



KEVLAR VE S-CAMI İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ HİBRİT KOMPOZİTLERİN TİTREŞİM ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Mehmet Bulut¹, Ahmet Erklığ² ve Eyüp Yeter³

^{1,2}Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Gaziantep

³Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü,
Bitlis

ABSTRACT

In this study, it is aimed to investigate the vibration characteristics of hybrid and non-hybrid composite laminates reinforced with Kevlar and S-glass fibers. For this purpose, different ratios of Kevlar/S-glass-epoxy hybrid and non-hybrid composite laminates were prepared, their vibration responses were identified and results were compared with each other. In addition, finite element method using ANSYS software, the effects of fiber orientation angle on natural frequency of the composite laminates were investigated. The results showed that the hybridization of Kevlar with S-glass fiber was highly effected the vibration behavior of composite laminates.

ÖZET

Bu çalışma, elastik özellikleri farklı olan S-cam ve Kevlar fiberleri ile güçlendirilmiş hibrit ve hibrit olmayan kompozit tabakaların titreşim özelliklerinin belirlenmesini amaçlamaktadır. Farklı oranlarda S-cam elyafı ve Kevlar fiberinin birleşimi ile hibrit kompozitler hazırlanmış ve titreşim özellikleri ful cam elyaf/epoksi ve ful Kevlar/epoksi olan kompozitler ile kıyaslanmıştır. Ayrıca sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak fiber yönelmesinin doğal frekansa olan etkisi araştırılmıştır. Sonuçlar Kevlar ve S-cam fiber hibridizasyonunun kompozit plakaların titreşim özelliklerini önemli derecede etkilediğini göstermiştir.

GİRİŞ

Kompozit malzemelerin hafif ve yüksek mukavemet, yüksek yorulma kabiliyetleri ve iyi derecede dinamik ve korozyon dayanımı gibi özellikleri yapı ve mühendislik uygulamaları için vazgeçilmez bir malzeme haline gelmiştir. Bu malzemelerin mekanik ve titreşim özelliklerinin bilinmesi ve optimizasyonu oldukça önem taşımaktadır [1-6]. Bu konu ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Botelho ve arkadaşları [7] karbon fiber/epoksi, cam fiber/epoksi ve bunların karışımlarının Alüminyum plakalar ile birleştirmek sureti ile hibrit kompozitler hazırlanmış ve dinamik özellikleri belirlenmiştir. Hong ve arkadaşları [8] farklı fiber dizilimi ve açı yönelmesine sahip olan kompozit tabakaların titreşim ve sönüm özelliklerini incelemiştir. Sönümlenme özelliklerini belirlemek için karma tabanlı nümerik hesaplamalar yapılmıştır. Sonuçlar malzemenin elastik katsayısının ve fiber yönelmesinin kompozitlerin dinamik özelliklerini önemli derecede etkilediğini göstermiştir. Nasser [9] fiber

ile güçlendirilmiş kompozitlerin ankastre sınır şartlarındaki çubukların aktif titreşim ve sönümlenme özelliklerini incelemiştir. Ayrıca yapay zeka yöntemlerini kullanarak, üretilen ve deneysel şartlarda testleri yapılan kompozit malzemelerin dinamik özelliklerini belirlenmiştir. Berthelot ve Sefrani [10] tek yönlü kevlar ve cam elyafı ile güçlendirilmiş kompozitlerin sönümlenme ve titreşim özelliklerini araştırmışlardır. Dinamik modal analiz yöntemi kullanılarak malzemelerin sönümlenme özellikleri ankastre sınır koşulları altında deneysel olarak belirlenmiştir. Sonuçlar irdelendiğinde, kompozitlerin enerji emme ve yayma kapasitelerinin sönümlenme ve titreşim özelliklerini önemli derecede etkilediği görülmüştür. Nayak ve arkadaşları [11] karbon/epoksi ve cam/epoksi kompozitlerin burkulma ve titreşim özelliklerini araştırmış ve sonuçları deneysel ve nümerik olarak ortaya koymuştur. Nümerik çalışmalarda ANSYS paket programı kullanılmış olup sonuçları deneysel sonuçlar ile oldukça yakın elde etmişlerdir. Lavanya ve arkadaşları [12] cam fiber ile güçlendirilmiş kompozitler ile viskoelastik malzemeleri birleştirmiş ve dinamik davranışlarını incelemişler. Yapılan analizler sonucunda, malzeme içlerine yerleştirilen viskoelastik katmanlar ve fiber yönelme açılarının titreşim ve sönümlenme üzerinde etkisinin fazla olduğu ortaya konulmuştur.

Bu çalışmada, Kevlar ve cam elyafı ile güçlendirilmiş hibrit kompozit plakaların ankastre sınır şartlarında dinamik modal analiz yöntemi kullanılarak titreşim özelliklerinin araştırılması hedeflenmiştir. Bu nedenle ful cam elyafı ile güçlendirilmiş tabaka içerisindeki Kevlar fiber miktarı kademeli olarak artırılırken, cam elyaf miktarı ise aynı oranda azaltılmıştır. Hibridizasyon işlemi ile ful S-cam/epoksi kompozitten ful Kevlar/epoksi kompozite kadar malzemelerin titreşim özelliklerinin ne kadar ve hangi oranlarda değiştiği ortaya konulacaktır.

MATERYAL VE METOTLAR

Kompozit plakalar 10 katman ve $(0^0/90^0)$ fiber yönelimlerine sahip olarak üretilmiştir. Kompozit plakaların üretiminde 173 g/m^2 dimi dokunmuş Kevlar fiber ile 200 g/m^2 düz dokunmuş S-cam fiber kullanılmıştır. 100:40 sertleştirici oranında epoksi reçine kullanılmış ve fiberlerin üzerine el ile sürülerek preste içerisinde 0.2 MPa basınç altında, 80°C sıcaklıkta ve 1 saat kürlendikten sonra oda sıcaklığına ulaşınca kadar bekletilmiştir. Üretilen kompozit plakaların mekanik özellikleri Shimadzu AG-X çekme makinesi kullanılarak belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 1 de verilmiştir. Hibrit kompozit plakaların fiber dizilimleri ve çekme testi sonuçları Çizelge 2 de gösterildiği gibidir.

Çizelge 1. Kompozit plakaların malzeme özellikleri

Fiber Tipi	$E_1 = E_2$ (MPa)	$E_3 = 0,6 E_1$ (MPa)	$G_{12} = G_{13} = G_{23}$ (MPa)	ν_{12}	$\rho \text{ (kg/m}^3\text{)}$
S-Cam elyafı/epoksi	19.6	11.7	3.8	0.14	1710
Kevlar/epoksi	26.5	15.9	2.5	0.09	1250

Çizelge 2. Üretilen kompozitlerin dizilimleri ve çekme testi sonuçları

İsmlendirme	Fiber dizilimleri	kod	Tabaka oranı	Fiber hacim oranı (Cam elyaf/Kevlar)	Maksimum çekme mukavemeti (MPa)	Maksimum Uzama (%)
G ₁₀	●●●●●●●●●●	GFRP	10/0	100/0	441.45	3.60
G ₈ K ₂	●●●●●●●●○○	H1	8/2	70.5	455.99	3.63
G ₆ K ₄	●●●●●●○○○○	H2	6/4	47.3	467.04	4.00
G ₄ K ₆	●●●●○○○○○○	H3	4/6	28.5	531.85	4.83
G ₂ K ₈	●●○○○○○○○○	H4	2/8	13	547.88	4.95
K ₁₀	○○○○○○○○○○	KFRP	0/10	0/100	560.98	5.09

● Cam elyaf ○ Kevlar elyaf

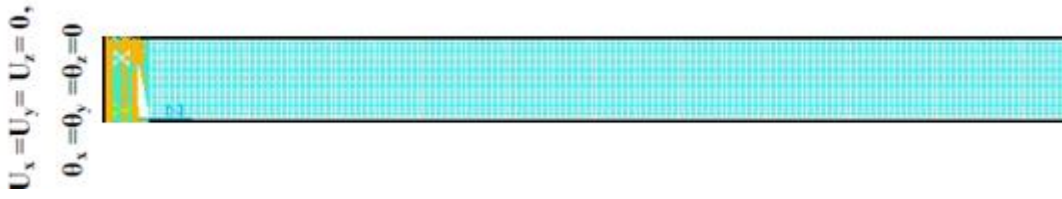
Titreşim özelliklerini belirlemek amacı ile Şekil 1 de gösterilen dinamik modal test düzeneği kullanılmıştır. Plakaya dışarıdan çekiç yardımı ile bir kuvvet uygulanmakta ve buna karşı gelen titreşim bir ivme metre ile ölçülmektedir. Dataları toplamak amacı ile NI 9234 data toplayıcı ve NI Signal Express yazılımı kullanılmıştır. Bu yöntem ile hibrit ve hibrit olmayan bütün numunelerin titreşim özellikleri elde edilmiştir.



Şekil 1. Modal analiz test düzeneği. (a) Düzeneğin genel görünümü, (b) Test numuneleri

Fiber yönlenme açısı kompozitlerin doğal frekansına etkisi bulunmaktadır. Bu nedenle (0/90), (15/-75), (30/-60), (45/-45) fiber yönlenme açılarında kompozit plakaların doğal frekans değişimleri sonlu elemanlarla incelenmiştir. Fiber açısı yönelmesinin doğal frekansa etkisini incelemek için ANSYS yazılımı kullanılmıştır. Nümerik çalışmalarda kullanılan eleman tipi SHELL 99 [13] olup, bu eleman modeli x-, y-, z- de öteleme ve dönme hareketine sahip 6 tane serbestlik derecesine sahiptir. Kullanılan eleman sayısı 3000 tane olup oluşturulan model Şekil 2 te gösterilmiştir. İlk iki doğal frekans modu Block-Lanczos metodu ile elde edilmiştir.

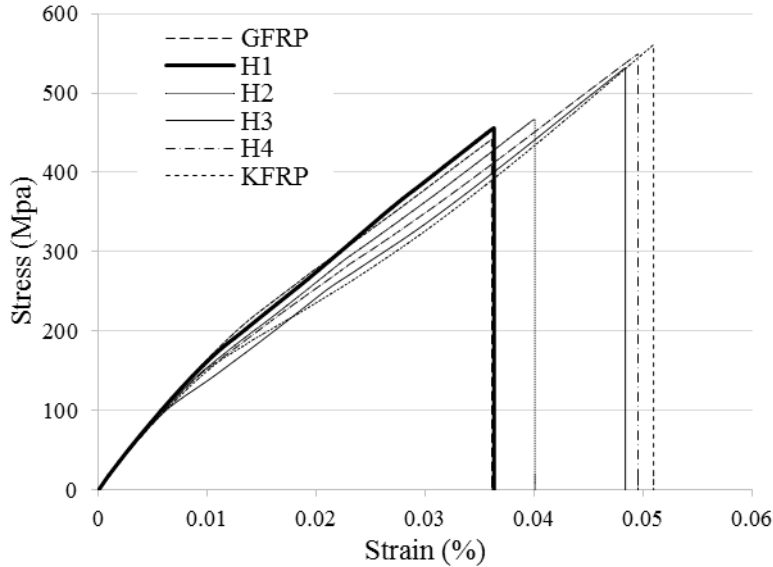
Deneyssel ve nümerik sonuçlar (Çizelge 3) birbirlerine kabul edilebilir seviyede yakın olmakla birlikte, sonlu elemanlar modelinin kompozit analizinde kullanılabileceğini göstermektedir.



Şekil 2. Sonlu elemanlar modeli

SAYISAL SONUÇLAR

Üretilen tabakalı hibrit kompozitlerin çekme mukavemetleri ASTM 6264M standartlarına uygun olarak, 2mm/dak hızında ölçülerek elde edilmiştir. Çekme testi gerilme-gerinim grafikleri Şekil 3 te gösterildiği gibi olup en düşük çekme mukavemeti cam/epoksi plakada, en yüksek ise Kevlar/epoksi plakada gerçekleşmiştir. Hibrit plakaların ise çekme mukavemetleri Kevlar katmanları arttırıldıkça tam Kevlar/epoksi kompozit plaka değerine doğru artış göstermektedir.

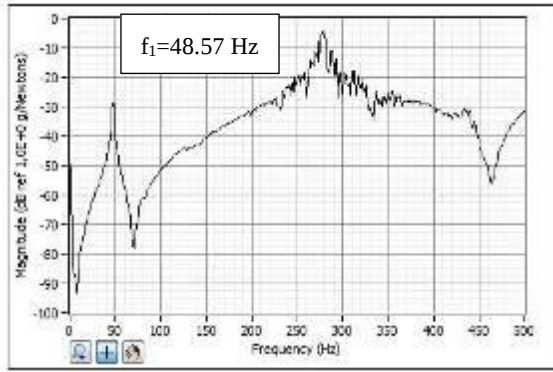


Şekil 3. Gerilme- gerinim değişimleri

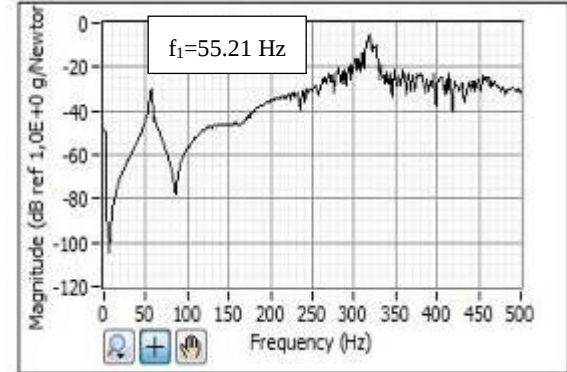
Üretilen malzemelerin doğal frekans ve titreşim özellikleri Şekil 4 te verilmiştir. Kevlar/epoksi plakanın doğal frekansı S-cam/epoksi plakadan fazla olup, doğal frekans değerleri ful S-cam elyaf/epoksiden ful Kevlar/epoksiye kadar eklenen Kevlar fiber tabaka fonksiyonu olarak artmaktadır. Bunun nedeni, Kevlar fiberin cam elyaf fibere göre daha tok ve elastisitesinin daha yüksek bir malzeme olmasıdır.

Çizelge 3'te sonlu elemanlar ile deneyssel sonuçların karşılaştırması bulunmaktadır. Deneyssel ve sonlu elemanlardan elde edilen sonuçlar birbirlerine oldukça yakın elde edilmiştir. Ayrıca fiber yönlenme açısının etkisi ANSYS sonlu elemanlar paket programı ile incelenmiş ve sonuçlar Şekil 5'da verilmiştir. Doğal frekansın fiber yönlenme açısına bağlı olarak değişmektedir ve (0/90) fiber yönelmesinde en yüksek değer elde edilmiştir. Mod 1 ve Mod 2 doğal frekansları eğilme karakteristiğinde olduğundan dolayı (0/90) fiber yönlenmesinde en yüksek doğal frekans değeri elde edilmiştir. Fiber yönlenme açısı arttıkça doğal frekans azalmaktadır. Mod 1'deki doğal frekans değerlerine göre hibrit tabakalar arasındaki fark, aç

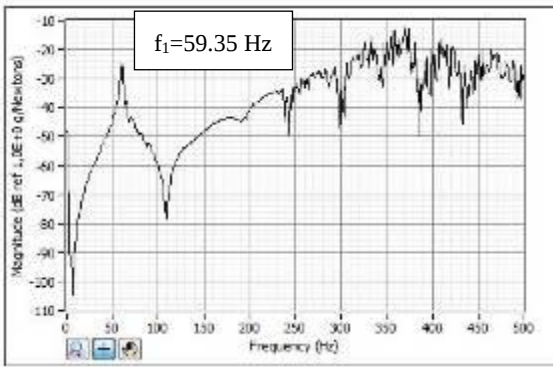
değişimine göre neredeyse sabit kalmakta ancak Mod 2’de hibrit plakalar arasındaki fark fiber yönelme açısı artışı ile birlikte azalmaktadır.



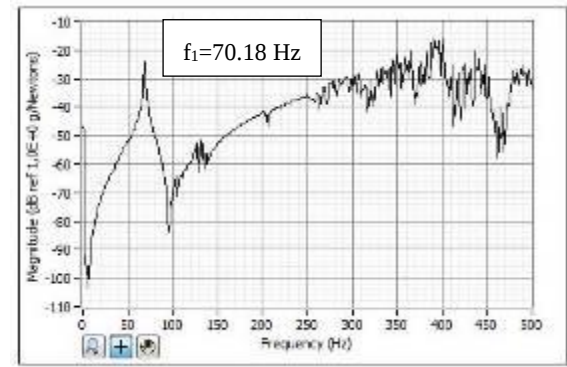
(a)



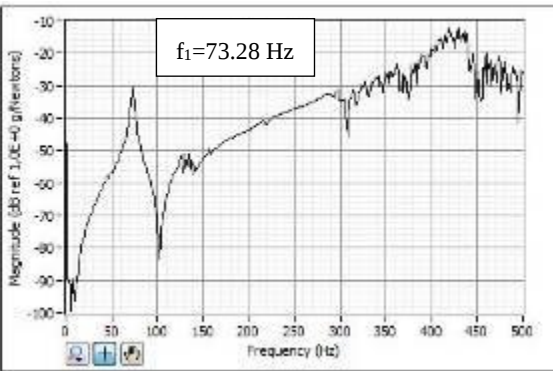
(b)



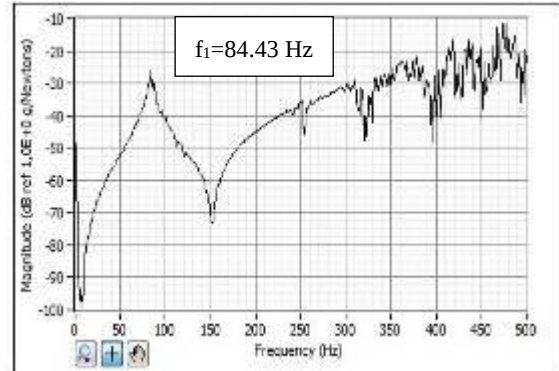
(c)



(d)



(e)

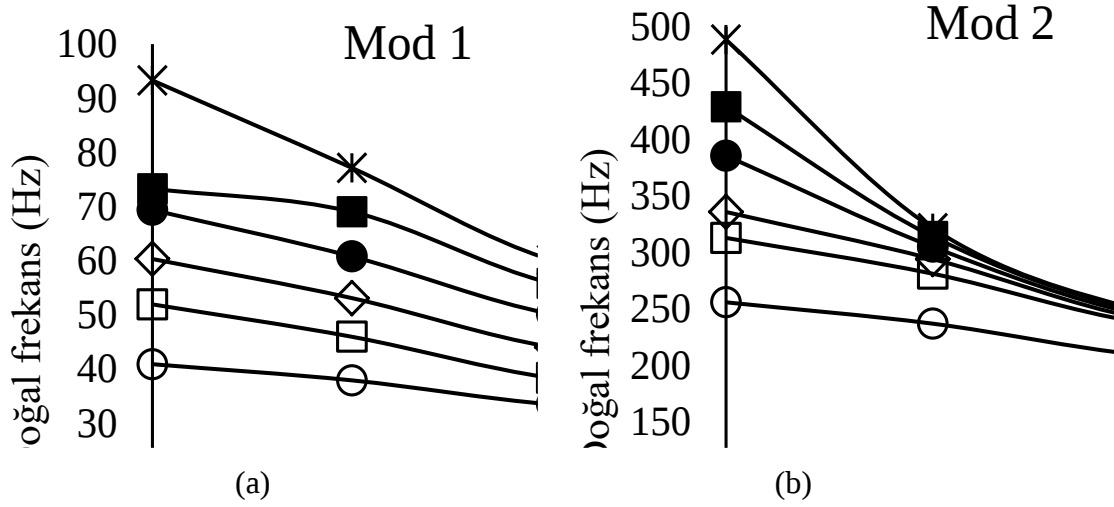


(f)

Şekil 4. Titreşim testi sonuçları (a) GFRP, (b) H1, (c) H2, (d) H3, (e) H4, (f) KFRP

Çizelge 3. DeneySEL ve nümerik doğal frekans değerlerinin kıyaslanması

	(0/90) ₁₀			
	Mode 1 (Hz)		Mode 2 (Hz)	
	Exp.	ANSYS	Exp.	ANSYS
GRFP	48.57	45.89	263.02	256.06
H1	55.21	51.94	319.25	313.08
H2	59.35	60.32	331.29	336.02
H3	70.18	69.38	390.52	385.87
H4	73.28	78.29	420.68	429.25
KFRP	84.33	93.30	480.52	488.53



Şekil 5. Doğal frekansın fiber yönelmesine göre değişimi

SONUÇLAR

Kevlar ve S-cam ve epoksi ile güçlendirilmiş tabakalı hibrit kompozitlerin titreşim özellikleri belirlenmiş ve hibridizasyonun doğal frekansa olan etkisi ele alınmıştır. Ayrıca fiber yönelme açısının doğal frekansa olan etkileri sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmiştir. Genel olarak bu çalışmadan çıkarılabilecek sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Kevlar elyaf S-cam elyafı ile hibridizasyonu malzemenin çekme mukavemetini artırmaktadır ve bu artış ful Kevlar/epoksi kompozite kadar eklenen Kevlar elyaf tabakaların fonksiyonu olarak değişmektedir,
- Hibrit plakalarda H4 (G₂K₈) hibrit plaka maksimum çekme mukavemetine sahiptir. H4 (G₂K₈) hibrit plaka ful cam/epoksi plakadan %124 daha yüksek, ful Kevlar/epoksi plakadan ise % 2.3 daha düşük çekme mukavemeti elde edilmiştir,
- Cam elyaf katman yerine Kevlar elyaf katman eklenmesi doğal frekansta pozitif hibrit etkisine neden olmakta olup doğal frekans dizilimi: KFRP > H1 > H2 > H3 > H4 > GFRP.
- Fiber açısı arttıkça doğal frekans düşmektedir. Ayrıca Mod1 ve Mod 2 frekanslarında (0/90) fiber yönelmesinde doğal frekans en büyük olmaktadır,
- Sonuç olarak, elastik özelliği yüksek ve pahalı bir malzeme olan Kevlar elyaf ile yine yüksek mukavemetli ve ucuz bir malzeme olan S-cam elyafı kompozit kullanarak istenilen özellikte yeni bir malzeme oluşturmak ve kullanmak mümkündür.

KAYNAKLAR

- [1] Isa MT, Ahmed AS, Aderemi BO, Taib RM, Mohammed-Dabo I. Effect of fiber type and combinations on the mechanical, physical and thermal stability properties of polyester hybrid composites. *Composites: Part B* 52 (2013) 217–223,
- [2] Dong C, Ranaweera-Jayawardena H, Davies I. Flexural properties of hybrid composites reinforced by S-2 glass and T700S carbon fibres. *Composites: Part B* 43 (2012) 573–581,
- [3] Zhang Y, Li Y, Tao Yu HM. Tensile and interfacial properties of unidirectional flax/glass fiber reinforced hybrid composites. *Composites Science and Technology* 88 (2013) 172–177,
- [4] Reis PNB, Ferreira JAM, Zhang ZY, Benameur T, Richardson MOW. Impact response of Kevlar composites with nanoclay enhanced epoxy matrix. *Composites: Part B* 46 (2013) 7–14,
- [5] Yahaya R, Sapuan SM, Jawaid M, Leman Z, Zainudin ES. Mechanical performance of woven kenaf-Kevlar hybrid composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 2014, Vol. 33(24) 2242–2254,
- [6] Singh S, Kumar P, Jain SK. An experimental and numerical investigation of mechanical properties of glass fiber reinforced epoxy composites. *Adv. Mat. Lett.* 4(7) (2013) 567-572,
- [7] EC Botelho, AN Campo, E Barros, LC Pardini and MC Rezend. Damping behavior of continuous fiber/metal composite materials by the free vibration method. *Composites: Part B* 37 (2006) 255-263.
- [8] Y Hong, XD He and RG Wang. Vibration and damping analysis of a composite blade. *Materials and Design* 34 (2012) 98-105.
- [9] H Nasser, E Kiefer-Kamal, H Hu, S Belouettar, E Barkanov. Active vibration damping of composite structures using a nonlinear fuzzy controller. *Composite Structures* 94 (2012) 1385-1390.
- [10] Berthelot JM, Sefrani Y. Damping analysis of unidirectional glass and Kevlar fibre composites. *Composites Science and Technology* 64 (2004) 1261–1278,

- [11]Nayak N, Meher S, Sahu SK. Experimental and Numerical Study on Vibration and Buckling Characteristics of Glass-Carbon/Epoxy Hybrid Composite Plates. Proc. of Int. Conf. on Advances in Civil Engineering, AETACE, 2013,
- [12]Lavanya K, Krishna PV, Sarcar M, Sankar HR. Analysis of the damping characteristics of glass fibre reinforced composite with different orientations and viscoelastic layers. International Journal of Conceptions on Mechanical and Civil Engineering 1(1) (2013) 88-92,
- [13]ANSYS Procedures. Engineering analysis system verification manual, vol. 1. Houston (P.A., USA): Swanson Analysis System 1993, Inc.