



Investigation of tensile properties of hybrid polymer matrix and glass fiber reinforced polymer composites

 Neslihan GÖKÇE^{1,*}  Şevki EREN²  Serkan SUBAŞI³ 
¹ Düzce University, Institute of Science, Interdisciplinary Composite Materials Technologies, Konuralp/DÜZCE

² Kırşehir Ahi Evran University, Vocational school, Department of Construction Technology, 4034, Merkez/KIRŞEHİR

³ Duzce University, Faculty of Technology, Civil Engineering, Konuralp/DÜZCE

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Research article

Received: 15/06/2020

Revision: 25/09/2020

Accepted: 13/10/2020

Highlights

- Hybrid matrix.
- Polymer composite.
- Tensile strength

Keywords

 Hybrid Matrix
 Polymer Composite
 Polyester
 Vinyl-ester
 Glass Fiber
 Tensile Strength

In this study, hybrid matrix mixtures with different matrix phase resin types were prepared and 5%, 10% and 20% chopped E type glass fibers were added to these mixtures. The orthophthalic, isophthalic and terephthalic polyester resins were each mixed with each other and epoxy-based vinyl ester resin in different combinations as double and triple hybrid matrix mixtures. The tensile properties of the composites produced were determined. As a result of the study, as the fiber ratio increased, the hybrid matrix composites were seen to turn into a more rigid structure and the highest tensile mechanical properties were obtained in the blends containing 20% fiber and vinyl ester resin. It was determined that orthophthalic + vinyl ester (OV) mixture has the highest rigidity in all mixtures prepared with two types of hybrid resin matrix. When the tensile properties of the composites with two types and three types of hybrid resin matrix were compared with each other, it was seen that there were no significant differences.

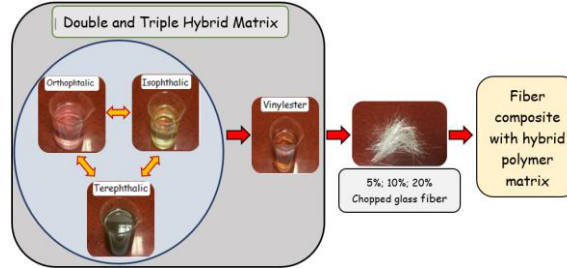


Figure A. Fiber composite with hybrid polymer matrix

Purpose: In this study, the tensile properties of the hybrid matrix and glass fiber composites, whose matrix phase is composed of different resin types and formed by adding glass fiber in different proportions, were investigated.

Theory and Methods: In the study, in the first stage, orthophthalic, isophthalic and terephthalic polyester resins were mixed in different combinations with epoxy-based vinylester resin to form double and triple hybrid matrix mixtures. Methyl ethyl ketone peroxide (MEKP; Akperox A60) was used as the initiator and cobalt octoate (Co; Akcobalt) was used as the initiator for polymerization. In the second stage, composites were produced by reinforcing E type chopped glass fiber at the ratio of 5%, 10%, and 20% by weight into hybrid matrix mixtures prepared in different combinations. In total, composites were produced in 10 different combinations. Tensile tests were carried out on the composite produced.

Results: It was determined that the highest tensile properties in all hybrid matrix composites are obtained in blends at the ratio of 20% fiber and containing vinyl ester resin. Also, the orthophthalic + vinyl ester (OV) mixture had the highest rigidity in all mixtures prepared with two types of the hybrid resin matrix. When the tensile properties of two types and three types of hybrid resin matrix composites were compared, no significant differences were observed.

Conclusion: As the fiber ratio increased, it was determined that hybrid matrix composites had a more rigid structure. Also, the results have led to the conviction that orthophthalic resin is better suited to vinyl ester resin, and it was concluded that it would be more meaningful to use two types of the hybrid matrix instead of three types of hybrid matrix.



Hibrit polimer matrisli ve cam lifli takviyeli polimer kompozitlerin çekme özelliklerinin İncelenmesi

Neslihan GÖKÇE^{1,*} Şevki EREN² Serkan SUBAŞI³

¹ Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Disiplinlerarası Kompozit Malzeme Teknolojileri, Konuralp/DÜZCE

² Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, İnşaat Teknolojileri Bölümü, 4034, Merkez/KIRŞEHİR

³ Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Konuralp/DÜZCE

Öz

Bu çalışmada, matris fazı farklı reçine türlerinden oluşan hibrit matrisli karışımlar hazırlanmış ve bu karışımlar içerisine ağırlıkça %5, %10 ve %20 oranlarında kırılmış E tipi cam lifleri ilave edilmiştir. Ortoftalik, izoftalik ve tereftalik polye ester reçinelerinin her biri kendi aralarında ve daha sonra epoksi bazlı vinilester reçine ile farklı kombinasyonlarda ikili ve üçlü hibrit matrisli karışımlar oluşturacak şekilde karıştırılmıştır. Üretilen kompozitlerin çekme özellikleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, lif oranı arttıkça, hibrit matrisli kompozitlerin daha rijit bir yapıya dönüştüğü görülmüş ve en yüksek çekme mekanik özellikleri %20 lif oranında ve vinilester reçinesinin bulunduğu karışımlarda elde edilmiştir. İki tip hibrit reçine matrisli olarak hazırlanan tüm karışımlar içerisinde ortoftalik + vinilester (OV) karışımının en yüksek rijitliğe sahip olduğu belirlenmiştir. İki tip ve üç tip hibrit reçine matrisli kompozitlerin çekme özellikleri birbirleriyle karşılaştırıldığında, anlamlı farklılıkların oluşmadığı görülmüştür.

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 15/06/2020
Düzeltilme: 25/09/2020
Kabul: 13/10/2020

Anahtar Kelimeler

Hibrit Matris
Polimer Kompozit
Poliester
Vinil-ester
Cam Lifi
Çekme Dayanımı

Investigation of tensile properties of hybrid polymer matrix and glass fiber reinforced polymer composites

Abstract

In this study, hybrid matrix mixtures with different matrix phase resin types were prepared and 5%, 10% and 20% chopped E type glass fibers were added to these mixtures. The orthophthalic, isophthalic and terephthalic polyester resins were each mixed with each other and epoxy-based vinyl ester resin in different combinations as double and triple hybrid matrix mixtures. The tensile properties of the composites produced were determined. As a result of the study, as the fiber ratio increased, the hybrid matrix composites were seen to turn into a more rigid structure and the highest tensile mechanical properties were obtained in the blends containing 20% fiber and vinyl ester resin. It was determined that orthophthalic + vinyl ester (OV) mixture has the highest rigidity in all mixtures prepared with two types of hybrid resin matrix. When the tensile properties of the composites with two types and three types of hybrid resin matrix were compared with each other, it was seen that there were no significant differences.

Keywords

Hybrid Matrix
Polymer Composite
Polyester
Vinyl-Ester
Glass Fiber
Tensile Strength

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kompozit endüstrisinde en yaygın kullanılan polimerik matris malzemeleri epoksiler, vinil esterler, doymamış polye ester reçineler (UPR) ve fenolik reçinelerdir [1]. Bu matris malzemeleri, yaygın olarak cam lifli takviyeli kompozitlerde kullanılır. Bu tür polimerlerde değişik reçine formülasyonları kompozitin çok geniş bir aralıkta farklı özelliklere sahip olmasını sağlar [2]. UPR, temel yapıtaşının yapısına bağlı olarak tiplere ve sınıflara ayrılır. Bunlar, ortoftalik anhidrit, izoftalik anhidrit, tereftalik anhidrit, bisfenol-fumarat, klorendik ve disiklopentadiendir [3,4]. Ortoftalik reçineler en yaygın kullanılan reçinelerdir, ancak düşük termal kararlılığa ve kimyasal dirence sahiptirler. Rijittirler, çatlamalara karşı dirençlidirler ve açık renklidirler [3-5]. İzofthalik reçineler üstün kaliteye sahiptir, daha iyi kimyasal ve termal direnç gösterir ve iyi derecede alev direnci gösterirler [5]. Epoksi ve UPR iyi yapışma kabiliyetine sahiptir, ancak rijit yapıdadırlar [6-8]. Vinil ester reçineleri, bir reaktif seyreltici olarak çoklu bir metakrilat oligomer (tipik

olarak bisfenol-A bazlı) ve stirenden oluşur [9]. Bu malzemeler, epoksi reçinelerinin mekanik ve termal özelliklerini UPR'nin hızlı kürlenmesi ile birleştirmek için geliştirilmiştir. Bu optimizasyon, bu reçineleri büyük, yüksek performanslı cam takviyeli kompozitler için matris olarak özellikle uygun hale getirir [10].

Hibrit polimer matrisli kompozitlerde, farklı matrisli bir karışıma bir tür takviye malzemesi ilave edilebilir veya iki veya daha fazla takviye ve dolgu malzemesi tek bir matriste karıştırılabilir veya her iki yaklaşım da birleştirilerek kullanılabilir [11-13]. Prabu ve Alagar, iki veya daha fazla polimerden oluşan hibrit kombinasyonlardan oluşan çapraz bağlı polimer ağ teknolojisinin şu anda acil olarak araştırılması gerektiğini ifade etmektedir [14]. Hibrit kompozitler ile spesifik özelliklerin daha fazla kontrol altına alınması, herhangi bir kompozit malzemenin avantaj ve dezavantajları bakımından daha olumlu bir denge oluşturulması mümkün olmaktadır [15]. Hibrit kompozitler dengeli termal kararlılık, düşük ağırlık/maliyet, kararlı dayanım ve sertlik, daha iyi yorulma direnci, darbe dayanımı, kırılma tokluğu sunar [13], [15], [16].

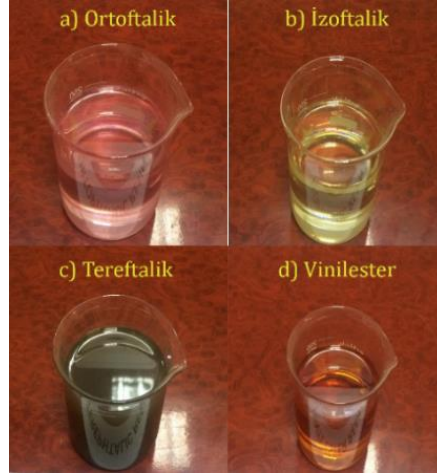
Prabu ve Alagar [14] çalışmalarında silikonlu poliüretan (PU)-epoksi ve silikonlu PU-UPR çapraz bağlantılı ağ (ICN) kaplamaları geliştirmişlerdir. Çalışma sonucunda epoksi ve UPR içerisine PU (% 2.5–20) ve silikon (% 10) ilavesinin ICN oluşumuna bağlı olarak mekanik özellikleri artırdığını belirlemişlerdir. Ruban, vd. [17], çalışmalarında, UPR ile sertleştirilmiş epoksi ve aminle modifiye edilmiş çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) hibrit nanokompozitler için değişen konsantrasyonlarda ICN geliştirmişlerdir. Epoksi reçineye amin ile modifiye edilmiş MWCNT partiküllerinin ağırlıkça % 0.1, 0.3 ve 0.5 oranında dahil edilmesinin, nano kompozit oluşumuna bağlı olarak çekme mukavemetini %9.31, 17.3 ve 25 oranında artırdığı tespit edilmiştir. Epoksi reçineye hem aminle modifiye edilmiş MWCNT partiküllerinin hem de UPR'nin eklenmesi, yüzdelik içeriklerine göre çekme mukavemeti ve eğilme mukavemeti değerlerini iyileştirmiştir. Reddy ve ark. [18], lif takviyesinin kompozitin mekanik özellikler üzerindeki etkisini araştırmak için yapmış oldukları bir çalışmada çekme dayanımı ve çekme E modülünün artan lif takviyesi ile yükseldiği sonucuna ulaşmışlardır. Guermazi ve ark. [19], cam ve karbon lifleri ve epoksi matrisi ile hazırladıkları hibrit kompozitler üzerinde gerçekleştirdikleri mekanik testlerde lif içeriği artırıldığında elastikiyet modülü artışını açıkça gözlemişlerdir. You ve ark. [20], çalışmalarında, beton yapılar için kullanılmak üzere, takviye malzemesi olarak karbon ve E-cam lifinden oluşan, matris yapı olarak vinilester ve UPR'den oluşan plastik çubukların yapısını belirlemeyi amaçlamışlardır. Test sonuçlarında, nihai çekme dayanımı değerinin, %37 cam lifi ve %23 karbon lifinden oluşan dağınık tipteki hibrit çubukta elde edildiğini ve hibrit olmayan karbon lifli çubuğa kıyasla %3-33 oranında arttığını belirlemişlerdir. Atiqah ve ark. [21], %70 oranında sabit içeriğe sahip poliester reçine ile toplamı %30 olacak şekilde farklı hacim oranlarında keçe formunda, kırılmış kenaf ve cam liflerini hibrit olarak birleştirerek güçlendirilmiş kompozitler üretmiştir. En yüksek çekme dayanımı, UPR (hacimce %70) + işlenmemiş Kenaf (hacimce %15) + kırılmış keçe E-cam lifleri (hacimce %15) hibrit kompozitinde elde etmişler ve bu karışımdaki çekme dayanımını 39.28 MPa olarak belirlemişlerdir. Bir başka çalışmada ise, Raja [22], uçucu kül emdirilmiş, kırılmış E-cam lifi keçe takviyeli UP reçineli kompozitler üzerinde çekme testleri gerçekleştirmiş ve lif oranının artırılmasıyla çekme dayanımlarının artış gösterdiğini belirtmiştir.

Bu çalışmada, matris fazı farklı reçine türlerinden oluşan hibrit matrisli kompozitler içerisine farklı oranlarda cam lifi ilavesinin çekme özellikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, ortoftalik, izoftalik ve tereftalik polyester reçinelerinin her biri kendi aralarında ve daha sonra epoksi bazlı vinilester reçine ile farklı kombinasyonlarda ikili ve üçlü hibrit matrisli karışımlar oluşturacak şekilde karıştırılmış ve üretilen kompozitlerin çekme özellikleri belirlenmiştir.

2. MATERYAL ve YÖNTEM (MATERIALS and METHODS)

2.1. Matris Malzemeleri (Matrix Materials)

Bu çalışmada, Poliya Polyester San. ve Tic. Ltd. Şti.'den temin edilen ortoftalik polyester reçinesi (1.12 gr/cm³, %43 katı içerik, POLIPOL 3562-SR), izoftalik polyester reçinesi (1.067 gr/cm³, %42 katı içerik, POLIPOL 3873-SR), tereftalik polyester reçinesi (1.12 gr/cm³, %42 katı içerik, POLIPOL 3570-SR) ve bisfenol-A bazlı epoksi vinil ester reçinesi (1.044 gr/cm³, %42 katı içerik, POLIVES 701) kullanılmıştır. Polimerizasyon için Akpa Kimya'dan temin edilen, başlatıcı olarak metil etil keton peroksit (MEKP; Akperox A60) ve hızlandırıcı olarak kobalt oktoat (Co; Akcobalt) kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan reçineler Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. UPR ve bisfenol-A bazlı vinil ester reçineler

2.2. Takviye Malzemeleri (Reinforcing Materials)

Takviye malzemesi olarak, CAM ELYAF Firmasından temin edilen; E tipi cam lifi (KCR6H-2400-E) malzemesi kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan reçineler ve kırılmış E cam lifi Şekil 2'de gösterilmiştir. E tipi cam lifine ait fiziksel özellikler Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 2. Kırılmış E cam lifi

Tablo 1. Çalışmada kullanılan kırılmış liflerin fiziksel özellikleri.

Özellik	Cam lifi
Lif çapı (micron)	11-13
Tex Sayısı (Lif ağırlığı (g/km))	2280-2520
Nem miktarı (%)	Max. 0.1
Kızdırma Kaybı (%)	0.6-0.9
Özgül Ağırlık	2.60
Lif uzunluğu (cm)	5

2.3. Cam Lifi Takviyeli Hibrit Matrisli Reçine Karışımlarının Hazırlanması (Preparation of Glass Fiber Reinforced Hybrid Matrix Resin Blends)

Çalışmada, ilk aşamada, ortoftalik, izofthalik ve tereftalik polyester reçineleri, epoksi bazlı vinilester reçine ile farklı kombinasyonlarda, ikili ve üçlü hibrit matrisli karışımlar oluşturacak şekilde karıştırılmıştır. İkinci aşamada, farklı kombinasyonlarda hazırlanan hibrit matrisli karışımların içerisine ağırlıkça %5, %10 ve %20 oranlarında E tipi kırılmış cam lifi takviye edilerek kompozitler üretilmiştir. Toplamda 10 farklı kombinasyonda kompozitler üretilmiştir. Üretilen kompozit üzerinde çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada gerçekleştirilen deneysel çalışma planı Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Lif takviyeli reçine karışımları için yapılan deneysel çalışma planı

Numune No	Numune Bileşeni	Numune kodu	Lif takviyesi (%)	Testler
1	Ortoftalik + Vinilester	OV		
2	İzoftalik + Vinilester	IV		
3	Tereftalik + Vinilester	TV		
4	Ortoftalik + İzoftalik	OI		
5	Ortoftalik + Tereftalik	OT	5	Çekme dayanımı
6	Tereftalik + İzoftalik	TI	10	
7	Ortoftalik + İzoftalik + Tereftalik	OIT	20	
8	Ortoftalik + İzoftalik + Vinilester	OIV		
9	Tereftalik + İzoftalik + Vinilester	TIV		
10	Ortoftalik + Tereftalik + Vinilester	OTV		

Kalıp Hazırlığı: Hibrit kompozitler üretmek için 4 mm kalınlığında cam plaka kalıpları kullanılmıştır. Cam plaka yüzeylerinin köşeleri 4mm kalınlığında kauçuk contalarla yapıştırılmıştır. Plakalara, ince bir film oluşturacak şekilde spray vaks kalıp ayırıcı püskürtülmüş ve hemen temiz kuru bir bezle silinmiş ve cilalanmıştır. Vaks filminin tamamen kuruması için 15-20 dakika beklenilmiştir.

Hibrit Reçine Karışımlarının Hazırlanması: Her bir hibrid matrisli reçine karışımı için toplam 550 gr'lık karışım oluşturulmuş ve bu karışımlar bir cam beher içinde 3-5 dakika homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Cam beher içinde 23 °C sabit bir sıcaklıkta tutulan reçine karışımlarına toplam reçine miktarının ağırlıkça %1'i oranında hızlandırıcı kobalt ilave edilmiş ve bir cam babet ile 2-3 dakika karıştırılmıştır. Daha sonra toplam reçine miktarının ağırlıkça %1.5'i oranında başlatıcı MEKP ilave edilmiştir.

Cam lifi İlavesi: Hazırlanan reçine karışımları, cam kalıplara ince bir film elde edecek biçimde fırça yardımı ile uygulanmış ve hemen ardından kırılmış lifler cam kalıplar içerisine homojen şekilde serpilerek yerleştirilmiştir. Rulo yardımıyla lifler reçineyle tamamen emdirildikten sonra arta kalan reçine dökümü ilavesi yapılmış ve plakalar mengene ile kenetlenmiştir. Lif takviyeli hibrit matrisli kompozitlerin üretim işlemleri ile ilgili görsel Şekil 3'te verilmiştir.

Kür İşlemi: Tüm kompozitler ISO 291'e göre 12 saat laboratuvar koşullarında tutulmuş ve sertleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir [23]. Sertleştirilmiş plakalar dikkatlice cam kalıptan çıkarılmış ve fırında toplam 3 saat süreyle, 50 °C'de 1 saat, 80 °C'de 1 saat ve son olarak 110 °C'de 1 saat süreyle kürlenmeye tabi tutulmuştur. Sertleştirme tamamlandıktan sonra, fırın kapağı açık bırakılmış ve plakalar soğumaya bırakılmıştır. Hazırlanan lif takviyeli hibrit reçine karışımlarının görseli Şekil 4'te verilmiştir.

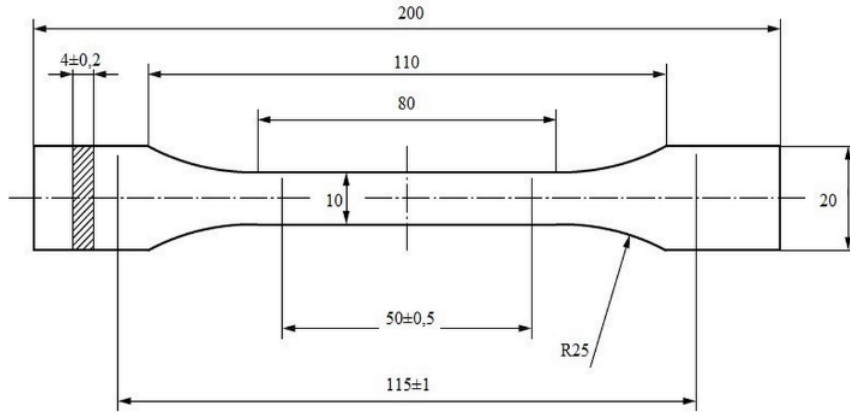
**Şekil 3.** Hibrit matrisli cam lifli kompozit üretimi



Şekil 4. Hibrit matrisli cam lifi takviyeli kompozitlere ait bir görsel

2.4. Çekme Testi (Tensile Test)

Çekme testi numuneleri oda koşullarında 3 günlük bekleme süresinin ardından çekme testine tabi tutulmuşlardır. Çekme testi ISO 527-1 [127] standardına uygun olarak 1 mm/dk test hızında gerçekleştirilmiştir [24]. Çekme testi numune boyutları Şekil 5'te ve çekme testine ait bir görsel Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 5. Çekme testi numune boyutları



Şekil 6. Çekme testi

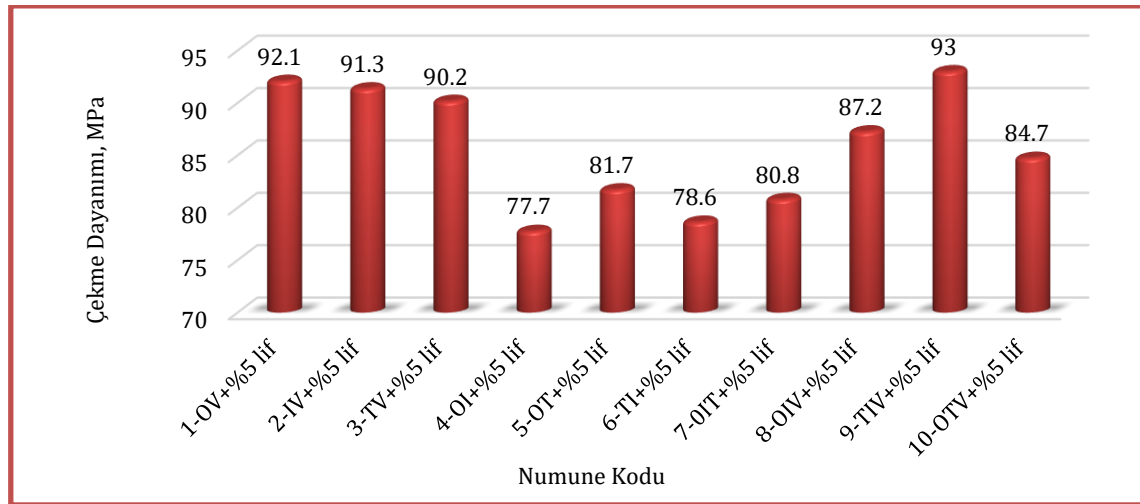
3. BULGUAR (RESULTS)

3.1. %5 Cam Lifi Takviyeli Hibrit Matrisli Kompozitlerin Çekme Testi Sonuçları (Tensile Test Results of 5% Glass Fiber Reinforced Hybrid Matrix Composites)

Hibrit reçineler içerisinde ağırlıkça %5 oranında cam lifi takviye edilerek üretilen numunelerin çekme test bulguları Tablo 3'te verilmiştir. Ortalama çekme dayanımının grafik olarak gösterimi Şekil 7'de ayrıca verilmiştir.

Tablo 3. %5 cam lifi takviyeli hibrit matrisli kompozitlerin çekme testi sonuçları

Numune No	Numune kodu	Çekme Modülü (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Çekme uzaması (%)
1	OV + %5 lif	4265	92.1	0.68
2	IV + %5 lif	4078	91.3	0.95
3	TV + %5 lif	4093	90.2	0.92
4	OI + %5 lif	4554	77.7	0.64
5	OT + %5 lif	4703	81.7	0.68
6	TI + %5 lif	3973	78.6	0.72
7	OIT + %5 lif	4434	80.8	0.68
8	OIV + %5 lif	4684	87.2	0.86
9	TIV + %5 lif	3720	93.0	0.91
10	OTV + %5 lif	4735	84.7	0.74



Şekil 7. %5 cam lifi takviyeli hibrit matrisli karışımların ortalama çekme dayanımları

Çekme dayanımı sonuçları: İki tip reçine matrisli ve %5 cam lifi takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçlarına göre; en düşük çekme dayanımı değeri ortoftalik-izoftalik (OI+%5) hibrit reçine karışımında 77,7 MPa olarak elde edilmiştir. En yüksek çekme dayanımı ise ortoftalik-vinilester (OV + %5) karışımında 92,1 MPa olarak belirlenmiştir.

Üç tip reçine matrisli ve %5 cam lifi takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçlarına göre; en düşük çekme dayanımı değeri ortoftalik-izoftalik-tereftalik (OIT+%5) hibrit reçine karışımında 80,8 MPa olarak bulunmuştur. En yüksek çekme dayanımı ise terftalik-izoftalik-vinilester (TIV+%5) karışımında 93 MPa olarak elde edilmiştir.

Çekme E modülü sonuçları: İki tip reçine matrisli ve %5 cam lifi takviyeli kompozitlerin çekme E modülü sonuçlarına göre; en düşük çekme E modülü değeri terftalik-izoftalik (TI + %5) hibrit reçine karışımında 3973 MPa olarak bulunmuştur. En yüksek çekme E modülü ise ortoftalik-terftalik (OT+%5) karışımında 4703 MPa olarak elde edilmiştir.

Üç tip reçine matrisli ve %5 cam lifi takviyeli kompozitlerin çekme E modülü sonuçlarına göre; en düşük değer tereftalik-izoftalik-vinilester (TIV+%5) hibrit reçine karışımında 3720 MPa olarak bulunmuştur. En yüksek çekme E modülü ise ortoftalik-tereftalik-vinilester (OTV+%5) karışımında 4735 MPa olarak elde edilmiştir.

Çekme uzama sonuçları: İki tip reçine matrisli ve %5 cam lifi takviyeli kompozitlerin çekme uzaması sonuçlarına göre; en düşük çekme uzaması değeri ortoftalik-izoftalik (OI+%5) hibrit reçine karışımında %0,64 olarak belirlenmiştir. En yüksek çekme uzaması ise, izoftalik-vinilester (IV+%5) karışımında %0,95 olarak elde edilmiştir.

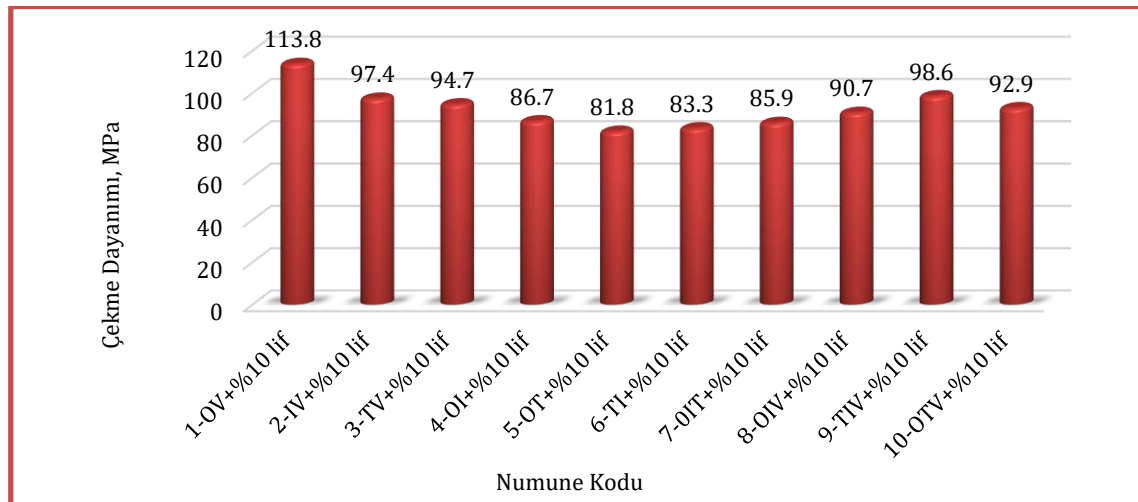
Üç tip reçine matrisli ve %5 cam lifi takviyeli kompozitlerin çekme uzaması sonuçlarına göre; en düşük çekme uzaması ortoftalik-izoftalik-tereftalik (OIT+%5) hibrit reçine karışımında %0,68 olarak bulunmuştur. En yüksek çekme uzaması ise tereftalik-izoftalik-vinilester (TIV+%5) karışımında %0,91 olarak elde edilmiştir.

3.2. %10 Cam Lifi Takviyeli Hibrit Matrisli Kompozitlerin Çekme Testi Sonuçları (Tensile Test Results of 10% Glass Fiber Reinforced Hybrid Matrix Composites)

Hibrit reçinelere içerisine ağırlıkça %10 oranında cam lifi takviye edilerek üretilen numunelerin çekme test bulguları Tablo 4'te verilmiştir. Ortalama çekme dayanımının grafik olarak gösterimi Şekil 8'de ayrıca verilmiştir.

Tablo 4. %10 cam lifi takviyeli hibrit matrisli kompozitlerin çekme testi sonuçları

Numune No	Numune kodu	Çekme Modülü (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Çekme uzaması (%)
1	OV+%10 lif	5741	113.8	0.65
2	IV+%10 lif	4869	97.4	0.91
3	TV+%10 lif	5233	94.7	0.93
4	OI+%10 lif	5141	86.7	0.63
5	OT+%10 lif	5211	81.8	0.60
6	TI+%10 lif	4890	83.3	0.71
7	OIT+%10 lif	5730	85.9	0.65
8	OIV+%10 lif	5327	90.7	0.66
9	TIV+%10 lif	5615	98.6	0.89
10	OTV+%10 lif	5298	92.9	0.72



Şekil 8. %10 cam lifi takviyeli hibrit matrisli karışımların ortalama çekme dayanımı değerleri

Çekme dayanımı sonuçları: İki tip reçine matrisli ve %10 cam lifi takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçlarına göre; en düşük çekme dayanımı değeri ortoftalik-tereftalik (OT+%10) hibrit reçine karışımında 81,8 MPa olarak elde edilmiştir. En yüksek çekme dayanımı ise ortoftalik-vinilester (OV+%10) karışımında 113,8 MPa olarak belirlenmiştir.

Üç tip reçine matrisli ve %10 cam lifi takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçlarına göre; en düşük çekme dayanımı değeri ortoftalik-izoftalik-tereftalik (OIT+%10) hibrit reçine karışımında 85.9 MPa olarak bulunmuştur. En yüksek çekme dayanım değeri ise tereftalik-izoftalik-vinilester (TIV+%10) karışımında 98.6 MPa olarak elde edilmiştir.

Çekme E modülü sonuçları: İki tip reçine matrisli ve %10 cam lifi takviyeli kompozitlerin çekme E modülü sonuçlarına göre; en düşük çekme E modülü değeri izoftalik-vinilester (IV+%10) hibrit reçine karışımında 4869 MPa olarak bulunmuştur. En yüksek çekme E modülü ise ortoftalik-vinilester (OV+%10) karışımında 5741 MPa olarak elde edilmiştir.

Üç tip reçine matrisli ve %10 cam lifi takviyeli kompozitlerin çekme E modülü sonuçlarına göre; en düşük değer ortoftalik-tereftalik-vinilester (OTV+%10) hibrit reçine karışımında 5298 MPa olarak bulunmuştur. En yüksek çekme E modülü ise ortoftalik-izoftalik-tereftalik (OIT+%10) karışımında 5730 MPa olarak elde edilmiştir.

Çekme uzama sonuçları: İki tip reçine matrisli ve %10 cam lifi takviyeli kompozitlerin çekme uzama sonuçlarına göre; en düşük çekme uzaması ortoftalik-tereftalik (OT+%10) hibrit reçine karışımında %0.60 olarak belirlenmiştir. En yüksek çekme uzaması ise, tereftalik-vinilester (TV+%10) karışımında %0.93 olarak elde edilmiştir.

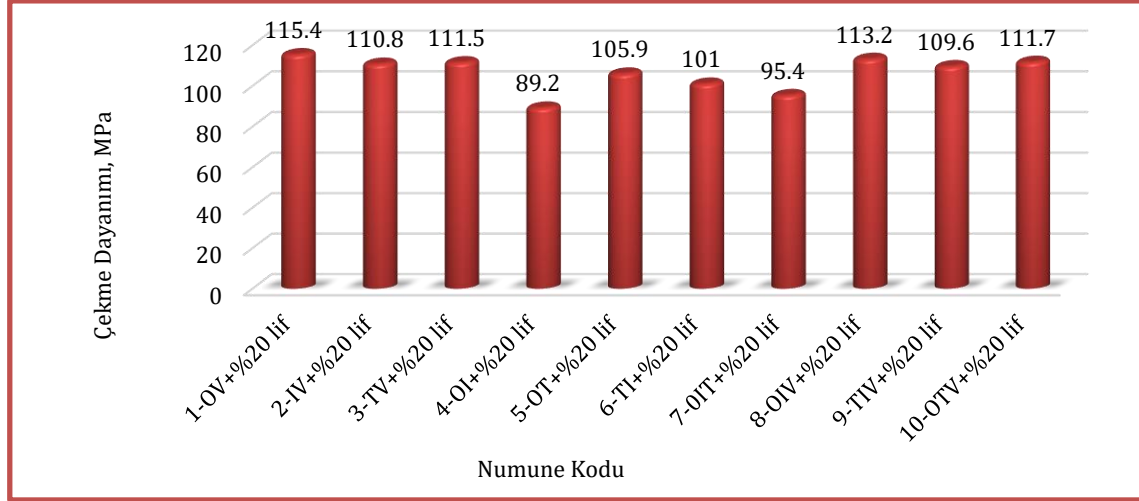
Üç tip reçine matrisli ve %10 cam lifi takviyeli kompozitlerin çekme uzaması sonuçlarına göre; en düşük çekme uzaması ortoftalik-izoftalik-tereftalik (OIT+%10) hibrit reçine karışımında %0.65 olarak bulunmuştur. En yüksek çekme uzaması ise tereftalik-izoftalik-vinilester (TIV+%10) karışımında %0.89 olarak elde edilmiştir.

3.3. %20 Cam Lifi Takviyeli Hibrit Matrisli Kompozitlerin Çekme Testi Sonuçları (Tensile Test Results of 20% Glass Fiber Reinforced Hybrid Matrix Composites)

Hibrit reçineler içerisine ağırlıkça %20 oranında cam lifi takviye edilerek üretilen numunelerin çekme test bulguları Tablo 5'te verilmiştir. Ortalama çekme dayanımının grafik olarak gösterimi Şekil 9'da ayrıca verilmiştir.

Tablo 5. %20 cam lifi takviyeli hibrit matrisli kompozitlerin çekme testi sonuçları

Numune No	Numune kodu	Çekme Modülü (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Çekme uzaması (%)
1	OV+%20 lif	7107	115.4	0.61
2	IV+%20 lif	6847	110.8	0.69
3	TV+%20 lif	6391	111.5	0.85
4	OI+%20 lif	6204	89.2	0.51
5	OT+%20 lif	6904	105.9	0.59
6	TI+%20 lif	6525	101.0	0.69
7	OIT+%20 lif	5785	95.4	0.63
8	OIV+%20 lif	7258	113.2	0.57
9	TIV+%20 lif	7146	109.6	0.80
10	OTV+%20 lif	7307	111.7	0.70



Şekil 9. %20 cam lifli takviyeli hibrit matrisli karışımların ortalama çekme dayanımı değerleri

Çekme dayanımı sonuçları: İki tip reçine matrisli ve %20 cam lifli takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçlarına göre; en düşük çekme dayanımı değeri ortoftalik-izoftalik (OI+%20) hibrit reçine karışımında 89.2 MPa olarak elde edilmiştir. En yüksek çekme dayanımı ise ortoftalik-vinilester (OV+%20) karışımında 115.4 MPa olarak belirlenmiştir.

Üç tip reçine matrisli ve %20 cam lifli takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçlarına göre; en düşük çekme dayanımı değeri ortoftalik-izoftalik-tereftalik (OIT+%20) hibrit reçine karışımında 95.4 MPa olarak bulunmuştur. En yüksek çekme dayanımı değeri ise ortoftalik-izoftalik-vinilester (OIV+%20) karışımında 113.2 MPa olarak elde edilmiştir.

Çekme E modülü sonuçları: İki tip reçine matrisli ve %20 cam lifli takviyeli kompozitlerin çekme E modülü sonuçlarına göre; en düşük çekme E modülü değeri ortoftalik-izoftalik (OI+%20) hibrit reçine karışımında 6204 MPa olarak bulunmuştur. En yüksek çekme E modülü ise ortoftalik-vinilester (OV+%20) karışımında 7107 MPa olarak elde edilmiştir.

Üç tip reçine matrisli ve %20 cam lifli takviyeli kompozitlerin çekme E modülü sonuçlarına göre; en düşük değer ortoftalik-izoftalik-tereftalik (OIT+%20) hibrit reçine karışımında 5785 MPa olarak bulunmuştur. En yüksek çekme E modülü ise ortoftalik-tereftalik-vinilester (OTV+%20) karışımında 7307 MPa olarak elde edilmiştir.

Çekme uzama sonuçları: İki tip reçine matrisli ve %20 cam lifli takviyeli kompozitlerin çekme uzaması sonuçlarına göre; en düşük çekme uzaması ortoftalik-izoftalik (OI+%20) hibrit reçine karışımında %0.51 olarak belirlenmiştir. En yüksek çekme uzaması ise, terftalik-vinilester (TV+%20) karışımında %0.85 olarak elde edilmiştir.

Üç tip reçine matrisli ve %20 cam lifli takviyeli kompozitlerin çekme uzaması sonuçlarına göre; en düşük çekme uzaması değeri ortoftalik-izoftalik-vinilester (OIV+%20) hibrit reçine karışımında %0.57 olarak bulunmuştur. En yüksek çekme uzaması ise terftalik-izoftalik-vinilester (TIV+%20) karışımında %0.80 olarak elde edilmiştir.

Çalışma sonucunda, tüm hibrit matrisli kompozitlerde lif oranı arttıkça çekme dayanımı ve çekme E modülü değerlerinin de artış gösterdiği belirlenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar, literatürde farklı kombinasyonlarla üretilen hibrit matrisli kompozitlerle karşılaştırıldığında benzer sonuçların elde edildiği belirlenmiştir. Prabu ve Alagar [14] çalışmalarında silikonlu poliüretan (PU)-epoksi ve silikonlu PU-UPR çapraz bağlantılı ağ (ICN) kaplamaları geliştirmişlerdir. Çalışma sonucunda epoksi ve UPR içerisine PU (% 2.5–20) ve silikon (% 10) ilavesinin ICN oluşumuna bağlı olarak mekanik özellikleri artırdığını belirlemişlerdir. Ruban, vd. [17], çalışmalarında, UPR ile sertleştirilmiş epoksi ve aminle modifiye edilmiş çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) hibrit nanokompozitler için değişen konsantrasyonlarda ICN geliştirmişlerdir. Epoksi reçineye amin ile modifiye edilmiş MWCNT partiküllerinin ağırlıkça % 0.1, 0.3 ve 0.5 oranında dahil edilmesinin, nano kompozit oluşumuna bağlı olarak çekme mukavemetini %9.31, 17.3 ve 25 oranında artırdığı tespit edilmiştir. Epoksi reçineye hem aminle modifiye edilmiş MWCNT

partiküllerinin hem de UPR'nin eklenmesi, yüzdelik içeriklerine göre çekme mukavemeti ve eğilme mukavemeti değerlerini iyileştirmiştir. You ve ark. [20], çalışmalarında, beton yapılar için kullanılmak üzere, takviye malzemesi olarak karbon ve E-cam lifinden oluşan, matris yapı olarak vinilester ve UPR'den oluşan plastik çubukların yapısını belirlemeyi amaçlamışlardır. Test sonuçlarında, nihai çekme dayanımı değerinin, %37 cam lifi ve %23 karbon lifinden oluşan dağınık tipteki hibrit çubukta elde edildiğini ve hibrit olmayan karbon lifli çubuğa kıyasla %3-33 oranında arttığını belirlemişlerdir.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Matris yapıyı oluşturan farklı türlerdeki reçinelerin hibrit olarak birlikte karıştırılması ve bu karışımlara farklı oranlarda kırılmış E cam lifi ilave edilmesi ile üretilen hibrit matrisli kompozitlerin çekme testleri sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Tüm hibrit matrisli kompozitlerde lif oranı arttıkça çekme dayanımı ve çekme E modülü değerlerinin de artış gösterdiği belirlenirken, kopma uzaması değerlerinde ise azalma meydana geldiği belirlenmiştir. Bir malzemenin çekme dayanımı ve E- modülü artarken kopma uzamasının azalması malzemenin daha rijit bir yapıya dönüştüğünün bir göstergesidir. Çalışmada elde edilen sonuçlarla, lif oranı artışının hibrit matrisli kompozitleri daha rijit bir yapıya dönüştürdüğü belirlenmiştir.

Tüm hibrit matrisli kompozitlerde en yüksek çekme özelliklerinin %20 lif oranında ve vinilester reçinesinin bulunduğu karışımlarda elde edildiği belirlenmiştir.

İki tip hibrit reçine matrisli karışımların çekme özellikleri değerlendirildiğinde, (OV) karışımının tüm karışımlar içerisinde en yüksek rijitliğe sahip olduğu belirlenmiştir. Bu iki reçinenin bir arada bulunduğu üçlü karışımlar içerisindeki rijitlik değerlerinde de yüksek değerlerin elde edildiği görülmüştür. Bu durum, ortoftalik reçinesinin vinilester reçinesi ile daha iyi uyum sağladığı kanaatini oluşturmuştur.

İki tip ve üç tip hibrit reçine matrisli kompozitlerin çekme özellikleri birbirleriyle karşılaştırıldığında, anlamlı farklılıkların oluşmadığı görülmüştür. Bu nedenle üç tip hibrit matrisli karışım yerine iki tip matrisli karışımların kullanılmasının daha anlamlı olacağı kanaatine varılmıştır.

İki veya daha fazla polimerden oluşan hibrit kombinasyonlu kompozitlerin daha fazla araştırılması gerektiği düşünülmektedir. Hibrit matrisli kompozitler ile spesifik özelliklerin daha fazla kontrol altına alınmasıyla, herhangi bir kompozit malzemenin avantaj ve dezavantajları bakımından daha olumlu bir denge oluşturulması mümkündür.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Balasubramanian M. Composite materials and processing: Polymer matrix composites. CRC Press, 2013.
- [2] Callister WD and Rethwisch JG. Materials Science and Engineering. 8th ed. John Wiley & sons, 2013.
- [3] Zask OC and Goodman SH. Unsaturated Polyester and Vinyl Ester Resins, in Handbook of Thermoset plastics, 1999.
- [4] Boenig HV. Unsaturated Polyesters: Structure and Properties. Elsevier Publishing Company, 1964.
- [5] Johnson KG and Yang LS. Preparation, Properties and Applications of Unsaturated Polyesters in Modern Polyesters: Chemistry and technology of polyesters and copolyesters. 697–713, 2004.
- [6] Lin MS, Liu CC & Lee CT. “Toughened interpenetrating polymer network materials based on unsaturated polyester and epoxy”. Journal of Applied Polymer Science, 72(4), 585-592, 1999.
- [7] Yee AF, Pearson RA. “Toughening mechanisms in elastomer-modified epoxies”. Journal of Materials Science, 21(7), 2462-2474, 1986.
- [8] Yang YS, Suspene L. “Curing of unsaturated polyester resins: Viscosity studies and simulations in pre-gel state”. Polymer Engineering & Science. 31(5), 321-332, 1991.

- [9] TP O . Vinyl esters in engineered materials handbook. Eng. Plast 2: 272-275, 1988.
- [10] Astrom BT. Manufacturing of polymer composites. CRC Press, 1997.
- [11] Thwe MM, Liao K. “Durability of bamboo-glass fiber reinforced polymer matrix hybrid composites”. *Compos Sci Technol*, 63, 375–87, 2003.
- [12] Fu SY, Xu G, Mai YW. “On the elastic modulus of hybrid particle/short-fiber/polymer composites”. *Compos Part B Eng.*, 33, 291–9, 2002.
- [13] Szeluga U, Kumanek B, & Trzebicka B. “Synergy in hybrid polymer/nanocarbon composites. A review”. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 73, 204-231, 2015.
- [14] Prabu AA, Alagar M. “Mechanical and thermal studies of intercross-linked networks based on siliconized polyurethane-epoxy/unsaturated polyester coatings. *Progress In Organic Coatings*, 49(3), 236-243, 2004
- [15] Marom G, et al. “Hybrid effects in composites: conditions for positive or negative effects versus rule-of-mixtures behaviour,” *Journal of Materials Science*, 13(7), 1419–1426, 1978.
- [16] Ferrante L, et all. “Behaviour of woven hybrid basalt-carbon/epoxy composites subjected to laser shock wave testing: Preliminary results”. *Composites Part B: Engineering*, 78, 162-173, 2015.
- [17] Ruban YJV, Mon SG, Roy DV. “Processing and thermal/mechanical studies of unsaturated polyester toughened epoxy composites filled with amine functionalized carbon nanotubes”. *International Journal of Plastics Technology*, 15(2), 133-149, 2011.
- [18] Reddy MI, Kumar MA, & Raju CRB. “Tensile and flexural properties of Jute, Pineapple leaf and glass fiber reinforced polymer matrix hybrid composites,” *Materials Today: Proceedings*, 5(1), 458–462, 2018.
- [19] Guerhazi N, Haddar N, Elleuch K, & Ayedi HF. “Investigations on the fabrication and the characterization of glass/epoxy, carbon/epoxy and hybrid composites used in the reinforcement and the repair of aeronautic structures”. *Materials & Design (1980-2015)*, 56, 714-724, 2014.
- [20] You YJ, Park YH, Kim HY, & Park JS. “Hybrid effect on tensile properties of FRP rods with various material compositions”. *Composite structures*, 80(1), 117-122, 2007.
- [21] Atiqah A, Maleque MA, Jawaid M, & Iqbal M. “Development of kenaf-glass reinforced unsaturated polyester hybrid composite for structural applications”. *Composites Part B: Engineering*, 56, 68-73, 2014.
- [22] Raja RS, Manisekar K, & Manikandan V. “Study on mechanical properties of fly ash impregnated glass fiber reinforced polymer composites using mixture design analysis”. *Materials & Design*, 55, 499-508, 2014.
- [23] International Organization for Standardization. “Plastics-Standard Atmospheres for Conditioning and Testing”. ISO 291, 2008.
- [24] International Organization for Standardization. “Plastics-Determination of tensile properties- Part 1: General principles”. ISO 527-1, 2019.