneysel ölçüm sistemi de gösterilmiştir. Darbe çekici p(t) girdi sinyali, ivmeölçer a(t) çıktı sinyali verir. Sonra, Bu kaydedilen verilerin Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) analizi yapılarak Frekans Cevabı Fonksiyonları (FRF) hesaplanarak doğal frekans değerleri bulunur.



Şekil 3. Sıcak presleme yöntemi ile üretim

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çekme deneyi sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 3'de verilmiştir.

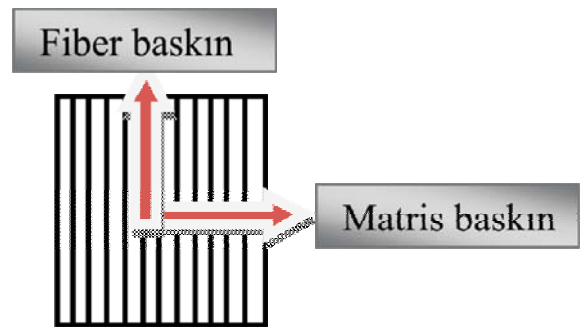
Tablo 3 incelendiğinde; maksimum çekme dayanımlarının, tek yönlü kıvrımsız kumaş takviyeli kompozitlerin MD doğrultusunda çekilmesi sonucu elde edildiği görülmüştür.

Tek yönlü kıvrımsız karbon ve aramid kumaş takviyeli kompozitlerde MD, BD ve CD doğrultularında yapılan çekme deneyi sonucunda; bu kompozitlerin MD doğrultularındaki çekme dayanımları ve elastisite modülleri yüksek, CD doğrultusunda ise düşük çıkmıştır. Bu kompozitlerin MD doğrultusunda lif özellikleri, CD

doğrultusunda ise matris özellikleri baskındır (Şekil 4). Bundan dolayı, lif dayanımının matris dayanımına göre daha büyük olduğu düşünülürse MD doğrultusundaki çekme dayanım değerlerinin yüksek olması beklenen bir sonuçtur. Lifin elastisite modülü ise matris malzemesinden daha büyük olduğundan bu kompozitlerin MD doğrultusundaki elastisite modülü değerleri diğer doğrultulara göre daha büyüktür. Lif malzemesi matris malzemesine göre daha gevrek olduğundan MD doğrultusundaki tek yönlü lif takviyeli kompozitlerin kopmadaki birim uzama değerleri daha yüksektir.

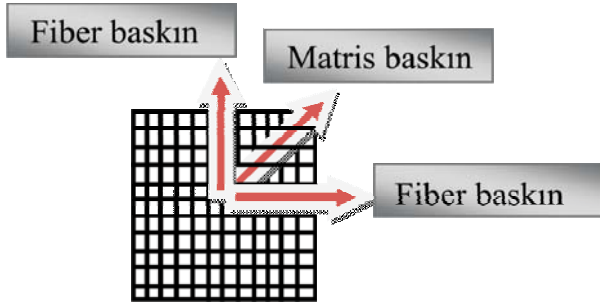
Tablo 3. Kompozit malzemelerin çekme özellikleri.

Kumaş tipi	Test Yönü	Elastisite modülü (GPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma uzaması (%)
Tek yönlü Kıvrımsız Karbon	MD	21,52	820,12	1,67
	BD	17,45	92,65	1,95
	CD	15,23	72,56	2,47
Tek yönlü Kıvrımsız Aramid	MD	14,35	681,21	2,74
	BD	9,57	80,34	2,81
	CD	6,34	64,19	3,02
0/90 Kıvrımsız Karbon	MD	25,78	623,34	1,05
	BD	14,35	101,34	2,45
	CD	23,56	602,54	1,81
0/90 Kıvrımsız Aramid	MD	14,35	459,34	2,74
	BD	9,57	80,34	2,81
	CD	6,34	404,28	3,02
+45/-45 Kıvrımsız Karbon	MD	12,78	123,67	1,36
	BD	21,45	475,25	2,12
	CD	14,81	112,48	1,41
+45/-45 Kıvrımsız Aramid	MD	8,57	97,45	3,12
	BD	16,23	338,45	4,12
	CD	9,45	101,45	3,23
Karbon fitilden dokunmuş kumaş	MD	23,56	607,34	2,35
	BD	14,45	251,59	1,82
	CD	22,34	582,34	2,14
Aramid fitilden dokunmuş kumaş	MD	16,47	503,59	3,72
	BD	9,65	236,81	1,54
	CD	14,52	497,23	3,67



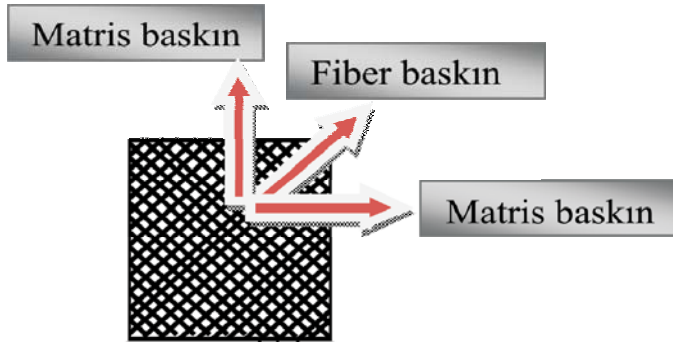
Şekil 4. Tek yönlü kıvrımsız kumaş takviyeli kompozitin şematik şekli

0/90 Kıvrımsız Karbon ve Aramid kumaş takviyeli kompozitlerin çekme deneyi sonuçları incelendiğinde MD ve CD doğrultularında çekme dayanımlarının ve elastisite modülü değerlerinin birbirine yakın ve BD doğrultusuna göre daha büyük olduğu görülmektedir. Bunun durum bu doğrultularda lif matrise göre daha baskın olduğundan kaynaklanmaktadır. BD doğrultusunda, bu kompozitlerde matris özellikleri baskın olduğundan en küçük çekme dayanımı ve elastisite modülü değerleri bu doğrultuda elde edilmiştir (Şekil 5).



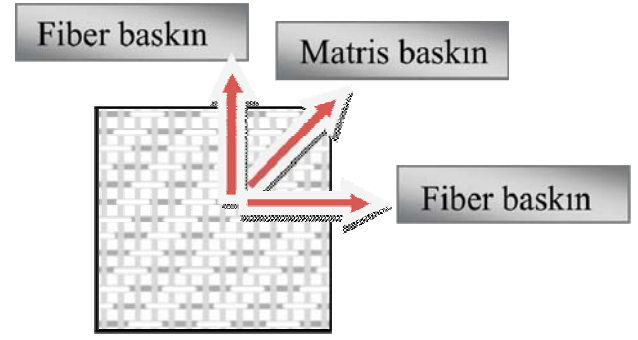
Şekil 5. 0/90 Kıvrımsız kumaş takviyeli kompozitin şematik şekli

Çekme deneyleri sonucunda, +45/-45 Kıvrımsız Karbon ve Aramid kumaş takviyeli kompozitlerin BD doğrultusundaki çekme dayanım değerleri ve elastisite modülü değerleri diğer doğrultulara göre daha büyük bulunmuştur. MD ve CD doğrultularındaki değerler ise birbirine yakın çıkmıştır. Bunun sebebi ise +45/-45 kıvrımsız karbon ve aramid kumaş takviyeli kompozitlerin BD doğrultusunda lif özellikleri baskın, diğer doğrultularda ise matris özellikleri baskındır (Şekil 6).



Şekil 6. +45/-45 Kıvrımsız kumaş takviyeli kompozitin şematik şekli

Karbon ve aramid fitilden dokunmuş kumaş takviyeli kompozitlerin MD ve CD doğrultusundaki çekme dayanımları ve elastisite modül değerleri birbirlerine yakındır. Bunun sebebi ise bu doğrultularında lif özelliklerinin baskın olmasıdır (Şekil 7). BD doğrultusunda ise matris özelliğinin baskın olmasından dolayı çekme dayanımı değerleri ve elastisite modülü değerleri MD ve CD doğrultusuna göre küçük çıkmıştır.



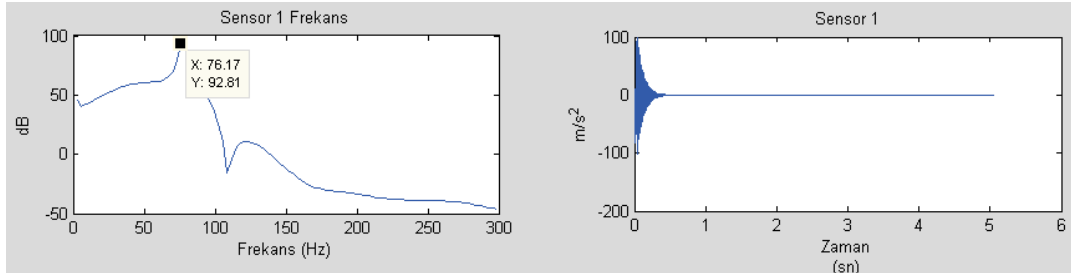
Şekil 7. Fitilden dokunmuş kumaş takviyeli kompozit şematik şekli

Bu sonuçlardan; lif doğrultusuna bağlı olarak kompozit plakaların anizotropik özellik gösterdiği söylenebilir. Kıvrımsız kumaş takviyeli termoset kompozitlerin anizotropik özellikleri üzerine bir çok çalışma olmasına rağmen kıvrımsız kumaş takviyeli termoplastik kompozitlerin özellikleri incelenmemiştir.

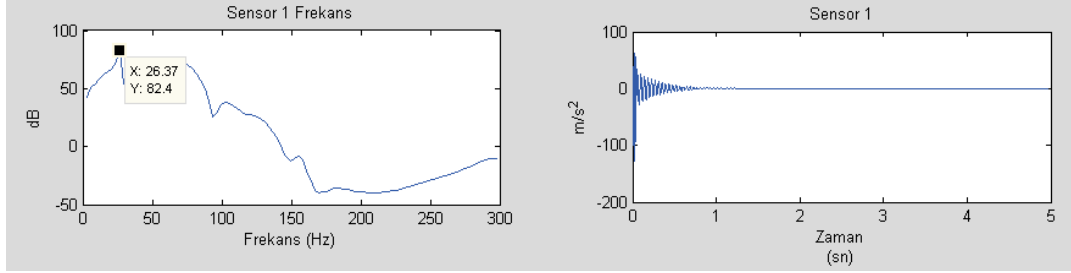
Deneyisel modal analiz sonucunda elde edilen değerler Tablo 4'de verilmiştir. Ayrıca modal analiz testinde elde edilen zaman ve frekans alanındaki cevapların grafikleri Şekil 8, 9, 10 ve 11'de verilmiştir.

Tablo 4: Test Numunelerine Ait Doğal Frekanslar ve Sönüm Zamanları

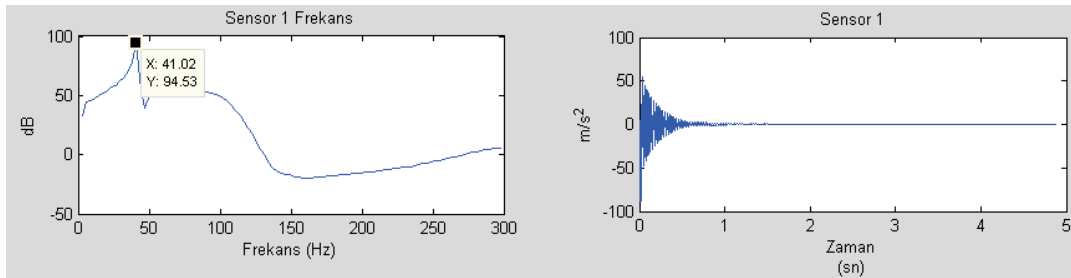
Kumaş Tipi	Test Yönü	Doğal Frekans (Hz)	Sönüm zamanı (s)
Tek yönlü Kıvrımsız Karbon	MD	120,61	0,675
	BD	52,73	0,823
	CD	46,88	0,985
Tek yönlü Kıvrımsız Aramid	MD	84,96	0,624
	BD	26,37	0,522
	CD	29,30	0,734
0/90 Kıvrımsız Karbon	MD	128,90	0,876
	BD	76,17	0,945
	CD	126,09	0,921
0/90 Kıvrımsız Aramid	MD	99,61	0,405
	BD	62,15	0,764
	CD	97,73	0,390
(+45/-45) Kıvrımsız Karbon	MD	84,96	0,279
	BD	99,61	0,229
	CD	114,30	0,231
(+45/-45) Kıvrımsız Aramid	MD	64,65	0,217
	BD	88,57	0,263
	CD	105,53	0,289
Karbon fitilden dokunmuş kumaş	MD	41,02	1,234
	BD	41,02	1,893
	CD	19,30	1,456
Aramid fitilden dokunmuş kumaş	MD	38,12	0,828
	BD	35,72	1,058
	CD	16,42	1,017



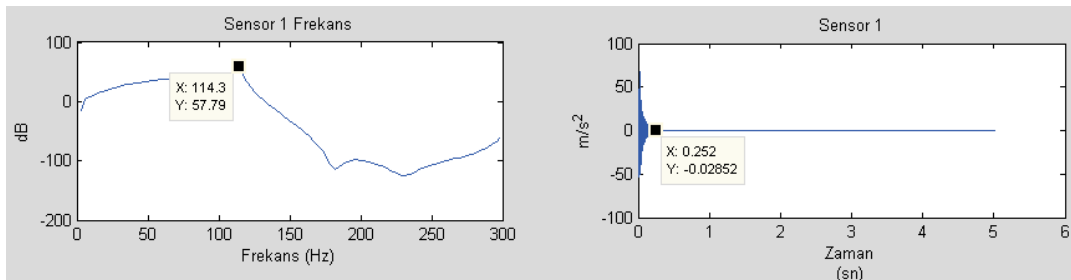
Şekil 8. 0/90 Kıvrımsız Karbon kumaş takviyeli kompozitin CD Doğrultusundaki Frekans ve Zaman Cevapları



Şekil 9. Tek yönlü Kıvrımsız Aramid kumaş takviyeli kompozitin CD Doğrultusundaki Frekans ve Zaman Cevapları



Şekil 10. Karbon fitilden dokunmuş kumaş takviyeli MD Doğrultusundaki Frekans ve Zaman Cevapları



Şekil 11. +45/-45 Kıvrımsız Karbon kumaş takviyeli kompozitin BD Doğrultusundaki Frekans ve Zaman Cevapları

Bir kirişin doğal frekansı (w_n) kirişin direngenliğinin ve kütlesinin bir fonksiyonudur ve aşağıda verilen denklem (1) ile hesaplanır [18].

$$w_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1)$$

Burada, k ve m sırasıyla kirişin direngenliği ve kütlesidir. Kiriş malzemenin elastisite modülünün (E) değişmesi ile numunenin direngenlik değeri de değişmektedir ve

$$k = \lambda^4 \frac{EI}{L^4} \quad (2)$$

formülüyle hesaplanmaktadır [18]. Burada, I kütle atalet

momenti, sınır koşullarına bağlı olarak n 'inci modunun özvektörü ve L ise kirişin uzunluğudur. Denklem (1) ve (2) incelendiğinde elastisite modülünün değişmesi ile doğal frekansın değiştiği görülmektedir.

Tablo 4' incelendiğinde; kıvrımsız aramid kumaş takviyeli kompozitlerin kıvrımsız karbon kumaş takviyeli kompozitlere göre doğal frekanslarının elastisite modülüne bağlı olarak daha düşük olduğu görülmektedir. Aramid lifin elastisite modülü karbon lifine göre daha düşüktür. Bir başka deyişle karbon lifi daha kırılğan bir yapıya sahiptir. Ayrıca, kıvrımsız aramid kumaş takviyeli kompozitlerin impuls girdiyi sönümleme zamanının daha düşük olduğu

görülmektedir. Bu durum, aramid lifinin sönümleme oranının karbon lifine göre daha yüksek olduğundan kaynaklanmaktadır.

Lifin baskın olduğu yönde çıkarılan numunelerde doğal frekans değerlerinin elastisite modülüne bağlı olarak daha yüksek olduğu, matris baskın olduğu yönde ise düşük olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre, kompozit plaklar lif doğrultusuna bağlı olarak anizotropik özellik sergilemektedirler.

4. SONUÇ

Yapılan çalışmada, elde edilen sonuçlara göre Aramid lif takviyeli kompozitlerin karbon lif takviyeli kompozitlere göre doğal frekanslarının ve sönümle zamanlarının daha küçük olduğu görülmektedir. Değişik açı oryantasyonlarına sahip kompozitleride lifin baskın olduğu yönde çıkarılmış numunelerin doğal frekans ve çekme değerleri yüksek, matrisin baskın olduğu doğrultuda çıkarılan numunelerin ise bu değerleri düşüktür. Çıkarılan numune doğrultularına bağlı olarak kompozit plakalar anizotropik davranış göstermektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Ege Üniversitesi BAP-2006-MÜH-034 no.lu bilimsel araştırma projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Yazarlar, Ege Üniversitesi'ne destekleri için teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

1. Wang Y., Li J., Do B.P., (1995), *Properties of composite laminates reinforced with E-glass multi-axial non-crimp fabrics*, Journal of Composite Materials, 29(17), 2317.
2. Drapier S., Wisnom R.M., (1999), *Finite-element investigation of the compressive strength of non-crimp-fabric-based composites*, Composite Science and Technology, 59(8), 1287.
3. Drapier S., Wisnom R.M., (1999), *A finite-element investigation of the interlaminar shear behaviour of non-crimp-fabric-based composites*, Composite Science and Technology, 59(16), 2351.
4. Crookston J.J., Long A.C., Jones I.A., (2002), *A summary review of mechanical properties prediction methods for textile reinforced polymer composites*. In Proceedings of the 10th European Conference on Composite Materials, Brugge, Belgium..
5. Roth Y.C., Himmel N., (2002), *Theoretical model and experimental investigation on the effect of stitching on the in-plane stiffness of CFRP*, In Proceedings of the 10th European Conference on Composite Materials, Brugge, Belgium.
6. Sjogren A., Edgren F., Aps L.E., (2004), *Effects of stitching pattern on the mechanical properties of non-crimp fabric composites*, In Proceedings of the 11th European Conference on Composite Materials (ECCM 11), Rhodos, Greece.
7. Mikael J., Peter G., (2000), *Broad-band transient recording and characterization of acoustic emission events in composite laminates*, Composite Science and Technology, 60, 2803.
8. Huang Y., Young R.J., (1995), *Effect of fibre microstructure upon the modulus of PAN- and pitch-based carbon fibres*, Carbon, 33(2): 97.
9. Bibo G.A., Hogg P.J., Kemp M., (1997), *Mechanical characterisation of glass and carbon fibre reinforced composites made with non-crimp fabrics*, Composite Science and Technology, 57, 1221.

10. Truong T.C., Vettori M., Lomov S., Verpoest I., (2005), *Carbon composites based on multi-axial multi-ply stitched preforms. Part 4. Mechanical properties of composites and damage observation*, Composite Part A-Appl. S., 36(9), 1207.
11. Karger-Kocsis J., (1998), *Towards assessment of reliable mechanical properties for knitted fabric-reinforced thermoplastic composites*, Advanced Composites Letters, 7(2), 39.
12. Cuong N.K., Maekawa Z., (1998), *Fabrication of aramid fiber knitted fabric reinforced polypropylene composites*, Advanced Composite Letters, 7(3), 75.
13. Ramakrishna S., Hamada H., Rydin R., Chou T.W., (1995), *Impact damage resistance of knitted glass-fiber fabric reinforced polypropylene composites*, Science and Engineering of Composite Materials, 1995; 4(2): 61.
14. Meyer B.C., Katsiropoulos Ch.V., Pantelakis Sp.G., (2009), *Hot forming behavior of non-crimp fabric Peek/C thermoplastic composites*, Composite Structures, 90(2), 225.
15. Tanaka K., Yamada M., Shinora M., Katayama T., (2010), *Effects of Stitching parameters of non-crimp fabrics on the mechanical properties of CFRTP*, 9th International Conference on Fracture and Damage Mechanics, Japan, 452-453, 301.
16. Hufenbach W., Böhm R., Thieme M., Winkler A., Mäder E., Rausch J., Schade M., (2011), *Polypropylene/glass fibre 3D-textile reinforced composites for automotive applications*, Materials & Design, 32(3), 1468.
17. Spiros P., Christos K., Bernd M., (2011), *A study on the potential of NCF thermoplastic composites for use in aeronautic structural applications*, Journal of Polymer Engineering, 31(2-3), 159.
18. Erden S., Sever K., Seki Y., Sarikanat M., (2010), *Enhancement of the mechanical properties of glass/polyester composites via matrix modification glass/polyester Composite*, 11(5), 732.