

ONARILMIŞ POLİMER KOMPOZİT PLAKLARIN NÜMERİK ANALİZİ

NUMERICAL ANALYSIS OF REPAIRED POLYMER COMPOSITE PLATES

Cesim Ataş*, Olgay Dağdelen

*Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği
Bölümü, 35100, Bornova, İzmir*

cesim.atas@deu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, onarılmış numunelerin LUSAS sonlu elemanlar programı ile nasıl modellendiği kısaca açıklanmış ve yapılan analizlere örnekler verilmiştir. Amaç onarım parametrelerinin katkısını ortaya koymak olduğu için burada ağırlıklı olarak çekme yüklerine maruz numuneler için sonuçlar verilmiştir. Nümerik analiz sonuçları deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Polimer kompozit, onarım, nümerik analiz, optimizasyon

ABSTRACT

There has been a growing interest, particularly during the last few decades, in the use of fiber reinforced polymer matrix composites in structural applications ranging from aircraft and space structures to marine and automotive industries. This is because fiber reinforced polymer composites have numerous advantages over conventional materials, including lightweight, high strength-to-weight ratio, durability and ease of repair. "Ease of repair" is always referred to as one of the most significant feature of damaged composite structures in literature. Many damages may occur in composite structures during either manufacturing or service life in parallel with their growing usage. The effective repair of these damages has become an important research topic. In this work, modeling a repaired sample in LUSAS, finite element software, is presented along with some analysis results. The effect of the repair parameters such as length of step, number of step and stacking sequence on the mechanical performance of the samples is examined. Stress analysis of the

prepared finite element models are carried out. The results obtained are provided along with discussions. Tensile loading is only considered in the analyses. Numerical analysis results are compared with those of experiments.

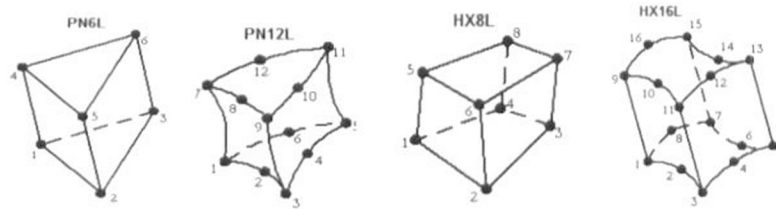
Keywords: Polymer composite, repair, numerical analysis, optimization

1. Giriş

Fiber takviyeli ve polimer matrisli kompozitlerin havacılık ve uzay araçlarından, deniz ve otomotiv endüstrisine kadar değişen pek çok sahada kullanımına, özellikle son dönemlerde, artan bir ilgi vardır. Bunun nedeni; fiber takviyeli polimer kompozitlerin klasik malzemelere oranla sahip oldukları hafiflik, yüksek “dayanım/ağırlık” oranı, dayanıklı ve kolay onarılabilmek gibi avantajlardır. “Kolay onarılabilmek” literatürde her zaman hasarlı kompozit yapıların en önemli özelliklerinden (avantajlarından) birisi olarak belirtilmektedir. Kullanım alanlarının artması ile birlikte gerek kompozit yapıların üretimi sırasında gerekse kullanımları sırasında hasarlar meydana gelmektedir. Bu hasarların verimli bir şekilde onarımı önemli bir çalışma konusu haline gelmiştir. Bu bağlamda, onarım yöntemleri ve onarılmış kompozitlerin performansları üzerine literatürde sunulmuş pek çok analitik, nümerik ve deneysel çalışma mevcuttur [1-9]. Bu çalışmada, onarılmış numunelerin LUSAS sonlu elemanlar programı ile nasıl modellendiği kısaca açıklanmış ve yapılan analizlere örnekler verilmiştir. Sonuçlar deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır.

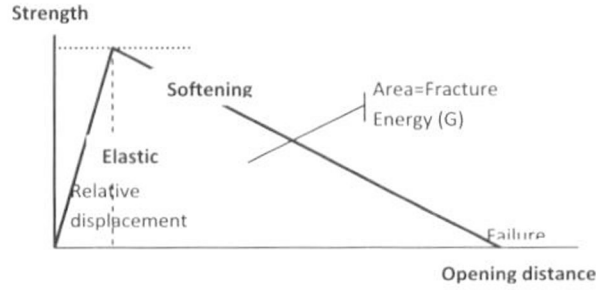
2. LUSAS ile Modelleme

LUSAS'ta oluşturulan modellerde kompozit kısımların hasar analizi için “Hashin Kriteri” seçilmiştir. Hashin kriterinde matris, fiber ve matris+fiber kırılmaları kontrol edilebilmektedir. Bu amaçla kullanılabilen eleman tipleri Şekil 1’de verilmiştir.



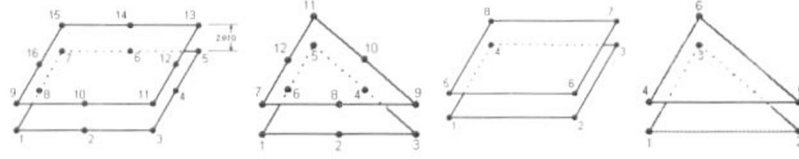
Şekil 1 LUSAS ile kompozit malzeme modellemede kullanılabilen 3-D elemanlar

LUSAS ile yapılan modellemede çözülmesi gereken en önemli problem ise onarımdaki yapışma ara yüzeyinin oluşturulması ve tanımlanması olmuştur. Bu amaçla, programdaki arayüzey (interface) elemanlar kullanılmıştır. Ara yüzey elemanları, tabakalar arasında, delaminasyon potansiyeli olan yüzeylerde tabakalar arası hasar, çatlak büyümesi ve ilerlemesi durumlarında kullanılabilir. Bunun için yapışma arayüzeylerini modellemek için kullanılan "interface" eleman özellikleri (kırılma enerjileri gibi) deneysel olarak tespit edilmiştir, Şekil 2. Karşılıklı olarak yapışmanın söz konusu olduğu tüm ara yüzeylerde; lineer veya ikinci dereceden (kuadratik) interpolasyon derecesine sahip kare veya üçgen ara-yüzey elemanları, Şekil 3, kullanılabilir. Şekil 4'te bir modelde yapışma ara yüzeyleri için "interface" eleman tanımlaması gösterilmiştir. Bu tanımdan sonra ana parça ve yama hacimleri birleştirilerek analize hazır hale getirilmektedir.

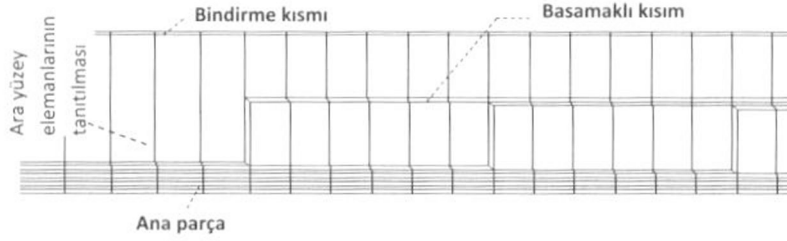


Şekil 2 LUSAS ile çözümde arayüzey elemanlarının özellikleri

Sınır koşulları tanımlanırken, numunenin bir tarafı sabit tutulmuş bir tarafına ise birim alana gelen düzgün yayılı yük (N/mm^2) uygulanmıştır. Böylece; bir anlamda numunenin bir ucuna gerilme şeklinde adım adım yük artışı (incremental) yapılarak analizler yapılmıştır. Bu da, çözümlerde belli bir eksenel gerilme artışına karşılık onarım (yama) bölgesindeki gerilme dağılımını ve değerlerini doğrudan görme ve yorumlama imkânı sunmuştur.



Şekil 3 LUSAS ile yapışma ara yüzeyi modellemede kullanılabilen "interface" elemanlar



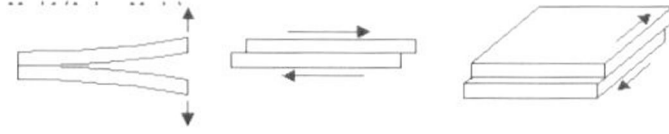
Şekil 4 Modelde yapışma ara yüzeyleri için "interface" eleman oluşturma

Modellerde numunelerin her iki ucundan (belli bir mesafede) z-doğrultusunda da deplasman sınır şartları konmuş ve gerçek bir çekme deneyine en yakın sınır şartları sağlanmaya çalışılmıştır, Şekil 5.



Şekil 5 Modellemede kullanılan sınır şartları

Bu çalışmada üç boyutlu olarak oluşturulan modeller için üç tip kırılma modu (açılma, kayma ve yırtılma) aynı anda tanımlanmıştır, Şekil 6. Modellerde kullanılan malzeme özellikleri ASTM standartlarına göre deneysel olarak tespit edilmiştir, Tablo 1.



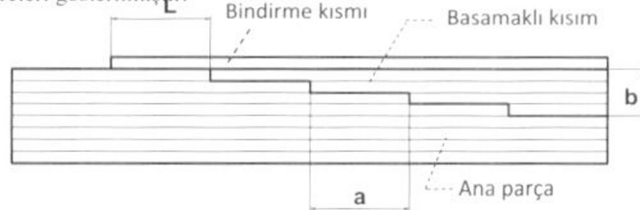
Şekil 6 Kırılma modları

Tablo 1 Nümerik analizde kullanılan malzeme özellikleri

Malzeme Özellikleri	Değer
Fiber doğrultusundaki elastisite modülü, E_1 (GPa)	27.4
Fibere dik doğrultudaki elastisite modülü, E_2 (GPa)	11.2
Kayma Modülü, G_{12} (GPa)	2.3
Poisson oranı, ν_{12}	0.22
Fiber doğrultusundaki mukavemet değeri (çekir), X_t (MPa)	483
Fiber doğrultusundaki mukavemet değeri (bası), X_c (MPa)	350
Fibere dik doğrultudaki mukavemet değeri (çekir), Y_t (MPa)	123
Fibere dik doğrultudaki mukavemet değeri (bası), Y_c (MPa)	207
Kayma Mukavemeti, S (MPa)	63
Kırılma Enerjisi, G_{IC} (kJ/m ²)	4.92
Kırılma Enerjisi, G_{IIC} (kJ/m ²)	9.41

3. Optimizasyon için Onarım Parametreleri

Kompozit yapılarda onarım metot ve parametrelerinin geliştirilmesiyle; onarım optimizasyonu konusu önem kazanmıştır. Onarım optimizasyonu; malzeme seçimi, geometri, üretim metotları gibi konular için belirli amaç fonksiyonlarına göre belirlenen değişkenlerle yapılır. Bu çalışmada daha çok basamak uzunluğu, basamak sayısı, bindirme uzunluğu ve tabaka dizilişi gibi değişkenler kullanılarak LUSAS 14.3 sonlu eleman programı ile nümerik analizler yapılmıştır. Şekil 7’de bu çalışmada kullanılan modellerden bir tanesi şematize edilerek optimizasyondaki onarım parametreleri gösterilmiştir.



Şekil 7 Dört basamaklı yama ve bindirme kısmından oluşan onarım modeli

a: basamak uzunluğu, L: bindirme uzunluğu, b: yama derinliği

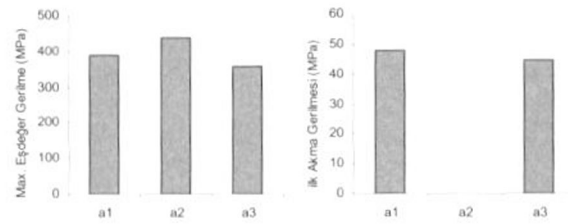
Efektif onarım geometrisinin tespiti için, burada yama derinliği sabit tutularak, analizler dört farklı parametrenin değiştirilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Bu parametreler şöyledir:

- **Basamak uzunluğu (a) optimizasyonu:** Bindirme uzunluk farkı (L) sabit alınarak, basamak uzunluğunun a=10, 15 ve 20 mm değerleri için analizler yapılmıştır.
- **Bindirme uzunluğu (L) optimizasyonu:** Basamak uzunluğu (a) sabit alınarak bindirme uzunluk farkının $L=a-5$, $L=a$ ve $L=a+5$ mm değerleri için analizler yapılmıştır.
- **Tabaka diziliminin (D) optimizasyonu:** Burada yama bölgesinde 3 farklı tabaka dizilişi göz önüne alınarak analizler yapılmıştır: $[0]_8$, $[90]_8$, $[0/90/+45/-45]_8$.
- **Basamak sayısı (N) optimizasyonu:** Basamak sayıları 1, 2 ve 4 olacak şekilde analizler yapılmıştır. Aşağıda yapılan bu analizlere örnekler verilmiştir.

4. Analiz Sonuçları ve Değerlendirmeler

4.1. Basamak Uzunluğunun (a) Etkisi

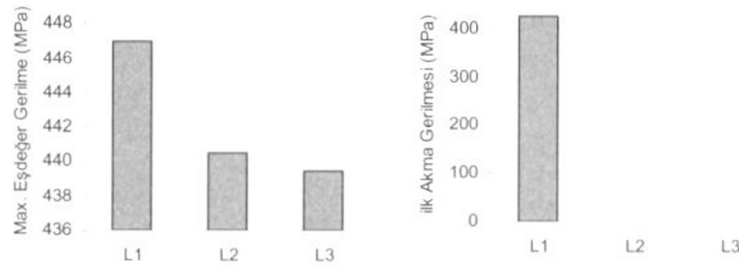
Burada, dört basamaklı bir yama için $[0]_8$ tabaka dizilişine sahip (D1) modeller göz önüne alınarak ve üç farklı uzunluk seçilerek basamak uzunluğu ($a_1=10$ mm, $a_2=15$ mm, $a_3=20$ mm,) etkisi incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, belirlenen basamak uzunlukları arasında $a=15$ mm (a_2)'nin en uygun seçenek olduğu görülmüştür. Farklı "a" değerleri için eşdeğer gerilme ve ilk akma gerilme başlatan gerilme değerleri Şekil 8'de verilmiştir. Görüldüğü gibi gerilme değeri daha yüksek olmakla birlikte $a_2=15$ mm'lik numunelerde akma meydana gelmemiştir.



Şekil 8 Farklı "a" değerleri için en büyük eşdeğer ve akma gerilme değerleri

4.2. Bindirme Uzunluğunun (L) Etkisi

Bir diğer parametre de bindirme (üst yama) uzunluğudur. Bu mesafe, basamaklı yamanın başlangıç bölgesinden ana parça üzerine uzanan uzunluk olarak seçilmiştir. Bir köprü görevi gören bu yama, onarımda ana parçaya tutunarak basamaklı yamadaki gerilme yığılmalarını önlemek ve nispeten düzgün bir gerilme dağılımı elde etmek ve orijinal yapıya yakın bir mekanik performans elde etmek için kullanılır. Burada,



Şekil 9 Farklı “a” değerleri için en büyük eşdeğer ve akma gerilme

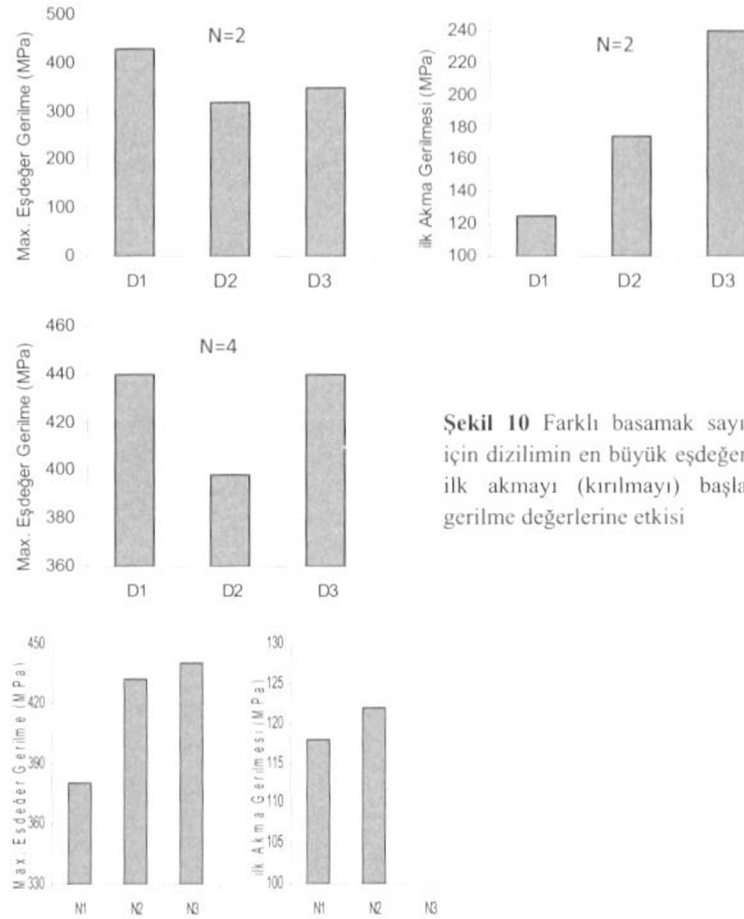
bindirme uzunluğu basamak uzunluğuna göre ayarlanmıştır. Basamak uzunluğu (a) sabit alarak bindirme uzunluk farkının $L_1=a-5$, $L_2=a$ ve $L_3=a+5$ mm değerleri için analizler yapılmıştır. Yine burada da, dört basamaklı bir yama için $[0]_8$ tabaka dizilişine sahip (D1) modeller göz önüne alınarak L'nin etkisi incelenmiştir. $[0]_8$ tabaka dizilişine sahip, 4 basamaklı ve basamak uzunluğu $a=15$ mm için yapılan analiz sonuçları Şekil 9'da verilmiştir. Dikkat edilirse L, a değerleri için bir akma meydana gelmemiştir.

4.3. Tabaka Diziliminin (D) Etkisi

Açı oryantasyonları ve kodları şöyledir: $D1=[0]_8$, $D2=[0/90]_{2s}$, $D3=[0/90/45/-45]_s$ Şekil 10'da, $a=L=15$ ve tabaka sayısı $N=2$ ve $N=4$ için yapılan analize ait grafikler verilmiştir. Grafiklerde 2 basamaklı onarım için maksimum eşdeğer gerilmelere ilave olarak ilk akma gerilme değeri de verilmiştir. Ancak 4 basamaklı onarım için yapışma ara yüzeyinde akmalar meydana gelmemiştir. Bu nedenle sadece eşdeğer gerilme değerleri verilmiştir. Bu da onarımda basamak sayısının artırılmasının önemini ortaya koymaktadır.

4.4. Basamak Sayısının (N) Etkisi

Onarımda en önemli parametrelerden birisi de basamak sayısıdır. Düzgün gerilme dağılımları elde etmek ve gerilme yığılmalarını minimize etmek için basamak sayısının tespiti büyük öneme sahiptir. Çalışmada, yama derinliği aynı olan modellere 1, 2 ve 4 basamaklı yamalar yapılarak bu etki incelenmiştir. Daha önceki analizlerde en uygun modellerden birisi olarak $a=L=15$ mm parametreleri tespit edilmişti. Burada bu parametreler sabit tutularak farklı D1, D2 ve D3 dizilimleri için onarılmış numunelerde basamak sayısının etkisi incelenmiştir. Şekil 11'de, $a=L=15$ ve D1=[0]₈ dizilimi için yapılan analize ait grafikler verilmiştir.



Şekil 10 Farklı basamak sayıları için dizilimin en büyük eşdeğer ve ilk akmayı (kırılmayı) başlatan gerilme değerlerine etkisi

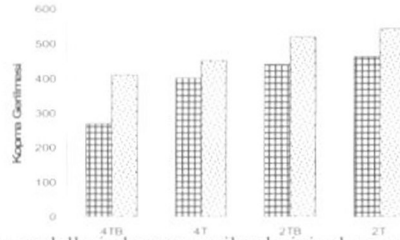
Şekil 11 Farklı dizilimler için basamak sayısının en büyük eşdeğer ve ilk akmayı (kırılmayı) başlatan gerilme değerlerine etkisi

4.5. Nümerik Analizlerin DeneySEL Sonuçlarla Karşılaştırılması

LUSAS Programı'nda yapılan analizlerin tutarlılığını belirlemek için deneysel sonuçlara da ihtiyaç duyulduğundan; bir kompozit plaka üretilip, uygun boyutlardaki çekme numuneleri kesilerek çekme deneyleri yapılmıştır. Bu bölümde analiz ve deneylerde dört farklı model karşılaştırılmıştır. Bunlar;

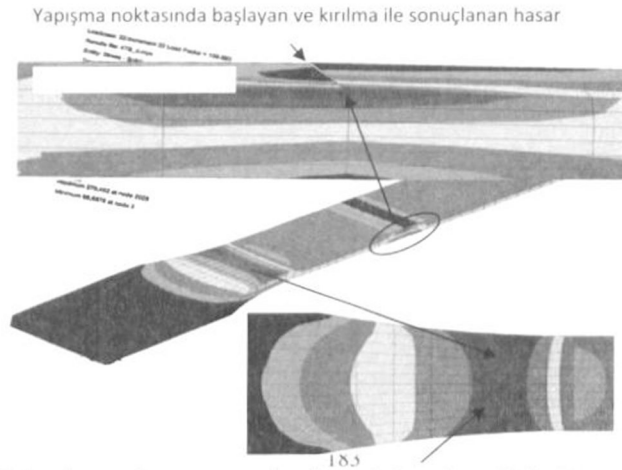
- Dört tabaka yamalı, dört tabaka sürekli ve bindirme yamalı model; 4TB
- Dört tabaka yamalı, dört tabaka sürekli model; 4T
- İki tabaka yamalı, altı tabaka sürekli ve bindirme yamalı model; 2TB
- İki tabaka yamalı, altı tabaka sürekli model; 2T olarak adlandırılmıştır.

Bütün yamalar iki basamaklı olarak modellenmiştir. Basamak uzunlukları ve bindirme uzunlukları 50 mm boyutunda, eşit olarak alınmış ve numune toplam boyutu 350 mm olarak belirlenmiştir. Numune boyutlarının büyük seçilmesinin nedeni yama oluşturmada yaşanan zorluklardır. Burada amaç, sadece nümerik analiz sonuçları ile deneysel sonuçlar arasında karşılaştırma yapmaktır.



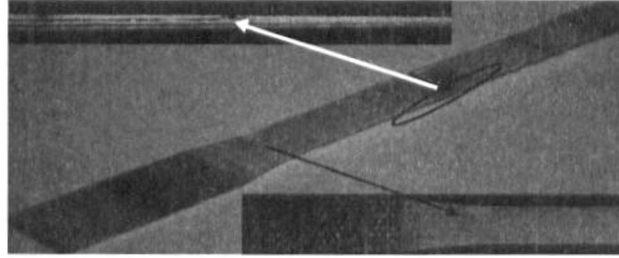
Şekil 12 Oluşturulan modellerin kırma gerilmelerinin deneysel ve nümerik olarak karşılaştırılması

Şekil 13 ve 14'de analiz aynı numune boyutları ve özellikleri için yapılan analiz ile deney sonuçları arasındaki uyum görülmektedir.



Kırılma ile sonuçlanmayan ancak malzemede beyazlaşma ile kendisini gösteren tabakalar arası matris kırıklarının gözlemlendiği bölge

Şekil 13 4TB no'lu numuneler için LUSAS analizinde hasar bölgeleri



Şekil 14 4TB no'lu numuneler için deney sonucundaki hasarlı bölgeler

5. Sonuç

Ara yüzey elemanları kullanılarak onarılmış kompozit plaklar için yapılan sonlu eleman analizlerinin deneysel sonuçlara yakın olduğu tespit edilmiştir. Bu da, çalışmada takip edilen modelleme ve analiz yönteminin onarılmış yapıların analizinde verimli bir şekilde kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

6. Teşekkür

Bu çalışma 107M406 nolu TÜBİTAK projesi kapsamında yapılmıştır. TÜBİTAK'a verdiği destekten dolayı teşekkürlerimizi sunarız.

7. Kaynaklar

- [1] F.Z. Hu, C. Soutis, "Strength Prediction of Patch-Repaired CFRP laminates loaded in compression" Composites Science and Technology, 60: 1103–1114, 2000.
- [2] B.A Gama, C. Cichanowski, J.W. Gillespie Jr., "Static and Dynamic Axial Compression of Scarf Repaired Thick Section Composite Laminates" International SAMPE Symposium and Exhibition (Proceedings), 48 I: 814–825, 2003.
- [3] M.V. Hosur, U.K. Vaidya, D. Myers, S. Jeelani, "Studies on the Repair of Ballistic Impact Damaged S2-Glass/Vinylester Laminates" Composite Structures, 61: 281–290, 2003.
- [4] M. Belhouari, B.B. Bouiadjra, A. Megueni, K. Kaddouri, "Comparison of Double and Single Bonded Repairs to Symmetric Composite Structures: A Numerical Analysis" Composite Structures, 65: 47–53, 2004.
- [5] R.L. Keller, "Challenges in Composite Maintenance and Repair: A Perspective" International SAMPE Technical Conference, SAMPE 2004: 3359–3372, 2004.
- [6] Z. Marioli-Riga, D. Xenos, C. Vrettos, "A Standard Analysis Methodology For the Stress Analysis of Repaired Aircraft Structures with the Method of Composite Patch Repair" Applied Composite Materials, 11: 191–203, 2004.

- [7] A.C. Okafor, N. Singh, U.E. Enemuoh, S.V. Rao, "Design, Analysis and Performance of Adhesively Bonded Composite Patch Repair of Cracked Aluminum Aircraft Panels" *Composite Structures*, 71: 258–270, 2005.
- [8] A.B. Harman, C.H. Wang, "Improved Design Methods For Scarf Repairs to Highly Strained Composite Aircraft Structure" *Composite Structures*, 75: 132–144, 2006.
- [9] D. Tzetzis, P.J. Hogg, "Bondline Toughening of Vacuum Infused Composite Repairs" *Composites: Part A*, 37: 1239–1251, 2006.

MECHANICAL PROPERTIES AND MORPHOLOGY OF LOW DENSITY POLYETHYLENE / E-MA-GMA / ORGANOCLAY NANOCOMPOSITES

Fatma Işık Coşkunes and Ülkü Yılmazer

Middle East Technical University, Chemical Engineering Department

06531, Ankara, TURKEY

yilmazer@metu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, organik kil çeşidi ve bileşenlerin ekleme sırasının alçak yoğunluklu polietilen bazlı nanokompozit sistemlerinin morfolojik, ısı, mekanik ve akış özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Uyum sağlayıcı olarak, etilen/metil akrilat/glisidil metakrilat (E-MA-GMA); organik kil olarak Cloisiteé 15A, Cloisiteé 25A ve Cloisiteé 30B kullanılmıştır. Tüm numuneler aynı yönde dönen çift vidalı ekstruder ve bunu takiben enjeksiyonlu kalıplama yöntemi kullanılarak hazırlanmıştır.

Üçlü nanokompozit sistemleri hazırlanmadan önce, en uygun uyum sağlayıcı ve organik kil miktarını belirlemek için, değişik kompozisyonlarda ikili AYPE/organik kil nanokompozitleri ve AYPE/uyum sağlayıcı alaşımları hazırlanmıştır. Mekanik test sonuçlarına göre uyum sağlayıcı ve organik kil konsantrasyonları sırası ile ağırlıkça % 5 ve % 2 olarak belirlenmiştir. Bundan sonra, herbir uyum sağlayıcı/organik kil sistemi ile üçlü nanokompozitler hazırlanmış ve bunu takiben bu nanokompozitlerin karakterizasyonu yapılmıştır.

Mekanik test sonuçları incelenen bileşen ekleme sıraları arasında AYPE, uyum sağlayıcı ve organik kilin ilk ekstrüzyon sırasında hep beraber karıştırıldığı yöntemin, en iyi ekleme sırası olduğunu gözlenmiştir. Üçlü nanokompozit sistemleri dikkate alındığında, AYPE/E-MA-GMA/15A, sistemi mekanik özelliklerde en yüksek gelişmeyi göstermiştir.

DSC analizine göre, alçak yoğunluklu polietilene organik kil ve uyum sağlayıcı eklenmesi, bileşiklerin erime özelliklerini etkilememiştir ve uyum sağlayıcı ve organik kil çeşitleri, AYPE içinde kristallenmeyi başlatıcı özelliğe sahip değildirler.

X-ışını kırınımı analizinde, üçlü nanokompozit sistemleri arasında tabaka aralığındaki en fazla artış, 59.2 Å ile AYPE/E-MA-GMA/ Cloisite® 30B nanokompozitlerinde elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alçak yoğunluklu polietilen, uyum sağlayıcı, organik kil, nanokompozitler, ekstrüzyon

ABSTRACT

In this study the effects of organoclay type, and the addition order of components on the morphological, thermal, mechanical and flow properties of ternary nanocomposites based on low density polyethylene, LDPE were investigated. As compatibilizer, ethylene/methyl acrylate/glycidyl methacrylate; as organoclay Cloisite® 15A, Cloisite® 25A and Cloisite® 30B were used. All samples were prepared by a co-rotating twin screw extruder, followed by injection molding.

Before producing the ternary nanocomposites, in order to determine the optimum amount of the organoclay and compatibilizer, binary mixtures of LDPE/organoclay and LDPE/compatibilizer blends with different compositions were prepared. Based on the results of the mechanical tests, compatibilizer and organoclay contents were determined as 5 wt. % and 2 wt % respectively. After that, ternary nanocomposites were prepared with each compatibilizer/organoclay system and characterization of these nanocomposites was performed.

Among the investigated addition orders, mechanical test results showed that the best sequence of component addition was the one in which LDPE, compatibilizer and organoclay were simultaneously compounded in the first run of the extrusion. Considering the ternary nanocomposites, compositions of LDPE/E-MA-GMA/15A showed the highest improvement in mechanical properties.

According to the DSC analysis, addition of organoclay and compatibilizer does not influence the melting behavior of the compositions, and both compatibilizers and organoclays have no nucleation activity in LDPE.

In the X-Ray analysis, the highest increase of the basal spacing for ternary nanocomposites was obtained in LDPE/E-MA-GMA/Cloisite® 30B nanocomposites with interlayer spacing of 59.2 Å.

Keywords: low density polyethylene, compatibilizer, organoclay, nanocomposites, extrusion

Introduction and Aim

Nanocomposites are a special class of composites, containing fillers, at least one dimension of which is in the nanometer (10⁻⁹ m) range [1]. Owing to the structural properties gained by well dispersion of the nanosized fillers, nanocomposites possess highly improved mechanical, thermal, physical, and barrier properties when compared to pristine polymer and conventional composites [2].

Montmorillonite which belongs to the general family of 2:1 layered silicates is the most commonly used smectite clay in nanocomposites. The structure of montmorillonite consists of an octahedral alumina sheet between two tetrahedral silica sheets. [3]. Natural montmorillonite is hydrophilic, thus it is incompatible with many hydrophobic engineering polymers, since the layered silicates are not easily dispersed in most polymers. In order to overcome this problem, a simple cation exchange process is applied to montmorillonite to make the clay organophilic. Organoclay-polyethylene nanocomposites prepared by melt compounding have been of interest [4-10].

The objective of this study is to investigate the effects of compatibilizer, organoclay type, and the addition order of the components on the properties of LDPE-compatible-organoclay ternary nanocomposites. The compatibilizer used was a terpolymer of ethylene – methyl acrylate – glycidyl methacrylate (E-MA-GMA), and the organoclays used were Cloisite® 15A, Cloisite® 25A and Cloisite® 30B.

Experimental

Low density polyethylene, with density 0.920 g/cm³ ; three different natural montmorillonites: Cloisite® 15A, Cloisite® 25A and Cloisite® 30B modified with various quaternary ammonium salts and the compatibilizer, a terpolymer of Ethylene – Methyl Acrylate – Glycidyl Methacrylate (E-MA-GMA), (MFI = 6 g/10min, at 190 °C, 2.16 kg), were used in this study.

Ternary nanocomposites of LDPE/E-MA-GMA/organoclay, having 5 wt % compatibilizer and 2 wt % organoclay were produced in pellet form, by a two step

extrusion process using a co-rotating twin screw extruder. Process temperatures were 170, 210, 210, 210, 220 °C for the hopper, the three mixing zones, and the die, respectively. The screw speed and total flow rate of feed were 200 rpm and 25 g/min throughout the experiments. Before each run of extrusion process, the raw materials and precompounded samples were dried in order to get rid of the moisture. Drying temperature of each material was selected considering the melting point of the materials.

LDPE, E-MA-GMA, and pelletized form of the first run extrusion products were fed to the extruder through the main feeder, and the organoclay was fed through the side feeder. The molten product obtained from the extruder barrel was cooled by passing through a water bath, whose temperature was continuously controlled. Binary mixtures of LDPE/organoclay and LDPE/E-MA-GMA were also prepared under the same process conditions.

Four different addition order procedures were applied to produce LDPE/E-MA-GMA/ Cloisite® 15A nanocomposites with 2 wt % Cloisite® 15A and 5 wt % E-MA-GMA. All nanocomposites were produced by using a two-step melt compounding procedure with a twin-screw extruder, namely Run I and Run II. Addition order procedures can be summarized as follows: AO1 = [Co C]P; AO2 = [P C]Co; AO3 = [P Co]C; AO4 = [P Co C], where P, Co, and C refer to polymer (LDPE), compatibilizer (E-MA-GMA), and clay (Cloisite® 15A) respectively. The parenthesis denotes the first run of the extrusions. In the second run of the extrusion process, the third material was added to the system.

The specimens for morphological, thermal and mechanical characterization were obtained by using a laboratory scale injection molding machine. The nozzle temperature and mold temperature were 220 °C and 30 °C respectively.

The samples containing organoclay were analyzed with an X-Ray diffractometer. The morphology and structure of the layered silicates were examined by means of scanning as well as transmission electron microscopy. The fractured surfaces were obtained by immersing the samples in liquid nitrogen, followed by impact. Transmission Electron Microscope at an acceleration voltage of 120 kV was used to examine the samples by TEM. All samples were trimmed parallel to the injection molding direction.

Thermal characterization was performed, by using a differential scanning calorimeter, on samples that were cut from injection molded samples used in mechanical property evaluation. Measurements were carried out in the temperature

range of 30 °C to 180 °C, with a heating rate of 10 °C/min under nitrogen atmosphere. First run results are reported, in order to correlate the results with the mechanical properties determined are on injection molded samples. Melting points of samples and the degree of crystallinity were determined. The amount of inorganic additives was taken into account in determining the crystallinity. The heat of fusion (ΔH) value for 100 % crystalline LDPE was taken as 293 J/g [8].

Tensile tests were performed for each composition according to the procedure identified in ASTM D638M-91a (Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics) [11].

Results and Discussion

X-Ray Diffraction (XRD) Analysis:

Interlayer spacing of the silicate layers were determined using the peak positions according to Bragg's law: $d = \lambda n / (2 \sin \theta)$. The XRD data of the neat organoclays, LDPE/organoclay binary nanocomposites, and LDPE/E-MA-GMA/organoclay ternary nanocomposites are shown in Figures 1-3. The intensity values are shifted for clarity.

The basal spacing of neat organoclays were determined as 31.9 Å, 20.1 Å, and 17.9 Å for Cloisites® 15A, 25A, and 30B respectively, and these values are in accordance with the values of basal spacings reported in the manufacturer's data sheet. Cloisite® 15A powder has two peaks as shown in Figure 1. The peak at 12.8 Å corresponds to unintercalated clay. The interlamellar distances of silicate layers of the organoclay Cloisite® 15A shown in Figure 1 increased slightly upon compounding with LDPE. The peak at 12.8 Å was shifted to 17.7 Å, while the peak at 31.9 Å was shifted to 33.3 Å as shown in Figure 1 (b).

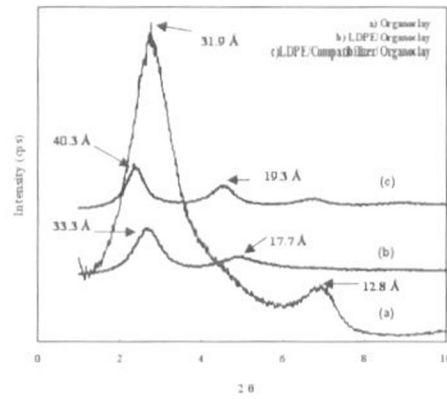


Figure 1. XRD patterns for (a) Cloisite® 15A, (b) LDPE/Cloisite® 15A, (c) LDPE/E-MA-GMA/Cloisite® 15A

Among the binary nanocomposites of LDPE/organoclays, intercalated structure was obtained in the material containing 2 wt % Cloisite® 25A shown in Figure 2.

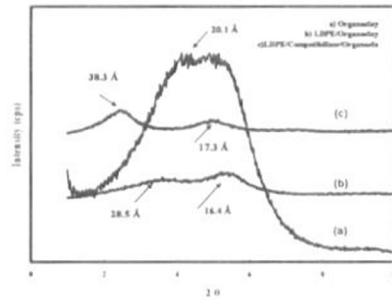


Figure 2. XRD patterns for (a) Cloisite® 25A, (b) LDPE/Cloisite® 25A, (c) LDPE/E-MA-GMA/Cloisite® 25A

The binary composite had a peak at 3.09° in the XRD pattern, indicating a basal spacing of 28.5 Å. In the XRD pattern, there was also another broader peak with basal spacing of 16.4 Å which could be due to the unintercalated layers.

In the case of Cloisite® 30B shown in Figure 3, the peak at 17.9 Å was shifted to 18.8 Å. Especially in Cloisite® 30B, the peak height of the binary nanocomposite was very small, indicating an intercalated/exfoliated structure. The alkyl chains of organoclays provide an additional distance between the interlayer of the layered silicates making it easier for the polymer matrix to enter into the clay galleries. As shown in Figures 1(c)-3(c), addition of 5 wt % compatibilizer to the LDPE/organoclay nanocomposites resulted in shifting of the characteristic diffraction peaks of the neat organoclay and LDPE/organoclay binary nanocomposites to smaller angles, indicating higher interlayer spacing of the clay layers.

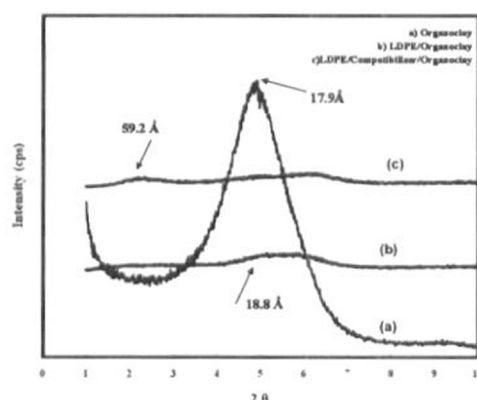


Figure 3. XRD patterns for a) Cloisite® 30B, (b) LDPE/Cloisite® 30B, (c) LDPE/E-MA-GMA/Cloisite® 30B

Considering the ternary LDPE/E-MA-GMA/organoclay nanocomposites, the best dispersion was achieved with Cloisite® 30B. The interlayer spacing was determined as 59.2 Å, and the height of the peak was lower in comparison to others, indicating a highly exfoliated/intercalated structure.

E-MA-GMA is polyethylene based, therefore it is highly miscible with the polyethylene matrix of the nanocomposites, and it also contains the functional group

of GMA. It can react with the hydroxyl groups of the montmorillonite and the organoclay Cloisite® 30B.

The effect of the addition order was studied for Cloisite® 15A, since as shown later, the highest improvements with respect to LDPE were obtained in nanocomposites with Cloisite® 15A. The XRD results are given in Figure 4. Considering the LDPE/E-MA-GMA/Cloisite®15A nanocomposites, the peak of montmorillonite apparently shifts to a smaller angle in all the addition order sequences. All samples have diffraction peaks corresponding to basal spacing of 40.8 Å, indicating that intercalated nanocomposites were obtained. Based on the tensile properties not shown here, PCoC (AO4) mixing order seems to be the best addition sequence. In general, these nanocomposites showed the highest improvement in tensile strength and tensile modulus when compared to nanocomposites prepared with other addition order sequences. In this mixing order, the interactions between the three components are maximized, since they spend the longest time with each other in this procedure.

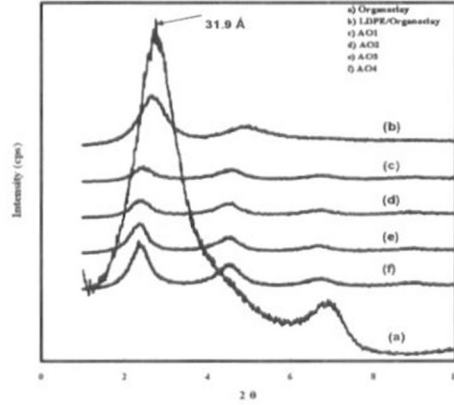


Figure 4. (a) Cloisite® 15A (b)LDPE/Cloisite® 15A (c) AO1 (CoC)-P, (d)AO2 (PC)-Co (e) AO3 (PCo)-C, (f) AO4 (PCoC)

SEM and TEM Analysis:

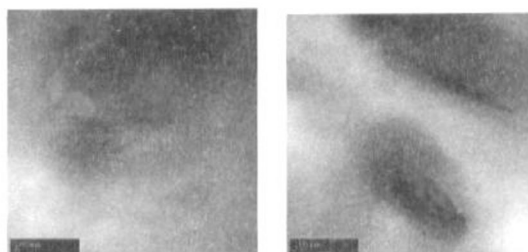


Figure 5(a-b). TEM micrograph of ternary LDPE/E-MA-GMA/organoclay nanocomposite containing 5 wt % E-MA-GMA and 2 wt % Cloisite® 15A, prepared with fourth addition order sequence.

LDPE has a smooth surface and few crack propagation lines. It is observed that addition of organoclay to the polymer matrix had resulted in an obvious change in the morphology of the neat polymer matrix. When compared with SEM micrographs of LDPE/organoclay binary nanocomposites, addition of compatibilizer resulted in more tortuous crack propagation lines in comparison to those of the binary nanocomposites.

Figure 5a and 5b are the TEM micrographs of LDPE/E-MA-GMA/organoclay nanocomposites containing 5 wt % E-MA-GMA and 2 wt % Cloisite® 15A. The gray areas in the figures are the polymer/compatibilizer matrix and the black regions are the organoclay structures in the form of individual silicate layers and their agglomerates (tactoids). Figure 5a and 5b confirm that compatibilized polymer matrix had intercalated into the layers of Cloisite® 15A and intercalation of the clay platelets was achieved.

Thermal Characterization of the Nanocomposites:

DSC analysis was performed to neat LDPE, binary nanocomposites of LDPE/organoclay, and also the ternary compositions. There were no significant changes in the melting point and % crystallinity of samples. It was concluded that, E-MA-GMA and organoclays have no significant nucleation activity in LDPE.

Mechanical Characterization of Nanocomposites:

Figure 6 shows that addition of 2 wt % of organoclays Cloisite® 25A or Cloisite® 30B to neat polymer decreased the tensile strength of the neat polymer. It is seen that with a 5 wt % loading of the compatibilizer, the tensile strength and tensile modulus values of the virgin LDPE decreases, since the compatibilizer has lower tensile strength and tensile modulus than LDPE has. In Figure 6, highly improved tensile strength values are observed for the ternary nanocomposites.

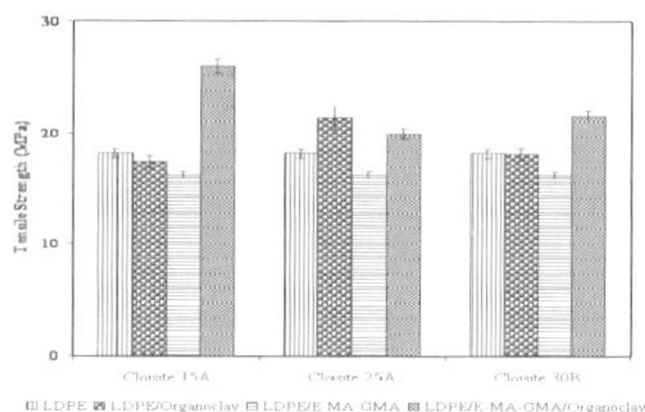


Figure 6. Effect of compatibilizer on the tensile strength of ternary nanocomposites

Figure 7 shows that the tensile modulus is also highly improved when ternary nanocomposites are formed. The extent of the improvement of the tensile strength and modulus depends directly upon the goodness of dispersion and the average length of dispersed clay particles. The main reason for the drastic improvement in tensile strength and modulus in these ternary nanocomposites is the strong interaction between the well dispersed silicate layers and the matrix, via formation of the bonds between the functional group of the compatibilizer and the hydroxyl groups of the organoclays [12]. According to the XRD results, Cloisite® 30B based ternary nanocomposites were nearly totally exfoliated. However, in exfoliated samples, the improvement in tensile strength and tensile modulus is not as high as in intercalated samples, since alignment of the clay layers in the direction of injection molding is more difficult in exfoliated samples. Alignment of clay layers in the direction of injection molding results in the highest improvement in the tensile strength and modulus[13].

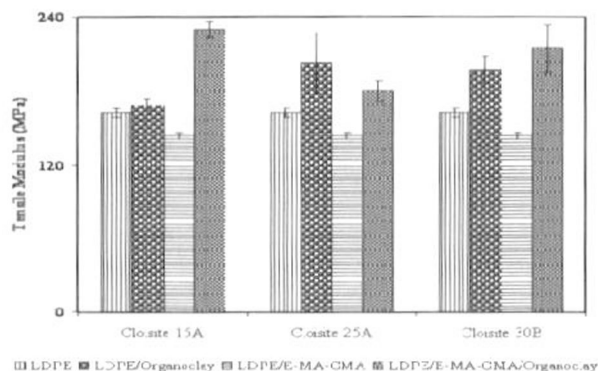


Figure 7. Effect of compatibilizer on the tensile modulus of ternary nanocomposites

Conclusions

According to XRD analysis, among the LDPE/organoclay binary nanocomposites, intercalation of polymer was observed only in LDPE/Cloisite® 25A nanocomposites. Addition of 5 wt % compatibilizer to LDPE/organoclay nanocomposites positively affected the dispersion of the organoclay particles, resulting in shifting of the organoclay peak to smaller angles. Also, in ternary nanocomposites the diffraction peaks were broader and lower in height in comparison to those of the neat organoclay and binary LDPE/organoclay nanocomposites. Intercalation and partial exfoliation of the organoclay layers were achieved in the ternary nanocomposites.

SEM micrographs showed that the smooth surface of the pristine LDPE disappeared when melt blended with organoclay. In SEM micrographs of ternary nanocomposites, the smooth structure of neat LDPE was not detected, and many shorter and closer, circular, non linear crack propagation lines were the evidence of the well dispersion of the organoclays throughout the matrix. TEM micrographs confirmed that compatibilized polymer matrix had intercalated into the layers of the organoclays.

Addition of organoclay and/or compatibilizer did not influence the melting/crystallization behavior of the nanocomposites. It was concluded that the compatibilizer and organoclays had no significant nucleation activity in LDPE.

The tensile strength and tensile modulus showed notable improvements in ternary nanocomposites with respect to neat LDPE and binary LDPE/organoclay nanocomposites. Among the ternary LDPE/E-MA-GMA/organoclay nanocomposites, the maximum increase in tensile strength and tensile modulus values were observed for the ones prepared with Cloisite® 15A. The improvement with respect to neat LDPE was 43 % for tensile strength and 44 % for tensile modulus. In the nanocomposites prepared with Cloisite® 30B, improvement in tensile strength and tensile modulus was 18.7 % and 32 % respectively.

Based on tensile properties, the best addition sequence is the one in which all the materials were simultaneously fed to the extruder in the first run, and the product of the first run was extruded once more.

Literatür

1. Alexandre, M.; Dubois, P. *Mater Sci Eng* 2000, **28**, 1.
2. Giannelis, E.P. *Adv Mater* 1996, **8**, 29.
3. Bafna, A. A. *Ph. D. Thesis*, University of Cincinnati 2004.
4. Wang, K. H.; Choi, M. H.; Koo, C. M.; Choi, Y.S.; Chung, I. J. *Polymer* 2001, **42**, 9819.
5. Zhang, J.; Wilkie, C.A. *Polym Degrad Stab* 2003, **80**, 163.
6. Liang, G.; Xu, J.; Bao, S.; Xu, W. *J Appl Polym Sci* 2004, **91**, 3974.
7. Hotta, S.; Paul, D.R. *Polymer* 2004, **45**, 7639.
8. Morawiec, J.; Pawlak, A.; Slouf, M.; Galeski, A.; Piorkowska, E.; Krasnikowa, N. *Eur Polym J* 2005, **41**, 1115.
9. Hwang, S.; Hsu, P.P.; Yeh, J.; Chang, K.; Lai, Y. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 2009, **36**, 471.
10. Yang, H.; Song, Y.; XU, B.; Zheng, Q. *Chem. Res. Chinese U.* 2005, **22** (3), 383.
11. ASTM D638-91a, *Annual Book of ASTM Standards* 1993, **08.01**, 174.
12. Manias, E.; Touny, A.; Wu, L.; Strawhecker K.; Lu, B.; Chung T.C., *Chemistry of Materials* 2001, **13**, 3516.
13. Isik, I.; Yilmazer, U.; Bayram, G., *Poly Compos* 2008, **29**, 133.

**TABAKALI SİLİKATLARIN İLAVESİNİN POLİLAKTİD
NANOKOMPOZİT FİMLERİN REOLOJİK VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**EFFECT OF LAYERED SILICATE ON THE
RHEOLOGICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF
THE SILICATE LAYERED POLYL-LACTIDE
NANOCOMPOSITE FILMS**

Hale Oğuzlu, Funda Tihminlioğlu

*Department of Chemical Engineering, İzmir Institute of Technology, Urla, İzmir
35430, Turkey*

E-mail: haleoguzlu@iyte.edu.tr, fundatihminlioglu@iyte.edu.tr

Abstract

Polymer nanocomposites containing layered silicates have motivated numerous studies owing to their outstanding properties-such as mechanical, thermal, optical, electrical conductivity, gas and solvent barrier properties^[1]. Improvements in these properties rely on a good dispersion the nanoparticles in polymer matrix usually associated with the processing method and polymer-particle interactions which result in different micro or nanoscale structures. The incorporation of layered silicates into polymer is known to change not only the physical properties, but also the rheological properties of the nanocomposites, changing from liquidlike to solidlike materials^[2]. Viscoelastic measurements are highly sensitive to the structural changes and appear to be a powerful method to probe the underlying structure in such composites. Moreover, effective utilization of polymer layered silicate nanocomposites needs an understanding of the nanoscale structure –property-processing relationships^[3-4]. This study therefore, aims to study the effect of surface modified nanoclay into polylactide biodegradable polymer on the rheological, thermal and mechanical properties of the nanocomposites.

Nanocomposite films were prepared by solution intercalation method using a organically modified Montmorillinite as a nanofiller. Sonication process was introduced in order to improve dispersion of clays in the polymer matrix. The

amount of clay in PLA polymer was varied between 1 wt% to 10 wt%. Films were cast on the glass plates and then kept at 60 °C in the vacuum oven for a day to ensure complete solvent removal.

The structure of clay and nanocomposite were characterized by Phillips X'Pert Pro MRD (Cu K α radiation ($\lambda=1.54$ nm), 40 kV, 40 mA) ($2\theta = 1-10^\circ$). Melt and degradation temperature of the nanocomposites were measured by differential scanning calorimetry DSC, TA instruments Q10 under nitrogen flow of 50 mL/min. Glass transition temperatures, loss modulus, storage modulus of films were determined using a dynamic mechanical analyzer (Q800, TA Instruments). Dynamic mechanical analysis (DMA) was performed in tension mode at a frequency of 1 Hz and an amplitude of 15 μ m. from 35 °C to 150 °C at a heating rate of 5 °C/min. Melt rheological measurements were performed by a parallel plate rheometer, TA instruments. Firstly, the limits of linear viscoelastic properties of nanocomposites were determined by dynamic strain sweeps. For dynamic frequency measurements, the temperature range was 170–210 °C. The storage modulus, loss modulus and complex viscosities were determined and melt density of nanocomposites were calculated. The stress relaxation and the tendency of shear thinning were determined.

The results of this study show that nanoclay addition changes the rheological and mechanical properties of PLA polymers with incorporation of nanoclay. From XRD measurements, an increase in basal spacing was obtained with respect to pure clay in PLA nanocomposites with decreasing 2θ which proves the intercalated structure. Clay loading did not change melting and degradation temperature of PLA. However, the glass transition temperature (T_g) of the composites increased with clay addition based on DMA measurements. The enhancement in storage modulus was also achieved with the incorporation of clay in polymer matrix, as was evident from an increase in modulus values from DMA and mechanical property measurements. The effect of nanoclay addition on the linear and nonlinear viscoelastic properties of nanocomposites were also observed as a function of clay loading. The increase in the viscosity of the nanocomposites is believed to the confinement of the PLA chains within the silicate layer^[5].

Özet

Polimer nanokompozitlerin termal, optik, elektriksel iletkenlik, mekanik, gaz ve solvent bariyer özelliği gibi üstün özellikleri sayısız çalışmaya sebep olmuştur.^[1] Bu özelliklerdeki iyileşme, nanopartiküllerin polimer matrisi içerisindeki dağılımının iyi olmasına bağlı olup nanokompozit malzemenin hazırlama methodu ve polimer-

partikül etkileşimin sonucunda farklı mikro ve nano ölçüde yapılar elde edilmektedir. Tabakalı silikatların polimere ilave edilmesi nanokompozitlerin sadece fiziksel özelliklerini değil, reolojik özelliklerini de değiştirmekte ve sıvı benzeri malzemeden katı benzeri malzemeye kadar farklı malzemeler elde edilmektedir. ^[2] Viskoelastik ölçümler yapısal değişikliklere karşı çok duyarlı ve kompozitlerde yapının incelenmesinde etkili bir yöntemdir. Bunun yanında, silikat tabakalı polimer nanokompozitleri etkin kullanımı için nano ölçüdeki yapı – özellikler- üretim süreci arasındaki ilişkinin anlaşılması gereklidir. ^[3-4] Bu çalışmada bu nedenle, modifiye edilmiş nanokil ilavesinin poliL-laktid biyobozunur polimerinin reolojik, termal ve mekanik özelliklerine olan etkisinin çalışılması amaçlanmaktadır.

Nanokompozit filmlerin hazırlanmasında nano dolgu malzemesi olarak organik olarak yüzeyi modifiye edilmiş montmorillonit kullanılarak çözücü interkalasyon yöntemi tercih edilmiştir. Killerin polimer matrisi içerisindeki dağılımı iyileştirmek adına ultrasonik titreşim film hazırlama sürecine dahil edilmiştir. PLA içindeki kil miktarı ağırlıkça % 1 ile % 10 arasında değiştirilmiştir. Filmler cam plakalar üstüne çekildikten sonra çözgenin tamamen uzaklaştığını emin olmak adına 60 °C’de vakumlu kurutucuda 1 gün boyunca kurutulmuştur.

Kilin ve nanokompozitlerin yapısal özellikleri 2θ kırınım açısı 1° ile 10° arasında değiştirilerek Philips X’Pert Pro MRD (Cu K_α (λ=1.54 nm), 40 kV, 40 mA) cihazı ile analiz edilmiştir. Nanokompozitlerin erime ve bozunma sıcaklıkları Diferensiyel Taramalı Kalorimetre (DSC, Q10, TA Instruments) cihazı ile 50 mL/dk azot akışı altında ölçülmüştür. Camı geçiş sıcaklıkları, E’ ve E’’ özellikleri dinamik mekanik analiz cihazı (Q800, TA Instruments) kullanılarak belirlenmiştir. Dinamik mekanik analizi (DMA), gerilim modunda, 1 Hz frekansta, 15 mikron genliğinde, 35 °C ile 150°C sıcaklıkları arasında ve 5 °C/dk ısıtma hızında yapılmıştır. Ergiyik reolojik ölçümler paralel plaka reometresi (TA, instrument) kullanılarak yapılmıştır. Öncelikle nanokompozitlerin doğrusal viskoelastik özelliklerinin sınırları dinamik gerilim sürtünme modunda belirlenmiştir. Dinamik frekans ölçümleri için, sıcaklık aralığı 170-210 °C olarak seçilmiştir. Nanokompozitlerin E’, E’’ ve kompleks viskozitesi ölçülmüş ve erime yoğunluğu hesaplanmıştır. Gerilim gevşemesi ve kayma incelleme eğilimi tespit edilmiştir.

Bu çalışmanın sonuçları PLA polimerlerinin reolojik ve mekanik özelliklerinin nanokil ilavesiyle değiştiğini göstermektedir. XRD sonuçlarına göre 2θ değerlerindeki azalma silikat tabakaları arasındaki boşlukların arttığını göstermektedir. Kil miktarıyla erime ve bozunma sıcaklıklarında saf PLA’ya göre

değişim gözlenmemiştir. Bununla birlikte, DMA ölçümlerine göre nanokompozitlerin camı geçiş sıcaklığı (T_g) kil miktarına bağlı olarak artmıştır. Kilin polimer matrisi içine eklenmesiyle, E' özelliğinde artış sağlanmıştır. Nanokil ilavesinin etkisi, nanokompozitlerin doğrusal ve nonlinear viskoelastik özelliklerinin nanokil miktarına bağlı olarak incelenmiştir. Nanokompozitlerin doğrusal ve doğrusal olmayan viskoelastik özelliklerine nanokil etkisi de gözlenmiştir. Nanokompozitlerdeki viskozite artışı silikat tabakalarının arasına PLA zincirlerinin yer almasının neden olduğu düşünülmektedir.^[5]

Kaynakça

- [1] M. Alexandre, P.Dubois, Materials Science and Engineering 28: 1 -63 (2000)
- [2] V. Geiser, Y. Leterrier and J. Manson, Macromolecules 43, 7705-7712, (2010).
- [3] R. Krishnamoorti, K.Yurekli, Current Opinion in Colloid & Interface Science 6: 464-470 (2001)
- [4] T. N. Abraham, S. Siengchin, D. Ratna, J. Karger- Kocsis, Journal of Applied Poly. Science 118, 1297-1305, (2010).
- [5].A.Subbotin, A. Semenov M. Doi, Phys. Rev. , 56, 623, (1997).

KARBON FİBER DESTEKLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN İŞLENMESİNDE KULLANILAN MATKAPLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

COMPARISON OF VARIOUS DRILLS FOR CFRP MACHINING APPLICATIONS

Onur BAHTİYAR, Burak DEĞER, Ümit KOÇKAN, Nevzat AKGÜN

TUSAŞ-Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş. 06980, Ankara, Türkiye

bdeger@tai.com.tr

Özet

Karbon fiber destekli plastik (CFRP) malzemeler üstün mukavemet/ağırlık oranları nedeniyle bugünün havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır ve kullanımlarının yakın gelecekte de önemli ölçüde artması beklenmektedir. Ayrıca bu malzemelerin diğer ilgi çeken özellikleri, yüksek katılık/ağırlık oranı, yüksek yorulma ve korozyon direnci olarak sıralanabilir.

Metalik malzemelerde olduğu gibi kompozit havacılık yapılarında geleneksel talaş kaldırma işlemleri kenar kesme, delik açma ve yüzey tıraşlama amaçları için yoğunlukla kullanılan yöntemdir. Ayrıca çeşitli kompozit yapıların bağlayıcılar ile birleştirilmesi için en çok kullanılan üretim süreci delik açma işlemidir.

Ancak, bahsi geçen malzemelerinin düşük ısı iletkenlik özelliği ve içeriğindeki aşındırıcı karbon fiberler, bu malzemelerin işlenmesini oldukça zorlaştırmaktadır. Bu koşullar matkabın çabuk aşınmasını sağladığı için takım ömrünü ve delik kalitesi olumsuz etkilemekte ve dolayısıyla üretim maliyetini artırmaktadır. Bu nedenle, uygun kesici takım ve kesme parametreleri seçimi kompozit malzeme kesimindeki en önemli noktalardır.

Bu çalışmada kaplamasız karbür, elmas kaplamalı karbür (DCC) ve yapay elmas (PCD) malzemesinden imal edilmiş matkapların, takım ömrü, maliyet verimliliği ve parça kalitesi bazında işleme performanslarının karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Abstract

Carbon Fiber Reinforced Plastic (CFRP) materials have been widely used in today's aerospace industry and their usage is expected to increase drastically in the near future due to superior strength-to-weight ratio. They have also high stiffness-to-weight ratio, high fatigue resistance and almost no concern needed on corrosion properties of these materials.

Machining processes are generally used to cut, drill, or contour composite laminates for manufacturing aerospace components. In fact, drilling is one of the most commonly used manufacturing processes to install fasteners for assembly of laminate composites.

However, machining CFRP laminates is quite difficult due to the extremely abrasive nature of the reinforcements of carbon fiber and low thermal conductivity of CFRP. These conditions cause rapid tool wear which has a negative effect on hole quality and tool life, hence an increase in the process cost. In addition, delamination is a crucial problem when drilling CFRP laminates, since it decreases the load carrying capability of the composites by separating the plies. Delamination is the most important measure of quality of the drilled hole and is closely controlled during machining. For this reason, selection of appropriate cutting tools and cutting parameters are critical points for a particular CFRP cutting application.

In this study, it is aimed to compare machining performances of uncoated carbide, diamond coated carbide (DCC) and polycrystalline diamond (PCD) drills on 5HS woven fabric CFRP plate in tool life, cost efficiency and machined part quality terms.

Uncoated carbide, DCC and PCD drills were experimented on CFRP laminates which were manufactured from 5HS woven fabric prepregs with dimensions of 10x920x920 mm. Experimental studies were conducted on a Dörries Scharmann Technologies 5-axis precision machining center with maximum 24,000 rpm rotational speed. A plate made out of aluminum was used as a backing plate as a fixture during drilling operations. The thrust force and torque during drilling were measured by a Kistler 9123 rotating dynamometer and its charge amplifier. The cutting force data were collected through a data acquisition system and processed on a personal computer. After the drilling operations were performed, hole quality was measured by gages and also inspected with visual and ultrasonic methods.

Uncoated carbide cutting tool life was mostly affected by feed rate. High feed rates were more favorable. Moreover, cutting speed was also an important tool life parameter. Acceptable hole quality was reached before nearly 100th drilled hole.

Uncoated carbide tools had the lowest unit cost but their very short tool life made them impossible to use for challenging applications.

For DCC cutting tools, a high feed rate resulted in less damage on the diamond coating after drilling equal number of holes due to short cutting time. The fracture on the diamond coating initiates from two locations: the edge of the clearance face of the tool at the end of the cutting edge at high feeds and from the tip of the tool at low feeds. The fracture then expands away from these points. As a result, the edge of the carbide substrate is exposed and rounded which hinders its performance.

PCD cutting tools have higher point angle compared to DCC tools, so they have higher load carrying capabilities. Forces to concentrate less on the edge of the cutting tools and cause less wear on the edge. In addition, PCD cutting tools had the best tool life among the three types of drills tested and no fracture was observed. Even after drilling a large number of holes, 100 µm edge wear was observed which did not have a serious negative effect on the hole quality. PCD cutting tools had the highest unit cost but they were the most economic option when tool life was considered.

1. Giriş ve Amaç

Kompozit parçaların üretimi ‘yaklaşık son şekil’ yöntemiyle yapılırsa da, delik açma ve frezeleme gibi işlemler nihai tasarım kriterlerinin karşılanması açısından gereklidir. Bu çalışmanın konusu olan delik açma işlemi kompozitlere uygulanan en önemli işlemlerden biridir. En gelişmiş kesici takım malzemeleri ve kaplamalarıyla bile CFRP laminatlarında delik açma zorlu bir işlemdir. Karbon elyaflarının yüksek miktarda aşındırıcı doğası ve CFRP kompozitlerinin düşük ısı iletkenliği kesme takımlarının hızla aşınmasına sebebiyet vermektedir. Delik açma esnasında oluşan ısı metal kesme işlemindeki gibi talaş ile transfer edilemez. Bu yüzden kesme takımlarının kenarlarında biriken bölgesel ısı, ani takım aşınmalarına ve kompozit laminatların hasar görmesine neden olabilir.

CFRP malzemelerde delik açma esnasında oluşan delaminasyon, kompozit malzemelerin yük taşıma kapasitesini azalttığından kritik bir sorundur. Delinen deliğin kalitesinin belirlenmesinde en önemli parametre delaminasyon olduğundan, bu konuya özel ilgi gösterilmektedir.

Literatürdeki deneysel çalışmalarda, takım geometrisi, takım malzemesi ve kesme kuvvetleri, tork, takım aşınması ve delik kalitesi gibi işleme parametreleri arasındaki ilişki deneysel bir yaklaşımla gözlemlenmiştir. Kapsamlı bir çalışmada, Chen [1]

işleme parametreleri ile delaminasyon arasındaki ilişkiyi açığa çıkarmak için testler yapmış ve tek yönlü CFRP kompozit laminatları delerken itiş kuvveti ve delaminasyon arasında doğrusal bir ilişki gözlenmiştir. Tsao ve Hocheng [2], destek levhası kullanımının delaminasyon üzerinde olumlu yönde etkisi olduğunu göstermişlerdir. Destek levhası kullanılması durumunda delaminasyon oluşturmadan daha yüksek ilerleme hızlarına çıkıldığı gözlemlenmiştir. Piquet ve ark. [3] destek levhası kullanmadan delici takım geometrisinin delik kalitesi üzerine etkisini analiz etmiş ve kesici kenar etkisini nötralize etmek için ön delme işleminin yapılması gerektiği sonucuna varmıştır. Ayrıca değişken ilerleme hızları ile delik kalitesinin daha da artırılabilirliğini belirtmiştir. Dharan ve Won [4] itiş kuvveti ve torkun, kesme parametrelerinin fonksiyonu olduğu ve delaminasyona sebep olan kuvvet değerinin hesaplanmasına olanak veren bir model ile delaminasyon oluşumunun kontrolünü öngören bir yöntem önermişlerdir. Attia [5] yüksek kesme hızlarının termal yumuşama nedeniyle itiş kuvvetini düşürdüğü sonucuna varmıştır. Faraz ve ark. [6] kaplamasız ve kaplamalı karbür kesici takımlarıyla örgü CFRP kompozit laminatlarının kuru kesme durumunda işlenmesi ile ilgili yaptıkları çalışmalarda sürtünme davranışlarını incelemişlerdir. Buna göre kesme takımının kesici kenarının oluşan aşınma sonucu yuvarlaklaşması kesme performansını düşürmektedir. Ayrıca kenar yuvarlaklaşması ile kesme kuvvetleri arasında da ilişki belirlemişlerdir.

Bu çalışmada, kaplamasız karbür, elmas kaplamalı karbür (diamond coated carbide, DCC) ve çok kristalli elmas (polycrystalline diamond, PCD) malzemesinden imal edilmiş matkapların, takım ömrü, maliyet verimliliği ve parça kalitesi bazında işleme performanslarının karşılaştırılması amaçlanmıştır.

2. Malzeme ve DeneySEL Metodoloji

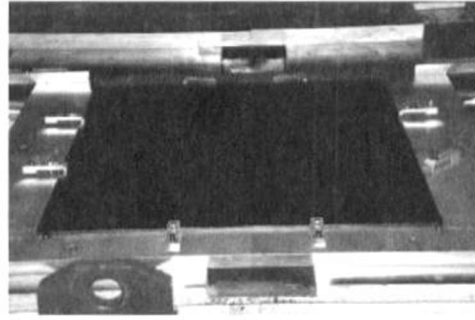
Deneylerde 5HS dokuma örgüsüne sahip karbon fiber destekli epoksi kompozit kumaşlar kullanılmıştır. Bu malzeme, temiz odada elle serildikten sonra otoklav prosesi ile plaka olarak üretilmiştir. Plakaların son ölçüsü 920 x 920 x 10 mm'dir. Üretim sonrasında plakaların hatasız olduğu ultrasonik muayene yöntemiyle kontrol edilmiştir.

DeneySEL çalışmalar TAI-TUSAŞ A.Ş tesislerinde karbon fiber kompozit malzemelerin işlendiği 5 eksenli Dörries Scharman işleme merkezi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Karbon fiber epoksi plakalar alüminyumdan yapılmış bir destek plakası üzerine yerleştirilmekte ve delik çıkışları desteklenmektedir. Bu düzenek

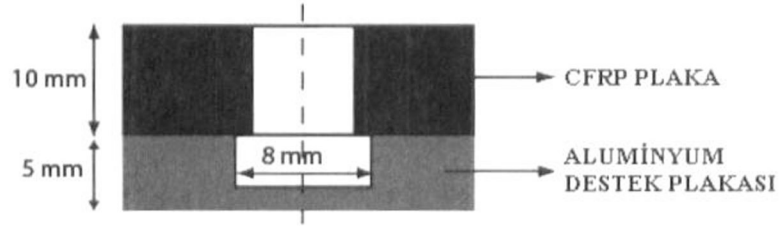
gerçek parçaların işlenmesinde kullanılan vakumlu kalıpların görevini üstlenmektedir. Şekil 1 deneysel test düzeneğini göstermektedir.

Deneylerde kullanılan delik çapları havacılık sanayinde sıklıkla kullanılan 6.35 mm ve 6.91 mm olarak seçilmiştir.

Delik açma işlemi tamamlandıktan sonra, delik ölçüleri master yardımı ile ölçülmüş, delik çıkış kaliteleri ise göz ve ultrasonik metotlar ile kontrol edilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 1. a) Deneylerde kullanılan örnek karbon fiber plaka, b) Destek plakası ve ölçüleri

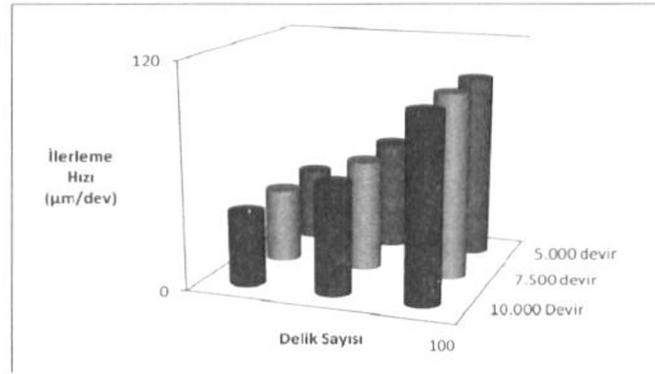
3. Sonuç ve Tartışma

3.1 Kaplamasız Karbür Takım

Deneyler dokuma tip karbon fiber malzeme üzerinde yapılmıştır. Karbür takım ile yapılan deneylerde üç değişik hız ve ilerleme seçilmiştir. Bu denemelerin sonucunda

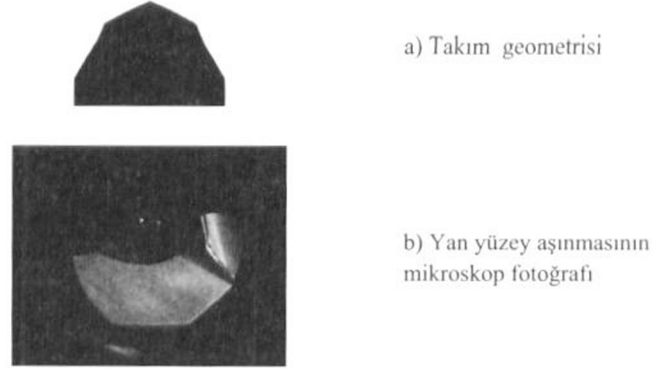
dönme hızı, ilerleme hızı ve aşınma miktarı, delik kalitesi baz alınarak optimize edilmiştir. Şekil 2 ise karbür takımlar için çalışılan deneysel şartları göstermektedir.

Deneysel değerler katman ayrışmasına en fazla etkiyi yapan parametrenin ilerleme olduğunu göstermiştir. Deneysel sonuçlar ilerleme kadar olmasa da kesme hızının da sonuçlar üzerinde belli bir etkisi olduğu göstermiştir.



Şekil 2. Karbür takımlar için çalışılan deneysel şartlar

Seçilen karbür takım Şekil 3a'da verilmiştir. Takım profili incelendiğinde takımın çift uç açısına sahip olduğu gözlemlenmektedir. Dik uç geometrisiyle yükün karşılanması ve takımın yan kesici kenarlarının korunması ve böylece delik çıkışlarının daha iyi işlenmesi amaçlanmıştır.



Şekil 3. Karbür takım profili

Şekil 3b ise takımın mikroskop ile çekilmiş fotoğrafını göstermektedir. Yapılan incelemeler takımın yan bölgesinden aşındığını göstermektedir. Herhangi bir krater aşınmasına rastlanılmamıştır.

Karbon fiber plakanın delik giriş ve çıkışları incelenmiş, delik girişlerinde herhangi bir probleme rastanmasına karşın asıl problemin delik çıkışlarında meydana geldiği tespit edilmiştir. Yüksek devir ve ilerleme hızında daha fazla sayıda kaliteli delik açılabilirdiği görülmüştür. Uygun delik kalitesi yaklaşık 100 delik kadar sağlanabilmektedir.

3.2 Elmas Kaplamalı Karbür Takım

Şekil 4 elmas kaplamalı karbür takım profillerini göstermektedir. Elmas kaplamalı takımlar ile dokuma tipi karbon fiber kompozit malzeme için değişik devir ve ilerlemede işleme şartları belirlenmiştir. Bu şartlar altında delik çıkışları kontrol edilmiş ve takım uçları elektron mikroskobu ile incelenmiştir.



a) Elmas kaplamalı karbür takım geometrisi



b) Elmas kaplamalı karbür takımın elektron mikroskopunda çekilmiş fotoğrafı



c) Delik çıkış fotoğrafı

Şekil 4. Elmas kaplamalı Takım

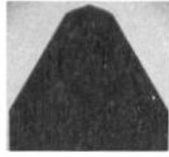
Elmas kaplamalı takımlar ile dokuma malzeme üzerinde yapılmış deney sonuçlarına göre kullanılan tezgahın güvenli limitleri dahilinde en yüksek devir ve ilerleme hızında en uygun delik kalitesi elde edildiği gözlenmiştir.

Bu parametrelerle yapılan delme çalışması ile karbür takımlarda elde edilen değerlere oranla takım ömür değerinde yaklaşık 20 kat artış meydana gelmiştir.

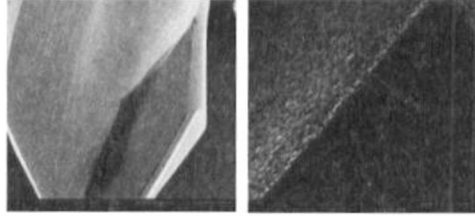
3.3 Çok Kristalli Elmas Takım

Yapılan çalışmada en son PCD takım denenmiştir. Şekil 5a deneylerde kullanılmak üzere seçilen PCD takım geometrisini göstermektedir. Elmas kaplamalı takıma göre

daha dik bir uç açısı olan bu takım uç bölgesinde daha fazla yük taşıyabilmekte ve bu şekilde takımın kenar bölgesine gelen yükler azaltılmaktadır. Buna bağlı olarak takım kenarının az aşınması sağlanmaktadır. Az aşınan kenar bölgesi sayesinde delik çıkışı daha iyi kesebilmekte, bu şekilde elde edilen kaliteli delik sayısı artmaktadır.



a) PCD Takım geometrisi



b) Aşınmış PCD takım
kesici kenarı

Şekil 5. PCD takım

Şekil 5b'de aşınmış PCD takımın elektron mikroskobu ile çekilmiş fotoğrafı görülmektedir. Kesici kenardaki yuvarlanma ve aşınma miktarı 100 μm **uzunluğunda** olsa da delik kalitesine çok kötü bir etkisi olmamaktadır. PCD takımlar ile dokuma tip kompozit malzeme üzerinde deneyler yapılmış ve DCC takımlara göre en az 5 kat daha fazla takım ömrü elde edilmiştir. Bu koşullarda herhangi bir aşınma veya delikte bozulma belirtisi görülmemiştir.

PCD takım ile yüksek ilerleme değerlerine çıkılmasının mümkün olduğu ve dönme hızı artırıldıkça delik kalitesinin iyileştiği görülmüştür. Buradan çıkan sonuçlara göre PCD takım ile elmas kaplamalı takıma göre daha hızlı delik delme işlemi gerçekleştirilebileceği gözlemlenmiştir.

Tablo 1'te ise karşılaştırmalı olarak kesici takımların maliyetleri bulunmaktadır. Birim delik maliyeti, birim takım maliyetinin açılan kaliteli delik sayısına bölünmesi

ile elde edilmiştir. Hesaplamanın kolay anlaşılması için ($T = X/L/100$) eşitliği kullanılmıştır. PCD takımların toplam maliyet ve dayanıklılık açısından en uygun seçim olduğu görülmektedir. Sonuçlar özet olarak Tablo 1’de verilmektedir.

PCD takımların en iyi birim delik maliyetine sahip olmasının yanında bir avantajı da diğer takımlara göre daha yüksek ilerleme hızlarına ulaşabilmeleridir. Bu da birim zamanda daha fazla kaliteli delik açılabilmesi anlamına gelmektedir. Delik delmenin yapıldığı işleme merkezinin kullanılmasının da bir maliyeti olduğu düşünüldüğünde, PCD takımların toplam maliyetinin delik delmek için gereken zaman arttıkça daha da azalacağı hesaplanmaktadır.

Tablo 1. Karşılaştırmalı kesici takım maliyetleri

	Karbür Takım	Elmas Kaplamalı Karbür Takım (DCC)	Çok Kristalli Elmas Takım (PCD)
Birim Takım Maliyeti	X	2X	6X
Açılan Kaliteli Delik Sayısı (Örgü Malzeme için)	L	20L	>100L
Birim Delik Maliyeti	100T	10T	<6T

3.4 Sonuç

Bu çalışmada örgü tipi CFRP plakaların kaplamasız karbür, kaplamalı karbür ve çok kristalli elmas takımlar ile delinmesi sırasında aşınmaları, açabildikleri kaliteli delik

sayıları ve maliyetleri incelenmiştir. Kaplamasız karbür takımlar düşük takım maliyetlerine rağmen az sayıda kaliteli delik açabilmişler ve en yüksek birim delik maliyetine sahip olmuşlardır. Elmas kaplamalı karbür takımlar ise kaplamasız karbür takımlara göre 2 kat fazla takım maliyetine sahip olmalarına rağmen, yaklaşık 20 kat fazla kaliteli delik açarak birim delik maliyetinde önemli bir gelişme sağlamışlardır. Çok kristalli elmas takımlar ise elmas kaplamalı karbür takımlara göre 3 kat fazla takım maliyetine sahip olmalarına rağmen, 5 kattan fazla kaliteli delik açarak birim delik maliyetinde en iyi sonuçları vermiştir. Bunun yanında PCD takımlar en yüksek ilerleme hızlarına sahip olduklarından birim zamanda daha çok delik açabilmek maliyetlerin daha da düşmesine sebep olmuşlardır.

4. Literatür

- [1] Chen WC, (1997) Some experimental investigations in the drilling of carbon fiber reinforced plastic (CFRP) composite laminates. *Int. J. Mach. Tools Manufact.* 37:1097-1108
- [2] Tsao CC, Hocheng H, (2007), Parametric study on thrust force of core drill, *Journal of Mater. Processing* 192:37-40.
- [3] Piquet R, Ferret B, Lachaud F, Swider P, (2000) Experimental analysis of drilling damage in thin carbon/epoxy plate using special drills. *Composites Part A* 31:1107-1115
- [4] Dharan CKH, Won MS, (2000) Machining parameters for an intelligent machining system for composite laminates. *Int. J. Mach. Tools Manufact.* 40:415-426
- [5] Rawat S, Attia H, (2009) Characterization of the dry high speed drilling process of woven composites using Machinability Maps approach. *CIRP Annals-Manufacturing. Tech.* (58):105-108
- [6] Faraz A, Biermann D, Weinert K, (2009) Cutting edge rounding: An innovative tool wear criterion in drilling CFRP composite laminates. *Int. J. Mach. Tools Manufact.* (49):1185-1196

**POLİMERİK KOMPOZİT YAPILARDA FİBER
ORYANTASYONUN TİTREŞİM VE MEKANİK
DAVRANIŞINA ETKİSİNİN NÜMERİK YÖNTEMLERLE
İNCELENMESİ**

**THE EFFECT OF FIBER ORIENTATION ON
MECHANICAL AND VIBRATION BEHAVIOUR IN
POLYMERIC COMPOSITE STRUCTURES BY USING
NUMERICAL METHODS**

Bariş Oğuz GÜRSES, Kader SEVER,

Mehmet SARIKANAT, Aysun BALTACI

Ege University, Mechanical Engineering Department, Bornova, İzmir

mehmet.sarikanat@ege.edu.tr

Abstract

Owing to High strength-to-weight and stiffness-to-weight ratios and controlled manufacturing environments for optimum performance, composite materials typically made from synthetic materials and reinforced with fibers or particles have been used in many engineering fields including space industry, pressure vessel, sports equipment, and automotive component manufacturing.

Composite materials have the some advantageous properties when compared with traditional materials. Some properties which can be developed by the formation of a composite material are strength, toughness, specific weight, corrosion and wear resistance, and thermal properties. Desired properties can be obtained by orienting fibers in proper directions.

Composite structures can be analyzed by using analytical and numerical methods. Generally, when a composite structure is modelled, some assumptions and simplifications have to be made. The finite element method (FEM) has been widely utilized in the analysis of composite structures. Commercial finite element analysis programs have special composite elements to be used in the analysis of composite structures.

In this study, mechanical behaviour under static force, free and forced vibration behaviour of laminated composite beams having different fiber orientations under dynamic force were investigated. In study, the isoparametric shell element used in the present study has 8 nodes, 24 degrees of freedom and the finite element method was used. The effects of fiber orientations on the mechanical, the free and forced vibration behaviours of laminated composite beams were investigated.

Keywords: finite element method, polimeric composite materials

ÖZET

Yüksek mukavemet/ağırlık ve katılık / ağırlık oranı ve optimum performans için kontrollü üretim ortamları nedeniyle sentetik malzemeler ve fiber veya parçacıkların takviyesi ile yapılan kompozit malzemeler uzay sanayi, basınçlı kap, spor malzemeleri ve otomotiv parça imalatı gibi birçok mühendislik alanlarında kullanılmaktadır.

Kompozit malzemeler geleneksel malzemelerle karşılaştırıldığında bazı avantajlı özellikleri vardır. Kompozit malzemelerin oluşumu ile geliştirilen bazı özellikler mukavemet, tokluk, özgül ağırlık, aşınma ve korozyon direnci ve termal özellikleridir. İstenilen özellikler uygun yönde fiber yönlendirilmesi ile elde edilebilir.

Kompozit yapılar analitik ve sayısal yöntemler kullanılarak analiz edilebilir. Genellikle, bir kompozit yapı modellenirken bazı varsayımlar ve basitleştirmeler yapılması gerekmektedir. Sonlu elemanlar yöntemi (FEM) yaygın kompozit yapıların analizi kullanılmıştır. Ticari sonlu elemanlar analiz programları özel kompozit kompozit yapıların analizinde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, farklı fiber oryantasyonlarına sahip tabakalı kompozit kirişlerin statik yük altındaki mekanik ve dinamik yük altındaki serbest ve zorlanmış titreşim davranışları davranışları incelenmiştir. Çalışmada, 8 düğüm noktalı 24 serbestlik dereceli isoparametrik kabuk eleman kullanılmış ve sonlu elemanlar metodu ile analizler yapılmıştır. Kompozit kirişin serbest ve zorlanmış titreşimi incelenirken,

fiber oryantasyonlarının mekanik davranışına ve kirişin titreşim frekansına etkileri gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sonlu Elemanlar Yöntemi, Polimerik Kompozit Malzemeler

1. Giriş

İstenilen amaç için farklı özelliklerdeki iki yada daha fazla malzemeyi istenilen özellikleri sağlayacak duruma getirmek için belirli şartlar ve belirli oranlarda fiziksel olarak, makro yapıda bir araya getirilerek elde edilen malzemelere *Kompozit Malzemeler* denir [1-3].

Kompozit malzemeler, metal gibi geleneksel malzemelerden daha fazla mühendislik özelliklerine sahiptir. 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 fiber takviyeleri ile sağlanabilir. Bu özelliklerinden dolayı uzay yapılarında, ulaşım araçlarında, elektrik, kimya, konstrüksiyon ve gıda endüstrisinde kullanım alanları giderek artmaktadır.

Kompozit malzeme oluşan kompozit yapılar çeşitli yöntemlerle analiz edilebilirler. Günümüzde çeşitli nümerik çözüm metotları mevcuttur. Bu nümerik analiz metotlarından biri 'sonlu elemanlar' yöntemidir. Günümüz bilgisayarların kullanımının yaygınlaşması ile bu yöntemin kullanımı ile bu yöntemin kullanılması artmaktadır. Kompozit malzemelerde analiz yapılırken sonlu elemanlar metodunun kullanılması üzerine çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle kalın kompozit yapıların sonlu elemanlar yöntemiyle analizinde değişik bir yöntem Yıldız [3] tarafından geliştirilmiştir.

Kompozit yapıların titreşim ve mekanik analizi bir çok mühendislik uygulamalarında pratik önem kazanmaktadır. Örneğin deniz teknolojisinde motor veya makina aksamalarının mekanik dizaynında, dinamik yüklerin sebep olduğu titreşimler büyük önem kazanmaktadır[4]. Kullanım yerine ve çalışma şartlarına göre tabakalı kompozit plaklarda büyük genlikli titreşimler oldukça etkilidir[5].

Sonlu eleman modelinde, dinamik analizin hassaslığı kütle matrisinin formülasyonlarında etkilidir. Titreşim ve dinamik analizdeki birçok yüksek dereceli elemanlarda, katılık matrisinin elde edilmesi yüksek dereceden teorileri esas alır. Kompozit çubukların ve plakların analizi ile ilgili birçok çalışmada sadece temel titreşim frekansları üzerinde durulmamıştır. Çünkü yüksek titreşim frekansları birçok mühendislik uygulamalarında büyük önem kazanmaktadır[6].

Bu çalışmada, farklı fiber oryantasyonlarına sahip tabakalı kompozit kirişlerin statik yük altındaki mekanik ve dinamik yük altındaki serbest ve zorlanmış titreşim davranışları incelenmiştir.

2. Tabaka Yapısal Denklemleri

Klasik tabaka teorisinde; üç enine birim şekil değiştirme bileşeni (h_x, h_y, h_z) sıfırdır. Plaka için ortotropik tabakaların x_1x_2 düzlemi xy düzlemine göre farklılık gösterilebilir. Enine kayma gerilmeleri (v_{xz}, v_{yz}) sıfırdır. Ayrıca $h_z = 0$ olduğundan dolayı $v_{zz} = 0$ olur. Kompozit malzemeler, mikroskopik ve makroskopik gözle bakıldığında yapı olarak değişken özelliktedir. Makroskopik olarak, kompozit malzemelerin mekanik özellikleri, matris ve fiber malzemesinin ağırlıklar oranı alınarak bulunur. Kompozit malzeme, homojen yapıli bir malzeme olarak varsayılır[2].

Anizotropik bir malzemenin genelleştirilmiş Hooke Kanunu şöyle yazılır;

$$v_{ij} @ C_{ijkl} \epsilon_{kl} \quad (1)$$

Kartezyen koordinat sisteminde v_{ij} (v_i) gerilme bileşenleri, h_j (h_j) birim şekil değiştirme bileşenleri ve C_{ij} malzeme özellik katsayılarıdır.

Gerilme – birim şekil değiştirme ilişkileri;

$$\begin{matrix} C_{11} & C_{12} & 0 \\ C_{12} & C_{22} & 0 \\ 0 & 0 & C_{66} \end{matrix} \begin{matrix} \epsilon_{11} \\ \epsilon_{22} \\ \epsilon_{66} \end{matrix} \quad (2)$$

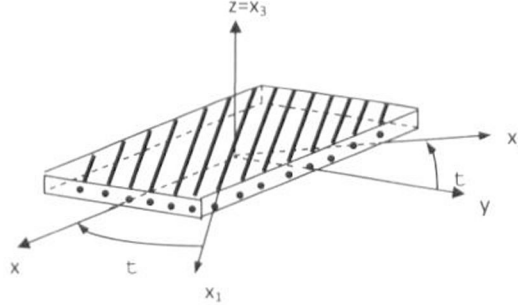
olarak verilir. Burada Q_{ij} katılıklardır ve

$$\begin{matrix} Q_{11} @ \frac{E_1}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} & Q_{12} @ \frac{\nu_{12}E_2}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} \\ Q_{22} @ \frac{E_2}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} & Q_{66} @ G_{12} \end{matrix} \quad (3)$$

ile bulunur. E_1, E_2, ν_{12} ve G_{12} malzeme sabitleridir.

2.1. Gerilme Bileşenlerinin Dönüşümü

(x, y, z) koordinatları bir problemin çözümünde kullanılan koordinatlar, (x_1, x_2, x_3) temel malzeme koordinatları olarak tanımlanır. (Şekil 1) Tabakalara üstten bakıldığında (ters olarak); (x, y, z) koordinatları x_1, x_2 düzleminde x_1, x_2, x_3 ün saat ibresi yönünde t açısı kadar döndürülmesi ile elde edilir.



Bu iki ek: **Şekil 1:** Global koordinat sisteminde fiber takviyeli tabaka iki
denklemler yardımıyla elde edilir.

$$\begin{bmatrix} \tilde{A}_{11} & \tilde{A}_{12} & \tilde{A}_{13} & \tilde{A}_{14} & \tilde{A}_{15} & \tilde{A}_{16} \\ \tilde{A}_{21} & \tilde{A}_{22} & \tilde{A}_{23} & \tilde{A}_{24} & \tilde{A}_{25} & \tilde{A}_{26} \\ \tilde{A}_{31} & \tilde{A}_{32} & \tilde{A}_{33} & \tilde{A}_{34} & \tilde{A}_{35} & \tilde{A}_{36} \\ \tilde{A}_{41} & \tilde{A}_{42} & \tilde{A}_{43} & \tilde{A}_{44} & \tilde{A}_{45} & \tilde{A}_{46} \\ \tilde{A}_{51} & \tilde{A}_{52} & \tilde{A}_{53} & \tilde{A}_{54} & \tilde{A}_{55} & \tilde{A}_{56} \\ \tilde{A}_{61} & \tilde{A}_{62} & \tilde{A}_{63} & \tilde{A}_{64} & \tilde{A}_{65} & \tilde{A}_{66} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos^2 \theta & \sin^2 \theta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sin^2 \theta & \cos^2 \theta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ \sin \theta \cos \theta & -\sin \theta \cos \theta & 0 & 0 & 0 & \cos^2 \theta - \sin^2 \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & A_{14} & A_{15} & A_{16} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} & A_{24} & A_{25} & A_{26} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} & A_{34} & A_{35} & A_{36} \\ A_{41} & A_{42} & A_{43} & A_{44} & A_{45} & A_{46} \\ A_{51} & A_{52} & A_{53} & A_{54} & A_{55} & A_{56} \\ A_{61} & A_{62} & A_{63} & A_{64} & A_{65} & A_{66} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Kısaca

$$(\sigma)_p = [T](\sigma)_m \quad (5)$$

şeklinde yazılabilir. Burada T dönüşüm matrisidir.

Malzeme katsayılarının dönüşümü için;

$$[\tilde{C}] = [T][C][T] \quad (6)$$

ifadesi verilir. Burada $[C]$ malzeme koordinatlarındaki 6x6 boyutundaki malzeme katılık matrisidir.

3. Kirişin Kütle Ve Katılık Matrisinin Elde Edilmesi

Şekil 2'de gösterilen 8 düğüm noktalı 24 serbeslik dereceli isoparametrik kabuk elemanın şekil fonksiyonları köşelerdeki düğüm noktaları için;

$$f_i(\xi, \eta) = \frac{1}{4} (1 + \xi_i \xi + \eta_i \eta + \xi_i \xi \eta_i) \quad i = 1, 3, 5, 7 \quad (7)$$

orta noktalardaki düğüm noktaları için,

$$\begin{aligned} f_i(f, k) &= \frac{1}{2} f_i + f_i^2 + k_0, & i &= 2, 6 \\ f_i(f, k) &= \frac{1}{2} f_i + f_0 + k^2, & i &= 4, 8 \end{aligned} \quad (8)$$

olarak yazılır. Burada, $f_0 @ \{f_i, k_0 @ k k_i$ olarak verilmiştir. ($\{i, k_i\}$) ise düğüm noktalarının eğrisel koordinatlarda aldığı değerlerdir ve Çizelge 1' de değerleri verilmiştir.

Çizelge 1: ($\{i, k_i\}$) düğüm noktalarının eğrisel koordinatlarda aldığı değerler

i	1	2	3	4	5	6	7	8
f_i	-1	0	1	1	1	0	-1	-1
k_i	-1	-1	-1	0	1	1	1	0

Her bir elemanın katılık matrisin elemanları;

$$\begin{aligned} K_{ij}^{11} &= A_{11} S_{ij}^{xx} + A_{16} S_{ij}^{xy} + S_{ij}^{yx} + A_{66} S_{ij}^{yy} \\ K_{ij}^{12} &= A_{12} S_{ij}^{xy} + A_{16} S_{ij}^{xx} + A_{26} S_{ij}^{yy} + A_{66} S_{ij}^{yx} \\ K_{ij}^{22} &= A_{66} S_{ij}^{xx} + A_{26} S_{ij}^{xy} + S_{ij}^{yx} + A_{22} S_{ij}^{yy} \\ K_{ik}^{13} &= 0 B_{11} R_{ik}^{xxx} + 0 B_{12} R_{ik}^{xyy} + 2 B_{26} R_{ik}^{xxy} + 0 B_{16} R_{ik}^{yxx} + 0 B_{26} R_{ik}^{yyy} + 2 B_{66} R_{ik}^{yxy} \\ K_{ik}^{23} &= 0 B_{16} R_{ik}^{xxx} + 0 B_{26} R_{ik}^{xyy} + 2 B_{66} R_{ik}^{xxy} + 0 B_{12} R_{ik}^{yxx} + 0 B_{22} R_{ik}^{yyy} + 2 B_{26} R_{ik}^{yxy} \\ K_{ik}^{33} &= D_{11} T_{kl}^{xxxx} + D_{12} T_{kl}^{xxyy} + T_{kl}^{yyxx} + 2 D_{16} T_{kl}^{xxyy} + T_{kl}^{xyxx} + 2 D_{26} T_{kl}^{xxyy} + T_{kl}^{yyxy} + \\ & 4 D_{66} T_{kl}^{xyxy} + D_{22} T_{kl}^{yyyy} \end{aligned} \quad (9)$$

kütle matrisinin elemanları;

$$M_{ij}^{11} = \int_{\Omega} \rho_0 \, dx dy, \quad M_{ik}^{13} = \int_{\Omega} \rho_0 \, x \, dx dy$$

$$M_{ij}^{22} @ \hat{\mathbb{E}}_w I_0 \setminus i^e \setminus j^e dx dy \quad M_{ik}^{23} @ 0 \hat{\mathbb{E}}_w I_1 \setminus i^e \frac{\gg m_k^e}{\gg y^e} dx dy$$

$$M_{kl}^{23} @ \hat{\mathbb{E}}_w \frac{\tilde{A}}{\mathbb{A}} I_0 m_k^e m_l^e \cdot I_2 \left| \frac{\gg m_k^e}{\gg x^e} \frac{\gg m_l^e}{\gg x^e} \cdot \frac{\gg m_k^e}{\gg y^e} \frac{\gg m_l^e}{\gg y^e} \frac{\mathbb{C}}{\mathbb{B}} \frac{\mathbb{C}}{\mathbb{B}} dx dy \right. \quad (10)$$

şeklindedir. Burada;

$$S_{ij}^{(k)} @ \hat{\mathbb{E}}_w \frac{\gg / i^e \gg / i^e}{\gg f^e \gg k^e} dx dy \quad R_{ij}^{(k)} @ \hat{\mathbb{E}}_w \frac{\gg / i^e \gg^2 m_k^e}{\gg f^e \gg k^e \gg} dx dy$$

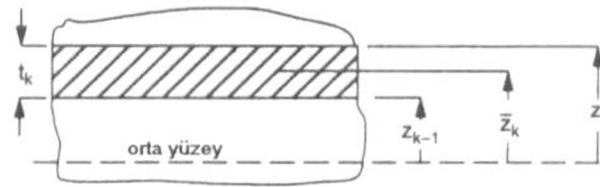
$$T_{ij}^{(k)p} @ \hat{\mathbb{E}}_w \frac{\gg^2 / k^e \gg^2 m_k^e}{\gg f^e \gg k^e \gg p^e} dx dy \quad (11)$$

$$A_{ij}^k @ \hat{\mathbb{I}}_{k=1}^N \hat{Q}_{ij}^k t_k \quad B_{ij}^k @ \hat{\mathbb{I}}_{k=1}^N \hat{Q}_{ij}^k t_k \bar{z}_k$$

$$D_{ij}^k @ \hat{\mathbb{I}}_{k=1}^N \hat{Q}_{ij}^k \left| t_k \bar{z}_k^2 \cdot \frac{t_k^3}{12} \frac{\mathbb{C}}{\mathbb{B}} \right. \quad (12)$$

denklemleriyle hesaplanır ve **A** k' ninci tabakanın uzama katılık matrisi, **B** k' ninci tabakanın uzama ve eğilme çifti matrisi, **D** ise k' ninci tabakanın eğilme katılık matrisi olarak adlandırılır. **A**, **B** ve **D** matrislerinin hesaplanmasında kullanılan k' ninci tabakanın kalınlığı; $t_k @ z_k - 0 z_{k-1}$, k' ninci tabakanın merkezinin tabakalı kompozitin

orta düzlemine olan uzaklığı; $\bar{z}_k @ \frac{z_k + z_{k-1}}{2}$ dir. (Şekil 2) m ise bu elemanın interpolasyon fonksiyonudur.



Şekil 2. $\bar{z}_k$ ve t_k 'nin z_k ve z_{k-1} ile olan bağlantısı.

4. Tabakalı Kompozit Kirişin Titreşim Analizi

Çok serbestlik dereceli sistemlerin titreşim davranışları bir serbestlik dereceli sistemlerin titreşim davranışından farklıdır. N serbestlik derecesine sahip böyle bir sistemin çözümlenebilmesi için n tane diferansiyel denklem tanımlamak gerekmektedir. Bundan dolayı da sistem n tane doğal frekansa sahiptir. Bu diferansiyel denklemlerin çözümleri homojen çözüm ve ayrıntılı çözümün toplamından oluşur. Homojen çözüm sistemin serbest titreşim özelliklerini gösterirken, ayrıntılı çözüm sistemin zorlanmış titreşim özelliklerini gösterir. Homojen çözüm ile bulunan sistemin doğal frekansları bu sistemin zorlanmış titreşim özelliklerinin belirlemek için ayrıntılı çözümde kullanılır. Zorlanmış titreşimlerin belirlenebilmesi için kullanılan modal analiz yönteminde sistemin doğal frekanslarının ve mod şekillerinin bilinmesi gereklidir.

N serbestlik dereceli sönümsüz serbest titreşimlerin homojen çözümü için genel diferansiyel denklemi,

$$\mathbf{M} \ddot{\mathbf{x}} + \mathbf{K} \mathbf{x} = \mathbf{0} \quad (13)$$

şeklinde dir. Buradaki $\mathbf{M}$ ve $\mathbf{K}$ simetrik n x n boyutlarında olan kütle ve katılık matrisleri ve $\mathbf{x}$ ise n boyutunda genel koordinatların kolon vektörüdür. Eğer diferansiyel denklemler oluşturulurken enerji yöntemi kullanılır ise $\mathbf{M}$ ve $\mathbf{K}$ matrisleri kesinlikle simetrik olur. Simetri serbest titreşim analizi için gerekli değildir fakat zorlanmış titreşimlerin çözümü için bu matrisler mutlaka simetrik olmalıdır. denklem 13' ün çözümü;

$$\mathbf{x} = \mathbf{X} e^{i\omega t} \quad (14)$$

olur. Buradaki ω titreşimin frekansı ve $\mathbf{X}$ de n boyutlu sabit vektörüdür.

Denklem 14' deki $\mathbf{x}$ değerini denklem 13'de yerine koyarsak;

$$- \omega^2 \mathbf{M} \mathbf{X} + \mathbf{K} \mathbf{X} = \mathbf{0} \quad (15)$$

$e^{i\omega t}$ çözümlerinden;

$$-\omega^2 \mathbf{M} \mathbf{X} + \mathbf{K} \mathbf{X} = \mathbf{0} \quad (16)$$

denklem 16'yı $\mathbf{M}^{-1}$ ile çarparsak;

$$-\mathbf{M}^{-1} \mathbf{K} \mathbf{X} + \omega^2 \mathbf{I} \mathbf{X} = \mathbf{0} \quad (17)$$

sonucunu elde ederiz. Buradaki $\mathbf{I}$ n x n boyutlarında birim matristir. Cramer kuralının uygulanması ile $\mathbf{X}$ ' in j' inci elemanı olan X_j ;

$$X_j = \frac{0}{\det[\mathbf{M}^{01} \mathbf{K} \ 0 \ w^2 \mathbf{I}]} \quad (18)$$

elde edilir. Burada $w^2 \mathbf{M}^{-1} \mathbf{K}$ ' nin özdeğeridir. Pozitif olan değer doğal frekans olarak adlandırılır.

N serbestlik dereceli sistemlerin zorlanmış titreşimlerinin tam çözümü için birçok yöntem bulunmaktadır. Fakat bu sistemlerin zorlanmış titreşim davranışlarını belirlemek için kullanılan en etkili yöntem modal analizdir. Bu yöntemde serbest titreşim analizi ile hesaplanan mod şekilleri arasındaki diklik durumları genelleşmiş koordinatlar ile temel koordinatlar arasındaki geçişi tanımlamak için kullanılır. Modal analiz çok serbestlik dereceli tüm sönümsüz lineer çok serbestlik dereceli sistemlere uygulanabilen etkili bir yöntemdir.

Çok serbestlik dereceli sistemler için temel koordinatlar, seçilen genel koordinatların lineer dönüşümü ile bağıntılıdır. Bu lineer dönüşüm;

$$\mathbf{x} = \mathbf{P} \mathbf{p} \quad (19)$$

olmaktadır. Burada $\mathbf{P}$ modal matris olarak adlandırılır. Denklem 19' un her iki tarafı $\mathbf{P}^{-1}$ ile çarpılırsa;

$$\mathbf{p} = \mathbf{P}^{01} \mathbf{x} \quad (20)$$

denklemini elde edilir. Çok serbestlik dereceli zorlanmış sönümsüz titreşimlerin genel denklemi;

$$\mathbf{M} \ddot{\mathbf{x}} + \mathbf{K} \mathbf{x} = \mathbf{F} \psi, \quad (21)$$

şeklindedir. Denklem 19'u denklem 21' de yerine koyarak,

$$\mathbf{M} \mathbf{P} \ddot{\mathbf{p}} + \mathbf{K} \mathbf{p} = \mathbf{F} \psi, \quad (22)$$

elde edilir ve bu denklemin her iki tarafı $\mathbf{P}^T$ ile çarpılırsa;

$$\mathbf{P}^T \mathbf{M} \mathbf{P} \ddot{\mathbf{p}} + \mathbf{P}^T \mathbf{K} \mathbf{p} = \mathbf{G} \psi, \quad (23)$$

$$\mathbf{G} \psi = \mathbf{P}^T \mathbf{F} \psi, \quad (24)$$

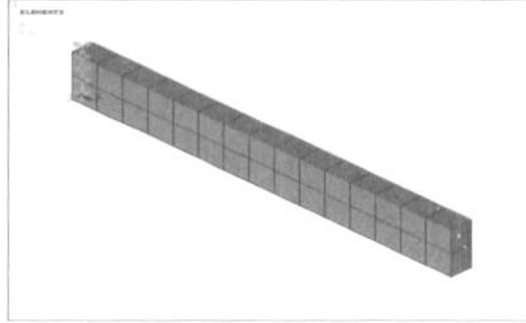
denklemleri elde edilir. Denklem 23, n tane denklem olarak;

$$\begin{aligned}
 \ddot{p}_1 &= w_1^2 p_1 @ G_1 \# , \\
 \ddot{p}_2 &= w_2^2 p_2 @ G_2 \# , \\
 \ddot{p}_3 &= w_3^2 p_3 @ G_3 \# , \\
 &\vdots \\
 \ddot{p}_n &= w_n^2 p_n @ G_n \# ,
 \end{aligned} \tag{25}$$

şeklinde gösterilebilir. Denklem 25' in çözümü; $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$, adet zorlanmış titreşim frekansını vermektedir (Uyar, 2003).

5. Sonuçlar

Kompozit kirişin malzemesi olarak glass-epoksi kullanılmış ve 150 x 20 (mm) boyutlarında dikdörtgen olarak modellenmiştir. Sınır şartı olarak kirişin sol ucu ankastre olarak bağlanmıştır (Şekil 3)



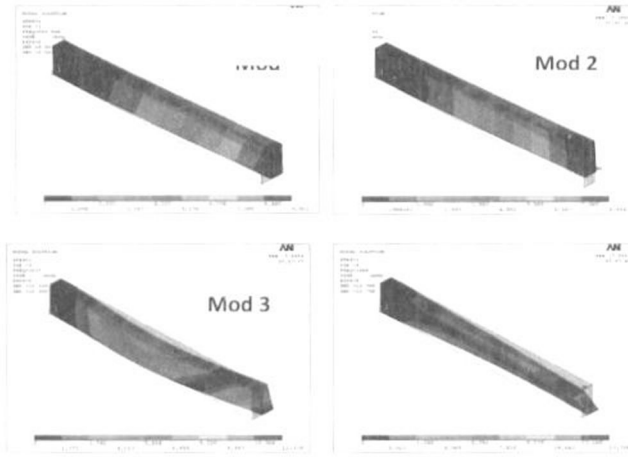
Şekil 3 Kirişin sonlu eleman modeli.

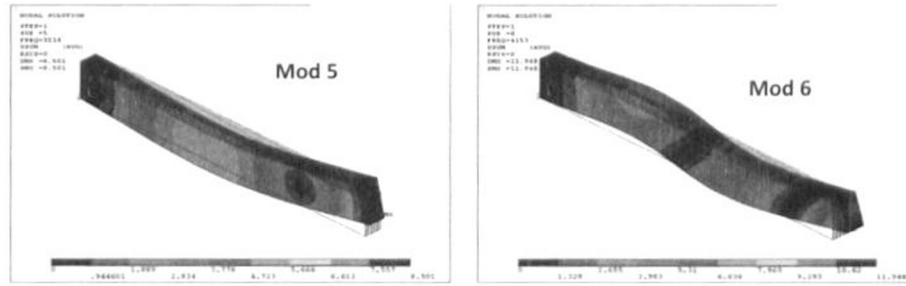
Farklı fiber oryantasyonlarında elde edilen doğal frekanslar tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2'de gösterilen değerler incelendiğinde doğal frekansları en büyük olan bir kaç diziliş $[0_8]$, $[(15/-15)_4]$, $[(15/-15)_2]_s$, $[0/45/-45/90]_s$, $[0_3/15]_s$ şeklinde ve doğal frekansı en küçük olan diziliş ise $[(45/-45)_4]$ şeklinde bulunmuştur. Sonuçlardan görüldüğü gibi en yüksek doğal frekansların elde edildiği tabaka dizilişleri $[(15/-15)_2]_s$ ve $[(15/-15)_4]$ dizilişleridir. Kiriş için en uygun tabaka dizilişleri bunlardır. Bu sebeple bu dizilişlerin mod şekilleri ve toplam yer değiştirmeleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

Tablo 2 Çeşitli dizilişlerden elde edilen doğal frekanslar.

Doğal Frekanslar (Hz.)						
Tabaka Dizilişi	1	2	3	4	5	6
[0 ₈]	286.36	622.36	1552.5	1756.3	2527.6	3736.3
[0 ₂ /90 ₂] _s	269.67	486.81	1127.6	1644.4	2216.9	3618.1
[90 ₂ /0 ₂] _s	127.03	486.81	791.21	1054.8	2194.1	2216.9
[(0/90) ₂] _s	242.35	486.81	1113.0	1485.4	2216.9	3540.6
[(90/0) ₂] _s	174.36	486.81	1077.9	1080.1	2216.9	2970.4
[(0/90) ₄]	207.58	486.50	1095.3	1279.6	2213.4	3448.2
[(90/0) ₄]	207.58	486.50	1095.3	1279.6	2213.4	3448.2
[(30/-30) ₄]	167.65	399.68	1044.2	2383.2	2511.0	2932.5
[(-30/30) ₄]	167.65	399.68	1044.2	2383.2	2511.0	2932.5
[(45/-45) ₄]	95.637	224.76	602.53	1372.5	1722.1	2569.4
[(15/-15) ₂] _s	249.97	619.50	1516.9	1864.1	3218.2	4153.4
[(15/-15) ₄]	255.08	616.14	1569.5	1822.4	3200.5	4285.1

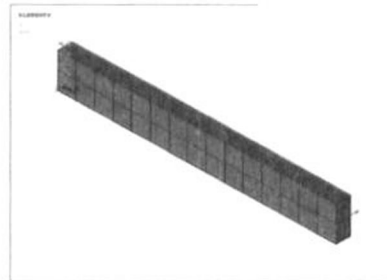




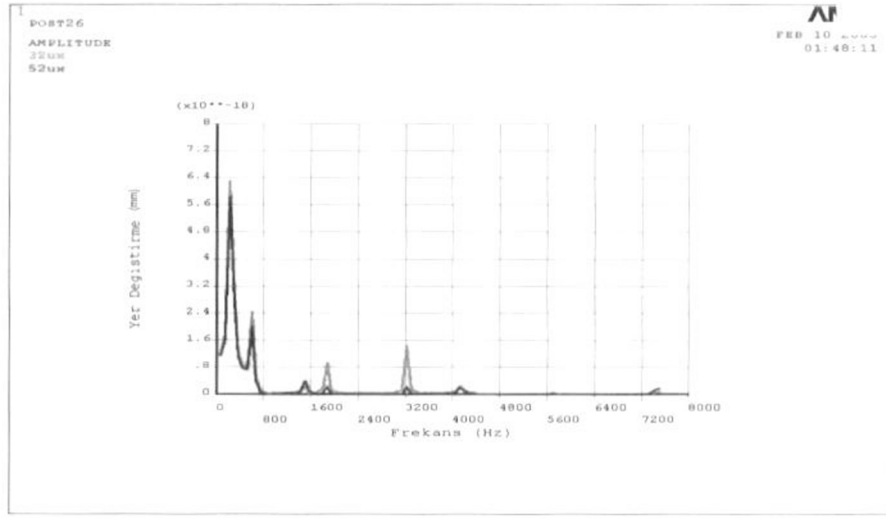
Şekil 5 $[(15/-15)_2]_s$ dizilişi kullanılarak modellenen kompozit kirişin mod şekilleri

Kirişe z yönünde 1000 N'luk kuvvet uygulandığında, bu kuvvete bağlı kirişin yer değiştirmeler cinsinden davranışı ise $[(15/-15)_2]_s$ dizilişi için aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Şekillerde görülen tepe değerleri rezonans değerleridir.

Kiriş bu frekanslarda rezonansa gelmektedir.

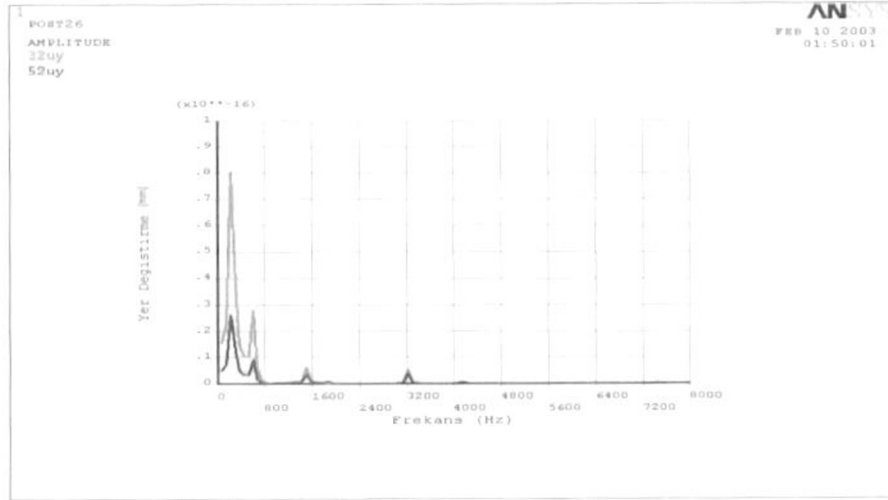


Şekil 6 Kuvvet zorlamalı kirişin sonlu eleman modeli.

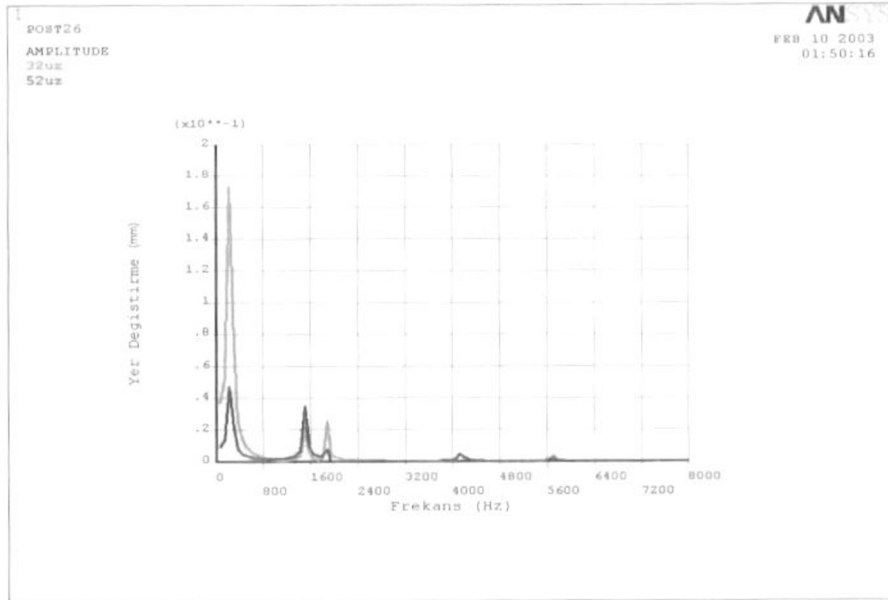


x yönünde

Şekil 7' de 32 ve 52 numaralı düğüm noktalarının sırası ile x, y ve z yönlerindeki yer değiştirme grafikleri görülmektedir.



y yönünde



z yönünde

Şekil 7 Kirişin 32 ve 52 numaralı düğüm noktalarındaki yer değiştirmeler

sonuçlardan anlaşılacağı üzere fiber yönlerine bağlı olarak kirişin doğal frekansları büyük bir değişme göstermektedir. Doğal frekansların yüksek olması kirişin daha rijit bir davranışa sahip olmasını sağlayacağından en uygun fiber yönleri belirlenir. Zorlanmış titreşim analizi ile elde edilen frekansa bağlı yer değiştirme sonuçları incelendiğinde en büyük yer değiştirmelerin kuvvetin uygulandığı yöndeki yer değiştirmeler olduğu gözlenmiştir. Bu sonuçların dışında modal analiz yapılırken bazı dizilişlerin kirişin bazı doğal frekanslarını etkilemediği gözlenmiştir. Bu dizilişler incelendiğinde şu sonuçlar elde edilmiştir; Sadece simetrik olan dizilişlerde geçerli olmak şartı ile, kullanılan her bir açının sayısı ve bu açı değerleri sabit tutularak yerleri değiştirildiğinde ikinci, beşinci ve sekizinci doğal frekanslar değişmemektedir.

6. KAYNAKLAR

- [1] Daniel I.M. and Ishai O. (1994): "Engineering Mechanics of Composite Materials", Oxford University Press, New York.
 - [2] Reddy, J.N. (1997): "Mechanics of Laminated Composite Plates", Theory and Analysis, CRC Press, New York.
 - [3] Yıldız H, Sarikanat M. 2001, "Finite- element analysis of thick composite beams and plates", Composite Science and Technology 61 (2001) 1723-1727 .
 - [4] Romanelli E., Laura P.A.A. (2001): "Forced Transverse Vibrations of a Simply Supported Rectangular Orthotropic Plate in The case Where The Force Acts Over a Plate Subdomain", Ocean Engineering, 28, s.1135-1144.
 - [5] Reddy J.N., Chao W.C. (1981): "Large-Deflection and Large Amplitude Free Vibrations of Laminated Composite Material Plates", Computers & Structures, 13, s.341-347.
 - [6] Ramtekkar G. S., Desai Y. M. (2002): "Natural Vibrations Of Laminated Composite Beams By Using Mixed Finite Element Modelling", Journal of Sound and Vibration, 257(4). s.635-651.
- Graham K.S. (1993): "Fundamentals of Mechanical Vibrations", McGraw – Hill, Inc.
- Kamal K., Durvasula S. (1986): "Some Studies on Free Vibration of Composite Laminates", Composite Structures, 5, s.177-202.

Norita Y., Leissa A.W. (1992): "Frequencies and Mode Shapes of Cantilever Laminated Composite Plates", Journal of Sound and Vibration, 154, s.161-172.

Uyar, O. (2003). "Kompozit Kirişlerin Titreşim Analizi", E.U. Yüksek Lisans Tezi.

Shi G., Lam K. Y. (1999): "Finite Element Vibration Analysis Of Composite Beams Based On Higher-Order Beam Theory", Journal of Sound and Vibration, 219(4). s.707-721.

Zhou, H.B., Li G.Y. (1996): "Free Vibration analysis of Sandwich Plates with Laminated Faces Using Spline Finite Point Method", Computers & Structures, 59, s.257-263.

**ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ III /
PRODUCTION TECHNOLOGIES III**

**KOMPOZİT MALZEMELERİN TASARIMI,
ANALİZİ, KARAKTERİZASYONU II /
COMPOSITE MATERIALS DESIGN,
ANALYSIS AND CHARACTERIZATION II**

ELYAF YÖNLENDİRME ÜNİTELERİ İLE UZUN CAM ELYAF TAKVİYELİ TERMOPLASTİK LEVHA EKSTRÜZYONU

LONG GLASS FIBRE REINFORCED THERMOPLASTIC SHEET EXTRUSION USING BY FIBRE MANAGEMENT

E. Selcuk ERDOĞAN¹, S. F. BUSH²

¹Trakya Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği
Bölümü, Edirne, Türkiye

²Emekli Profesör, UMIST, Manchester Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji
Enstitüsü, İngiltere.

esalcuk@trakya.edu.tr, bush@manchester.ac.uk

Özet

Plastik malzemeler içerisinde önemli bir role sahip olan termoplastikler endüstriyel anlamda önemli bir kullanım alanına sahiptir. Termoplastik malzemelerin üretim yöntemlerinden birisi de ekstrüzyon yöntemidir. Bilinen yöntemler ile ekstrüzyon ürünleri levha, boru ve profil kalıplarından elde edilmektedir. Bu yol ile elyafların büyük bir kısmının işlem yönünde yer alması nedeniyle elde edilen ürünler anizotropiktir. Bu çalışmanın bilinen yöntemlerden farkı, elyaf yönlendirme ünitelerine sahip olmasıdır. Elyaf yönlendirme üniteleri termoplastik kompozit ürünlerin oldukça yüksek izotropik ürünler olarak elde edilmesini ortaya çıkarmasıdır.

Anahtar sözcükler: Termoplastik, levha, ekstrüzyon, cam elyaf, elyaf yönlendirme.

Abstract

The thermoplastics which as the important part of plastics, are spreaded in the plastic industry. One of manufacturing of the thermoplastic artefact is plastic extrusion process. By classical methods of extrusion the artefact is obtained by means of a die such as flat die, pipe die, profile die etc. This way is given a artefact of anisotropic due to most of fibres have been managed in processing direction. In this work the difference from the other counterparts is that fibre managing system. The fibre managing system is given highly isotropic artefact of plastic matrix composite.

Keywords: Thermoplastic, sheet, extrusion, glass fibre, fibre management

1. Giriş

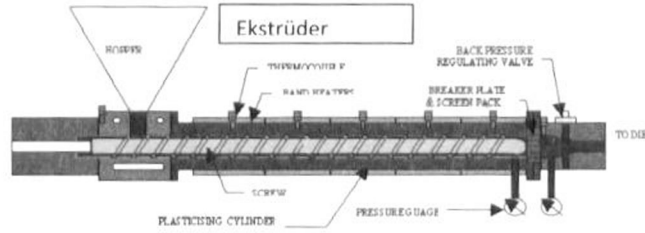
Uzun cam elyaf takviyeli termoplastik kompozit malzemeler 3 ile 15 mm elyaf uzunluğu aralığında endüstriyel alanda gittikçe artan oranlarda kullanılmaya devam etmektedir. Buna örnek bir sistem olarak UMIST-Manchester Üniversitesi Plastik Mühendisliği Bölümünde oluşturulan SAFIRE (Self Assembling Fibre Reinforcement) sistemi, yani Kendince Oluşan Elyaf Takviye Sistemi (KOELTAS) verilebilir [1]. Bu işlem ekstrüzyon, enjeksiyon kalıplama ve hava şişirme gibi termoplastik malzeme işleme yöntemlerine uygulanabilmektedir. Buradaki temel noktalar, elyafları işlem sırasında kırılıp ufalanmaya karşı korumak ve akış nedeniyle deforme olabilecek yapıda tek filamentleri yapılandırmaktır. Böylece kalıba yönlendirken ergimiş polimerdeki yapı engellenmemiş olacaktır [2]. Böyle bir sistemde uzun cam elyaf takviyeli termoplastik kompozit malzemeler izotropik yapıya yakın yapıda üretilebilmektedir.

2. Uzun cam Elyaf Takviyeli Termoplastik Levha Ekstrüzyonu

2.1. Tek Vida Ekstrüzyonu

Ekstrüzyon termoplastik ve termoplastik kompozit ürünlerin üretiminde en yaygın üretim yöntemlerden birisidir. Tek vida ekstrüderde kovan içerisinde bir vida

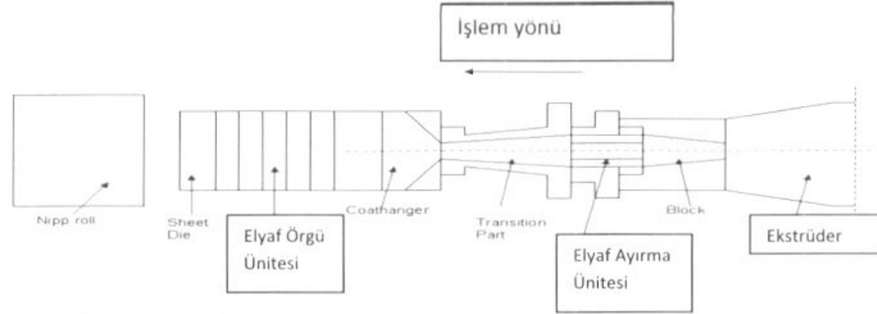
bulunmaktadır Şekil 1. Plastik granüller bir besleme hunisinden vidanın il bölümü olan besleme bölümüne doğru yerçekimi etkisi ile ya da emişli bir sistem yardımıyla gönderilmektedir. Granüller konveyör biçimli vida ile kalıba doğru taşınmakta ve kovanda bulunan ısıtıcılardan ergime için ısı transferi mekanizması ile ısıtılmaktadır. Kovan sonunda ergimiş malzeme kalıba doğru yönlendirilerek istenilen şekli alıp soğutulmakta ve gerekli bitirme işlemlerine tabi tutulmaktadır.



Şekil 1. Tek vida ekstrüzyon makinasının ana bölümleri

Şekil 1’ de gösterilen ekstrüder vida çapı değişen 3 bölgeye sahiptir. Besleme Bölgesi: Burada polimer ön ısıtmaya tabi tutulur ve sıkıştırma bölgesi’ne doğru konveyör sistemi gibi taşınır. Burada önemli nokta dozajlama bölgesine yeterli miktarda ergimiş malzemenin iletilmesidir. Sıkıştırma Bölgesi: Bu bölgede vida derinliği göreceli olarak azalmaktadır. Bu, granüllerden sıkışarak çıkan havanın kovan duvarlarından kesiti azalan ergiyik boyunca ısı iletimini geliştirir. Dozajlama Bölgesi: Burada vida derinliği sabittir. Heterojen ergiyik sabit akış oranı sabit basınç ve sıcaklık altında kalıba doğru yönlendirilir. [3].

Şekil 2 SAFIRE levha ekstrüzyon sistemini göstermektedir.



Şekil 2. SAFIRE levha ekstrüzyon işlemi şeması

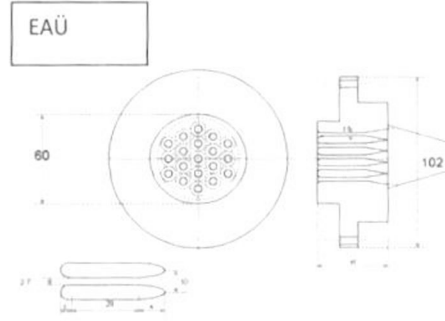
2.1. Elyaf Yönlendirme ve İzotropik Ekstrüze Levha

Bilinen levha ekstrüzyon yöntemleri ile izotropik termoplastik ya da termoplastik kompozit üretimi yapıldığını söylemek pek gerçekçi olmayıp ürünler yüksek oranda anizotropik olarak elde edilmektedir. SAFIRE ekstrüzyon işleminde izotropik levha üretimi Elyaf Ayırma Ünitesi ve Elyaf Örgü Ünitesi adı verilen Elyaf Yönlendirme Üniteleri vasıtası ile takviye elyaflarının dağılım ve yönlendirilmesi yapılarak elde edilmektedir [4].

2.2. Levha Ekstrüzyonu için Elyaf Yönlendirme Üniteleri

2.2.1. Elyaf Ayırma Ünitesi

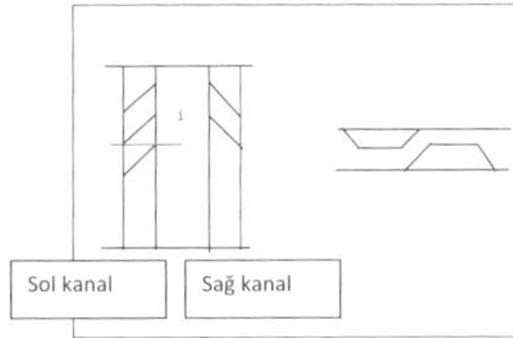
Elyaf Ayırma Ünitesi (EAÜ) boyut orantısallığı yüksek olan ve çapı en yüksek elyaf şeriti çapından büyük olan kanallardan oluşmaktadır. Bu kanallar hegzagonal yerleşime sahiptir. İçinde elyaf şeritleri bulunduran ergiyiki ekstrüderden buraya yönlendirmede blokaj elemanı gerekmektedir [4].



Şekil 3. Elyaf ayırma ünitesi

2.2.2. Elyaf Örgü Ünitesi

Elyaf Örgü Ünitesi (EÖÜ) düz ve kanallı plakaların bir kombinasyonudur. Bu kanallar polimerin ana akışından ayrılan yerel akış yollarını göstermektedir. Kanalların düzenlenmesinin bir sonucu olarak elyaflar her yöne dağılımlı olarak yönlendirilmekte olup kanalın en ve boy boyutlarına bağlıdır. Kanallar akış yönüne ünitenin yukarısında ve aşağısında bir α açısı yönündedir. Şekil 4'te kanal düzenlemesi verilmektedir. [4].



Şekil 4. Kanal örgü ünitesi elemanı

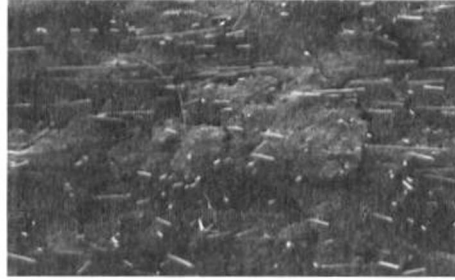
3.Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, bilinen ekstrüzyon yöntemleri ile ve elyaf yönlendirme esaslı bir ekstrüzyon yöntemi ile üretilmiş cam elyaf takviyeli polipropilen matrisli kompozit malzemelerden elde edilen bazı değerler Tablo1’de verilmektedir.

Tablo 1.Elyaf örgü ünitesi öncesi ve sonrası dayanım sonuçları

Malzeme	EÖÜ durumu	Akış yönü dayanımı (MPa)	Akışa dik yönde dayanım (MPa)
PP Kompozit1	Öncesi	47.50	21.60
	Sonrası	44.55	36.45
PP Kompozit2	Öncesi	55.70	27.10
	Sonrası	52.45	40.85

Çekme deneyi sonrası SAFIRE levha Şekil 5’te gösterilmektedir.



Şekil 5. Akış yönünde SAFIRE levha SEM görünüşü[4].

Sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Elyaf uzunluğu EAÜ sıcaklığının artması ile artmaktadır.
- Elyaf uzunluğu EAÜ sıcaklığının artması ile artmaktadır.

- Eğer EAÜ kullanılırsa elyaf ayırımı oranı yüksektir
- Elyaf dağılımı faktörü d , 0.5'e yakınsa mekanik özellikler iyileşir ve EÖÜ kullanımı nedeniyle hemen hemen bir izotropik yapı elde
- Her iki ünite de sıcaklığın artırılması elyaf kırılmasını azaltır ve ortalama elyaf uzunluğu yüksek elde edilir.
- EAÜ ve AÖÜ kullanımı ile bilinen yöntemlere göre mekanik özellikler çok daha iyileşmektedir.

Kaynaklar

- 1.U.S. Patent, Filament Separation in Liquids, Patent number 5,035,848, July 30th 1991
- 2.Bush S F, Long Glass Fibre Reinforcement of Thermo-plastic: Experimental and Theoretical Results for Injection and Blow Moulding, Sheet and Pipe Extrusion, International Polymer Processing Society, Vol 14(3), 1999
- 3.Crawford R J, Plastics Engineering, 2nd Edition, Pergamon Press, 1987, U.K.
- 4.Erdogan . E S, Development of Long Fibre Reinforcement for the Thermoformable Sheet, PhD Thesis 2001, UMIST, Manhester, U.K.

**CAM FİBER TAKVİYELİ POLİMERİK
KOMPOZİTLERDE FİBER ORYANTASYONUN KAYMA
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**EXAMINATION OF THE EFFECT OF FIBER
ORIENTATION ON SHEAR PROPERTIES OF GLASS
FIBER REINFORCED POLYMER COMPOSITES**

Kader SEVER, Kasım CANATAN, Mehmet SARIKANAT

Barış Oğuz GÜRSES, Hasan YILDIZ

Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, 35100
Bornova/İzmir

severkader@hotmail.com

Özet

Kompozit malzemelerin hızla artan teknolojinin üstün özelliklerinden biri, tasarımcı için kendisine sınırsız özgürlük seçimi tanımasıdır. Kompozit malzemelerin bileşenlerinin sadece sayısı değil, aynı zamanda seçilmiş yapısal şekile bağlı olarak dağıtılması ve yönlendirmesi muhtemelen aynı performans özelliklerine yol açabilir. İstenilen özellikler uygun yönde fiber yönlendirilmesi ile elde edilebilir.

Çok eksenli kumaşlar, her biri farklı eksenlerde elyaf dizilimine sahip bir veya daha çok katmandan oluşan kompozit takviye malzemeleridir ve geniş bir ürün çeşitliliğine sahiptir. Tek Eksenli, İki Eksenli, Üç Eksenli ve Dört Eksenli, Bu katmanlar genellikle polyester gibi yapısal olmayan dikiş ipliği ile birbirine bağlanır.

Bu çalışmada; tek (0°), iki ($45/-45$) ve üç ($0/45/-45$) yönlü kıvrımsız cam kumaş takviyeli polyester kompozitlerde fiber konfigürasyonunun kayma davranışına etkileri incelenmiştir. Matris malzemesi olarak polyester kullanılmıştır. Bu takviye elemanları kullanarak VARTM yöntemi ile tabakalı kompozitler üretilmiştir. Bu üretilen plaklardan 0° , 45° , 90° yönlerinde iosipescu test numuları kesilerek çıkartılmış ve ASTM D 5379 test prosedürüne göre kayma dayanımları ve

kayma modülleri tespit edilmiştir. Test sonunda oluşan hasarlar incelenmiştir. Bu testlerden elde edilen sonuçlara göre kompozit plakaların anizotropik davranış gösterdiği tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: polimerik kompozit, kıvrımsız kumaş, VARTM

Abstract

One of the outstanding characteristics of the rapidly increasing technology of composite materials is the almost unlimited freedom of choice that presents itself to the designer. Since not only the number of constituents in composite materials but also their distribution and orientation with in a given structural shape are subject to choice and can possibly lead to identical performance characteristics. Desired properties can be obtained by orienting fibers in proper directions.

Multiaxial fabrics consist of one or more layers of unidirectional fibers available in several forms: Unidirectional, Biaxial, Triaxial and Qaudraxial. These layers are held in place by a non-structural stitching thread, which is generally a polyester yarn.

In this study, the effect of fiber orientation was examined on shear properties of unidirectional (0°), biaxial ([45/-45]) and triaxial ([0/45/-45]) non-crimp glass fabric reinforced polymer composites. Polyester is used as matrix materials. Laminated composites were manufactured by the vacuum assisted resin transfer molding (VARTM) method using these reinforcements. İosipescu test specimens, which are in 0°, 45° and 90° directions, were cut from these composite plates and their shear modulus and strength are determined by ASTM D 5379 test procedure. At the end of the test, the damages in specimens are investigated. According to the results of these tests, it was determined that composite plates have anisotropic behavior from the test results.

Anahtar kelimeler: Polymeric composite, non-crimp fabric, VARTM

1. Giriş

İstenilen amaç için farklı özelliklerdeki iki yada daha fazla malzemeyi istenilen özellikleri sağlayacak duruma getirmek için belirli şartlar ve belirli oranlarda fiziksel olarak, makro yapıda bir araya getirilerek elde edilen malzemelere **Kompozit Malzemeler** denir [1].

Kompozit malzemeler, metal gibi geleneksel malzemelerden daha fazla mühendislik özelliklerine sahiptir. Karma bir malzemenin oluşumu ile geliştirilebilecek bazı özellikler sertlik, dayanıklılık, ağırlık azaltma, aşınmaya mukavemet, ısı özellikleri, yıpranmaya ve paslanmaya karşı dayanıklılıktır. İstenilen özellikler çeşitli doğrultulardaki fiber takviyeleri ile sağlanabilir. Son yıllarda kompozit yapılar oluşturulurken çok eksenli kumaşların kullanımı yaygınlaşmıştır.

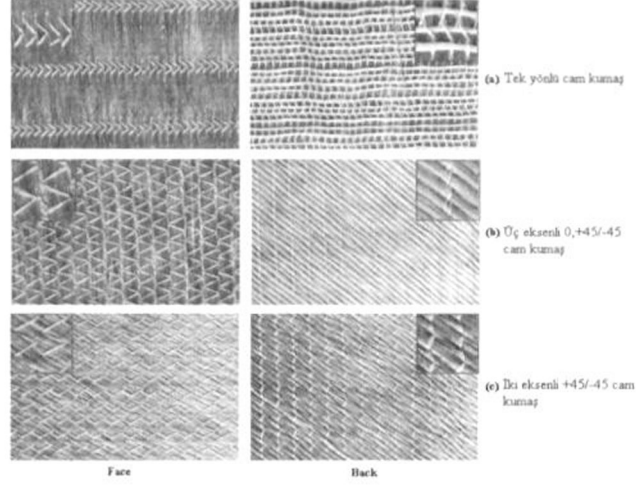
Çok eksenli kumaşlar, her katı farklı eksenlerde elyaftan kıvrımsız (non-crimp) yapıda imal edilebilen, çok katlı kumaşlardır. Katların sayısı, eksen açısı, ağırlığı ve kullanılan elyaf tipi isteğe göre tasarlanabilmektedir. Bütün katlar -20°'den -90°'a ve/veya +20°'den +90°'a kadar değişik açılarda yönelmiş elyaf içermek üzere üretilebilir. Katlar birbirine polyester iplikle bağlanmaktadır. 100g/m²-3000 g/m² aralığında farklı ağırlıkta ürünler üretme imkanı vardır. Kıvrımsız yapıdaki elyaf, yük karşısındaki performansını kompozit ürüne yansıtmakta ve üretim esnasında reçine biriktiren noktalar bulunmamaktadır. Bu durumda reçine tüketimini azaltarak elyaf oranının artmasına sebep olmaktadır. Çok eksenli kumaşlar, tasarım esnekliği ve reçine tasarrufu sağlaması, reçinenin hızlı ilerlemesi, ıslanmanın daha kolay olması ve reçine uygulaması sırasında oluşabilen hava boşluklarını engellemesi gibi avantajlara sahiptir.

Iosipescu kayma testi sadece kompozit plakaların tabakalar arası kayma modülünü belirlemek için kullanılan standart prosedürdür[2,3]. Ancak, önceki araştırmalar hangi iosipescu testinin dayandığı kayma durumunun teste ulaşılabilir olmayabileceğini ortaya koymuştur[4-5]. Mespoulet ve arkadaşları tabakalar arası kayma modüllerini kullanarak Post ve arkadaşları tarafından önerilen benzer bir testi belirlemek için çalıştılar[6]. Bir kompozit numunenin iki tarafına strainingauged yapııştırıldı. Hatanın daima kayma ve enine gerilmenin bir kombinasyonu vasıtasıyla meydana geldiği bulundu. Pierron ve Grediac iosipescu kayma testinde gerilimin varlığını ve kayma gerilmesinin avantaj sağlaması için bir teknik önermişlerdir[7]. Kompozit malzemelerin kayma dayanımlarının ve modüllerinin bulunması ile bir çok çalışma yapılmıştır. Bunların bazıları aşağıda verilmiştir.

2. Malzeme Ve Yöntemler

2.1. Malzemeler

Bu çalışmada; tek yönlü , iki ve üç eksenli kıvrımsız (non-crimp) kumaşlar, Metyx Telateks Tekstil Ürünleri San. ve Tic. A.S. tarafından üretilmiştir (Şekil 1(a), (b) ve (c)). Bu kumaşların üretici tarafından verilen parametreleri Tablo 1' de verilmiştir.



Şekil 1 Kumaş örnekleri

Kompozit malzeme üretiminde reçine olarak Polipol doymamış polyester 383-T reçine kullanılmıştır. Iso-phthalic asit tipi reçine (özellikler: 1.11, viskozite: 950). VARTM üretim işleminden önce katalizör olarak kobalt oktate (0.35 pph, 41% çözünürlükte), hızlandırıcı olarak 2,4-pentanedione (0.10 pph) ve methylethylketone peroksid olarakta (2.2 pph, of a 40% dimethyl phthalate çözeltisi) karıştırılmıştır. Malzeme özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1 Çok eksenli çok katlı cam kumaşların özellikleri

KISALTMA	TANIMLAMA	KAT SAYISI	KAT ORYANTASYONU (°)	TOPLAM AĞIRLIK (g/m ²)	KAT AĞIRLIĞI (g/m ²)
UDGF	Tek Yönlü Cam Kumaş	1	0	472	472
BAGF	İki eksenli cam kumaş	2	+45;-45	468	234/234
TAGF	Üç eksenli	3	0;+45;-45	1408	472/468/468

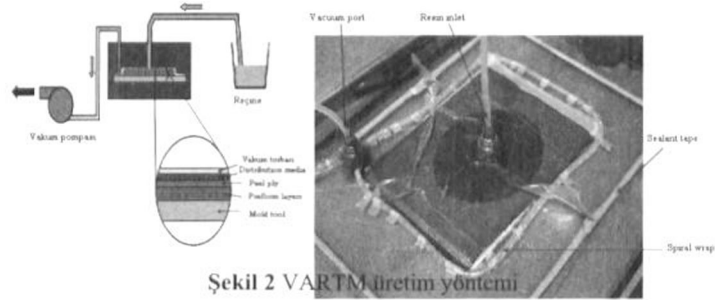
Tablo 2 Malzeme özellikleri

ÖZELLİK	E/GLASS FİBER	MATRİS POLYESTER
Young modülü, GPa	74	3.15
Çekme dayanımı, MPa	3448	40
Uzama, %	3.50	2.5
Yoğunluk, g/cm ³	2.40	1.20

2.2. Kompozit Plaka Üzeretimi

Kompozit malzeme üretimi GÖVSA KOMPOZİT LTD. Firmasında VARTM ekipmanları kullanılarak yapılmıştır. VARTM yöntemi ile üretilen kompozit plakalara 80°C de ısıtılmalı preste 2 saat boyunca post kür işlemi uygulanmıştır.

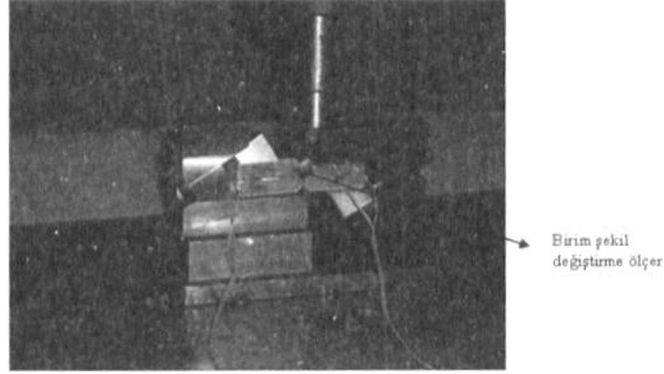
VARTM işlem prosesinde fiber takviyeli polimer kompozitler tek bir işlem sürecinde üretilir. Bu süreçte reçine vakumlu ortamda kumaşların üzerine enjekte edilir (Şekil 2).



42x30cm boyutunda üretilen dikdörtgen numunelerden 0° (MD eksen), 45° (BD eksen) ve 90° (CD eksen) doğrultularında numuneler kesilmiştir.

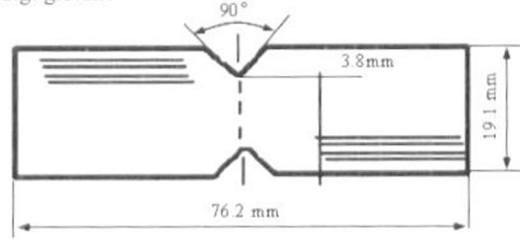
2.3. Iosipescu Kayma Gerilmesi Testi

Kompozit parçaların kayma dayanımlarını ve kayma modüllerini tespit etmek için iosipescu kayma gerilme testi yapılmaktadır. Bu testi yapabilmek için öncelikle şekil 3’ de gösterilen test aparatı üretilmiştir. İosipescu numuneleri üzerine şekilde görüldüğü gibi ∇ 45° doğrultularında birim şekil değiştirme ölçerler yapıştırılarak bu iosipescu aparatında sıkıştırılarak Shimadzu AUTOGRAPH AG-IS Serisi universal test makinası kullanılarak 0.5 mm/dak hız ile bası işlemi uygulanmıştır. Bu deney yapılırken 5kN kapasiteli yük hücresi kullanılmıştır. Bu test sırasında birim şekil değiştirmelerden gelen verileri 10 kanallı TML TDS-302 marka datalogger yardımı ile 2 kanaldan birim şekil değiştirmeler kaydedilmiştir.



Şekil 3. İosipescu test aparatı ve numunenin bağlantısı.

Birim şekil değiştirme ölçerler ile kaplanmış olan bölgede oluşacak olan yer değiştirmeler deneyin sayısal verilerine ulaşılan bölgedir. Çentiklerin boyutları Şekil 4’de gösterildiği gibidir.



Şekil 4 İosipescu deney numune boyutları.

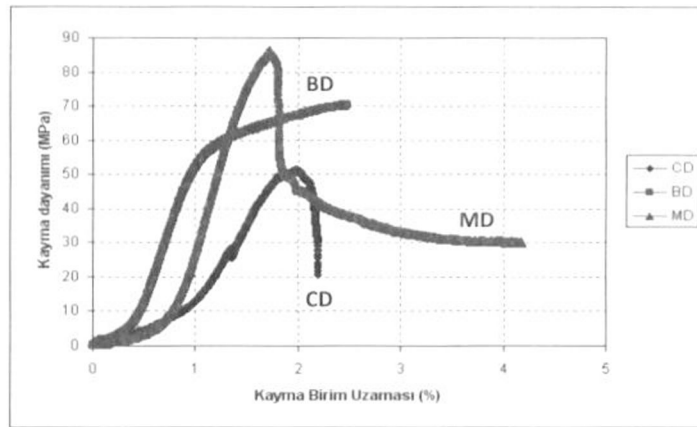
3. Sonuçlar Ve Tartışma

Tablo 3'te kıvrımsız dikişli kumaş ve takviyeli polyester kompozitlerin deney sonuçları özetlenmiştir. Buna göre, MD eksenini boyunca en iyi kayma dayanımı üç eksenli cam kumaşta elde edilmiştir.

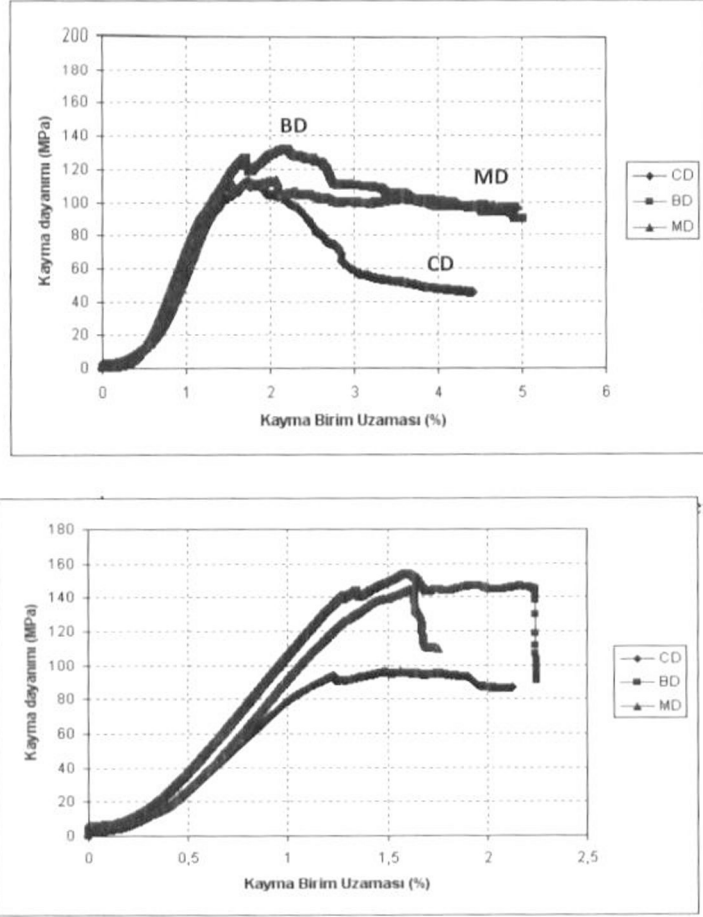
Aşağıda verilen kayma gerilmesi-kayma birim uzaması grafikleri incelendiğinde, fiberin baskın olduğu doğrultuda kayma dayanımları daha yüksek, matrisin baskın olduğu doğrultuda ise düşük değerlere sahiptir. Örneğin, Tek yönlü (UD) kumaşta MD doğrultusunda fiber baskın iken, CD doğrultusunda matris baskındır. 0/90 kumaşta ise, MD ve CD doğrultularının her ikisinde de fiber baskındır. Her iki doğrultuda fiber vardır. Bu nedenle bu tür kompozitlerde grafiklerden de görüleceği gibi bu doğrultularda kayma dayanımları eşittir.

Tablo 3 Kıvrımsız dikişli kumaş takviyeli polyester kompozitlerin deney sonuçları

KOMPOZİT	KAYMA DAYANIMI (MPa)			KAYMA MODÜLÜ (MPa)		
	MD	BD	CD	MD	BD	CD
Tek yönlü cam kumaş	86.5	70.8	51.4	155.0	88.9	46.3
İki eksenli cam kumaş	114.3	132.5	111.4	130.1	127.8	112.2
Üç eksenli cam kumaş	146.0	75.9	961.3	132.3	139.3	107.8



Şekil 5 Tek Yönlü (UD) Cam Fiber Takviyeli Polyester Kompozitlerin kayma dayanımı- kayma birim uzaması diyagramı ([0]₁₂)



Şekil 7 Üç Eksenli ([0/45/-45])Cam Fiber Takviyeli Polyester Kompozitlerin kayma dayanımı- kayma birim uzaması diyagramı ([0/45/-45]_s)

4. REFERANSLAR

- [1] Reddy, J.N., Mechanics of Laminated Composite Plates, Theory and Analysis, CRC Press, New York, 1997.
- [2] Iosipescu N. New accurate procedure for single shear testing of metals. J Mater 1967;2(3):547–66.
- [3] Standard test method for shear properties of composite materials by the V-notched beam method. ASTM Designation: D 5379/ D 5379M – 93.
- [4] Morton J, Ho H, Tsai MY. An evaluation of the Iosipescu specimen for composite materials shear property measurement. J Compos Mater 1992;26(5):708–50.
- [5] Zhou G, Green ER, Morrison C. In-plane and interlaminar shear properties of carbon/epoxy laminates. Compos Sci Technol, 1995;55:187–93.
- [6] Lee S, Munro M. Evaluation of testing techniques for the Iosipescu shear test for advanced composite materials. J Compos Mater 1990;24:419–40.
- [7] Post D, Dai FL, Guo Y, Ifju P. Interlaminar shear moduli of crossply laminates: An experimental analysis. J Compos Mater, 1989;23(3):264–79.