

ZrO₂ Katkılanmış Karbon Fiber Takviyeli Polimer Kompozitlerin Yapısal ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Esra ÖZTÜRK^{1*}  Erdem MERMER^{2*}  Hanifi ÇİNİCİ^{3*} 

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İleri Teknolojiler Ana Bilim Dalı, Ankara, Türkiye

²TUSAŞ-Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş., Ankara, Türkiye

³Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 12/11/2024
Düzeltilme: 14/12/2024
Kabul: 25/12/2024

Anahtar Kelimeler

Kompozit
Karbon Fiber
Epoksi Reçine
ZrO₂

Article Info

Research article
Received: 12/11/2024
Revision: 14/12/2024
Accepted: 25/12/2024

Keywords

Composites
Carbon Fiber
Epoxy Resin
ZrO₂

Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract)

Bu çalışmada, epoksi reçine içine farklı oranlarda ZrO₂ katkılanarak karbon fiber takviyeli polimer kompozitler üretilmiştir. ZrO₂ katkısının yapısal, termal ve mekanik özellikler üzerindeki etkisi incelenmiştir. / In this study, carbon fiber reinforced polymer composites were produced by adding different ratio ZrO₂ into epoxy resin and the effect of ZrO₂ addition on structural, thermal and mechanical properties was examined.



Şekil A: Karbon fiber takviyeli kompozitlerin üretim yöntemi / Figure A: Production method of carbon fiber reinforced composites

Önemli noktalar (Highlights)

- Karbon fiber takviyeli kompozitlerin termal ve mekanik özelliklerini geliştirmek için reçine içine ZrO₂ tozu katkılanmıştır. / ZrO₂ powder was added into the resin to improve the thermal and mechanical properties of carbon fiber reinforced composites.
- Epoksi reçine içine % 0.5, %1, %1.5 ve %2 ağırlık oranlarında ZrO₂ tozu katkılanmıştır. / ZrO₂ powder was added into the epoxy resin at 0.5%, 1%, 1.5% and 2% weight ratios.
- ZrO₂ katkılanması ile kompozitlerin yapısal, termal ve mekanik özellikleri etkilenmiştir. / The structural, thermal and mechanical properties of the composites were affected by ZrO₂ doping.

Amaç (Aim): Karbon fiber takviyeli kompozitlere ZrO₂ katkılarak kompozitlerin termal ve mekanik özelliklerini incelemektir. / To investigate the thermal and mechanical properties of carbon fiber reinforced composites by adding ZrO₂

Özgünlük (Originality): Literatürde kullanılmamış olan mikron boyutunda ZrO₂ tozu katkılanarak kompozitlerin termal ve mekanik özellikleri incelenmiştir. / Thermal and mechanical properties of the composites were investigated by adding micron-sized ZrO₂ powder, which has not been used in the literature.

Bulgular (Results): En yüksek polimerleşme entalpi ve en yüksek ILSS değeri katkısız kompozitte elde edilmiştir. En yüksek çekme gerilimi %2 ZrO₂ katkılı kompozitte elde edilmiştir. / The highest polymerization enthalpy and the highest ILSS value were obtained in the undoped composite. The highest tensile stress was obtained in 2% ZrO₂ doped composite.

Sonuç(Conclusion): ZrO₂ katkısı kompozitlerin çekme gerilimini artırmış fakat ILSS ve polimerleşme entalpi değerlerini düşürmüştür. / ZrO₂ addition increased the tensile stress of the composites but decreased the ILSS and polymerization enthalpy values.



ZrO₂ Katkılanmış Karbon Fiber Takviyeli Polimer Kompozitlerin Yapısal ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Esra ÖZTÜRK^{1*} Erdem MERMER² Hanifi ÇİNİCİ³ ¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İleri Teknolojiler Ana Bilim Dalı, Ankara, Türkiye²TUSAŞ-Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş., Ankara, Türkiye³Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 12/11/2024
Düzeltilme: 14/12/2024
Kabul: 25/12/2024

Anahtar Kelimeler

Kompozit
Karbon Fiber
Epoksi Reçine
ZrO₂

Öz

Karbon fiber takviyeli polimer kompozitler özellikle havacılık endüstrisinde önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada, epoksi reçine içine ZrO₂ katkılanarak karbon fiber takviyeli polimer kompozitler üretilmiş ve ZrO₂ katkısının yapısal, termal ve mekanik özellikler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, epoksi reçine içine % 0.5, %1, %1.5 ve %2 ağırlık oranlarında ZrO₂ tozu katkılanarak, el yatırma tekniği ile karbon fiber takviyeli kompozitler üretilmiştir. Üretilen numunelerin hacimsel hesaplamaları, shore D sertlik testi, DSC, çekme testi ve tabaklar arası kesme mukavemetinin belirlenmesi için eğme testi yapılmıştır. En yüksek hacimsel artış değeri %2 ZrO₂ katkılı numunede hesaplanmıştır. En yüksek sertlik değeri 85 shore D olarak katkısız numunede ölçülmüştür. En yüksek çekme gerilimi %2 ZrO₂ katkılı kompozitte elde edilmiştir. En yüksek tabakalar arası kesme mukavemeti (ILSS) ve en yüksek polimerleşme entalpisi katkısız kompozitte gözlemlenmiştir.

Investigation of Structural and Mechanical Properties of ZrO₂ Doped Carbon Fiber Reinforced Polymer Composites

Article Info

Research article
Received: 12/11/2024
Revision: 14/12/2024
Accepted: 25/12/2024

Keywords

Composites
Carbon Fiber
Epoxy Resin
ZrO₂

Abstract

Carbon fiber reinforced polymer composites have an important place especially in the aviation industry. In this study, carbon fiber reinforced polymer composites were produced by adding ZrO₂ into epoxy resin and the effect of ZrO₂ addition on structural, thermal and mechanical properties was examined. Carbon fiber reinforced composites were produced by hand lay-up method by adding 0.5%, 1%, 1.5% and 2% weight ratio of ZrO₂ powder into epoxy resin. Volumetric calculations, shore D hardness test, DSC, tensile test and bending test was performed to determine the interlaminar shear strength (ILSS) of the produced samples were performed. The highest volumetric increase was calculated in 2% ZrO₂ doped sample. The highest hardness value was measured as 85 shore D in the undoped sample. The highest tensile stress was obtained in 2% ZrO₂ doped composite. The highest interlaminar shear strength (ILSS) and the highest polymerization enthalpy were observed in undoped composite.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kompozitler, farklı iki veya daha fazla malzemenin makro düzeyde bir araya gelerek oluşturduğu gelişmiş malzemelerdir [1]. Kompozitlerde, farklı malzemelerin üstün özelliklerinin bir araya gelmesi ile üretilen yeni malzeme ile fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanır [2,3].

Kompozit malzemeler geleneksel malzemelerle karşılaştırıldığında yüksek mekanik özelliklerle birlikte hafiflik ve düşük yoğunluk gibi avantaj sağladıkları için havacılık sektörü başta olmak üzere birçok sektörde kullanılmaktadır [3,4].

Kompozit malzemeler matris ve takviye fazı olarak iki ana bileşenden oluşur. Matris malzemesine göre, metal, seramik ve polimer matrisli kompozitler olarak 3 gruba ayrılır [5]. Polimer matrisli kompozitler düşük yoğunluk ve yüksek dayanım, hafiflik, üretim kolaylığı, düşük maliyet, iyi kimyasal kararlılık ve yüksek korozyon direnci gibi özelliklerinden dolayı uzay ve havacılık başta olmak üzere birçok endüstride kullanılmaktadır. Elyaf takviyeli kompozitlerde en yaygın kullanılan matris malzemesi polimerlerdir. Polimerler iç yapılarına göre, termoplastik ve termoset olmak üzere iki temel gruba ayrılmaktadır [2,6]. Termosetler, monomer moleküllerin kimyasal reaksiyon sonucunda çapraz bağlarla birbirlerine bağlanmasıyla meydana gelen malzemelerdir. Kovalent bağlarla üç boyutlu olarak bağlandıkları için oldukça rijit bir yapıya sahiptirler. Kürleme sürecinde polimerizasyon reaksiyonu gerçekleşirken çapraz bağlar oluştuğu için termosetlerin ısıtılarak yumuşatılmaları ve şekillendirilmeleri mümkün değildir. Poliester, vinilester ve epoksi yaygın olarak kullanılan termosetlerdir [2,7,8]. Epoksi, reçine ve sertleştirici olarak iki bileşenden oluşur. Bu bileşenlerin belirtilen oranlarda karıştırılması ve belirli bir sıcaklıkta kürlenmesi ile katı hale geçerler [3]. Epoksi reçinelerin büzülme oranı %2'den azdır ve tüm elyaf takviyeli kompozit malzemelerin üretimi için uygundur. Havacılıkta genellikle karbon elyaflarla birlikte kullanılırlar [9]. Kompozit malzemeler takviye malzemelerine göre de elyaf takviyeli, parçacık takviyeli, tabakalı ve hibrid kompozitler olarak 4'e ayrılabilir. Elyaf takviyeli kompozitler cam, grafit, karbon ve aramid fiber olarak ayrılır [4]. Karbon fiber, polimer matrisli kompozitlerde 1960'lardan beri modern bilim ve teknoloji için en önemli endüstriyel malzemelerden biri olarak kullanılmaya başlanmıştır. Karbon fiberler, insan gözüyle görülebilen çok ince filamentlerdir çapı yaklaşık 5–10 µm'dir. Karbon fiberlerin termal genleşme katsayısı yaklaşık sıfır olduğundan malzemenin termal genleşmesini düşürürler. Karbon fiberler çelikten 4,5 kat daha hafif olmasına rağmen 3 kat daha dayanıklıdır. Yüksek mukavemet/ağırlık oranı, yüksek termal kararlılık, yüksek iletkenlik ve korozyon direnci gibi mükemmel özellikleri nedeniyle kompozit malzeme kullanımı için öncelikli olarak tercih edilirler. Karbon fiber genellikle PAN (Poliakrilonitril), zift ve selülöz (Rayon)'dan elde edilir [10-15].

Literatürde yapılan çalışmalar, kompozitlerin ağırlığını arttırmadan ya da işlenebilirliğini olumsuz etkilemeden az miktarda (ağırlıkça %5'ten daha az) çeşitli katkı maddeleri eklenerek kompozitlerin

performansının iyileştirilebileceğini göstermiştir [16,17]. Farklı katkı maddelerinin polimer kompozitlerin sürtünme ve aşınma davranışları üzerinde farklı etkiler gösterdiğini bulmuştur. ZnO, ZnF₂, ZnS ve Zn(C₁₈H₃₅O₂)₂ gibi birçok çinko bileşiğinin katkı maddesi olarak kullanılmasıyla aşınma oranının önemli ölçüde azalabildiği gözlemlenmiştir. Son zamanlarda SiC, SiO₂ ve TiO₂ katkı maddeleri kullanılmıştır. SiO₂ ve TiO₂ katkıları kompozitlerin tribolojik özelliklerine etki ederken, SiC katkıları kompozitlerin tribolojik ve mekanik özelliklerine etki ettiğini gözlemlenmiştir [18-20]. Cam, alüminyum oksit (Al₂O₃), magnezyum hidroksit (Mg (OH)₂), kalsiyum karbonat (CaCO₃) parçacıkları katkı maddesi olarak kullanılmasıyla, kompozitlerin yüksek stabilite ve mekanik dayanıma sahip olduğu gözlemlenmiştir [21]. Katkı maddesi olarak kullanılan grafit oksit nanopartiküllerin çatlak ilerlemesine etki ettiğini gözlemlenmiştir [22]. Yüksek yoğunluklu polietilen içerisine çinko borat ve grafit tozları katılarak elde edilen polimer kompozitin mekanik özelliklerinde değişim meydana geldiği gözlemlenmiştir [23]. Polipropilen esaslı kompozit malzemelere alüminyum tozu katılmasıyla vizkozite değerlerinde değişiklikler gözlemlenmiştir [24]. Bor bileşikler katılarak üretilen polimer kompozitlerin termal ve mekanik özelliklerinde artma gözlemlenmiştir [25]. Zirkonyum dioksit, yüksek mukavemet, yüksek kırılma tokluğu, mükemmel aşınma direnci, yüksek sertlik ve kimyasal direnç gibi mükemmel özelliklere sahiptir. Bu sebeple ZrO₂ nanopartikülleri, gelişmiş performansla sahip kompozitler üretmek için katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. Epoksilerin mekanik davranışını geliştirme ve bazı durumlarda özellikle tokluklarını iyileştirdiği gözlemlenmiştir [26].

Bununla beraber, reçine içine mikron boyutunda ZrO₂ katılarak karbon fiber takviyeli polimer kompozit üretimi ile ilgili çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Bu çalışmada, reçine içine farklı oranlarda ZrO₂ katkısının etkileri araştırılarak, termal ve mekanik özelliklerinin analiz edilmesiyle literatüre önemli bir katkı sağlamak ve endüstriyel uygulamalara örnek teşkil etmektedir.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Malzemeler (Materials)

Bu çalışmada takviye malzemesi olarak 300x300mm boyutlarında karbon fiber prepregler kullanılmıştır. Polimer matris malzemesi olarak LOCTITE EA 9396 AERO (Hysol EA 9396) epoksi

reçine kullanılmıştır. Epoksi, reçine ve sertleştirici olarak 2 bileşenden oluşur. Hysol EA 9396 düşük vizkozitelidir. Oda sıcaklığında saklama ve kürlenme özelliklerine sahiptir. Düşük ve yüksek sıcaklıklarda yüksek dayanım gösterir. Partikül olarak $5\mu\text{m}$ 'nin altında toz boyutuna sahip ZrO_2 kullanılmıştır.

2.2. Üretim Yöntemi (Production Method)

Bu çalışmada katkısız, %0.5, %1, %1.5 ve %2 ağırlık oranlarında ZrO_2 katkılı numuneler üretilmiştir. Belirtilen oranlarda ZrO_2 , epoksi reçine içine katılarak Speed Mixer'da 2500 rpm'de 5

dk karıştırılmıştır. Karıştırılan numuneler kalıplara alınarak 23°C , 46°C , 66°C ve 86°C 'de kürlenmiştir. Daha sonra aynı oranlardaki karışımlar el yatırma yöntemi ile $300\times 300\text{mm}$ boyutlarında kesilmiş olan karbon fiberlere 5'er kat serim yapılarak uygulanmıştır. Serimleri yapılan numuneler, 23°C 'de 1 atmosferlik basınç altında vakum torbalama işlemi ile kürlenmiştir. Vakum, hava boşluklarının ortadan kaldırılmasına yardımcı olur ve reçinenin liflerin arasına nüfuz etmesini kolaylaştırarak fazla reçinenin de dışarı atılmasını sağlar. Şekil 1'de ZrO_2 katkılı reçinelerin Şekil 2'de karbon fiber takviyeli kompozitlerin üretim aşamaları gösterilmektedir.



Şekil 1. a) Speed mixer b) kalıba alınan karışım c) kürlenme için etüv d) kalıptan çıkarılan numune (a)Speed mixer b) sample taken into mold c) oven for curing d) sample removed from mold)



Şekil 2. a) El yatırma yöntemi ile kompozit üretimi b) vakum torbalama (a)Composite production by hand lay-up method b) vacuum bagging)

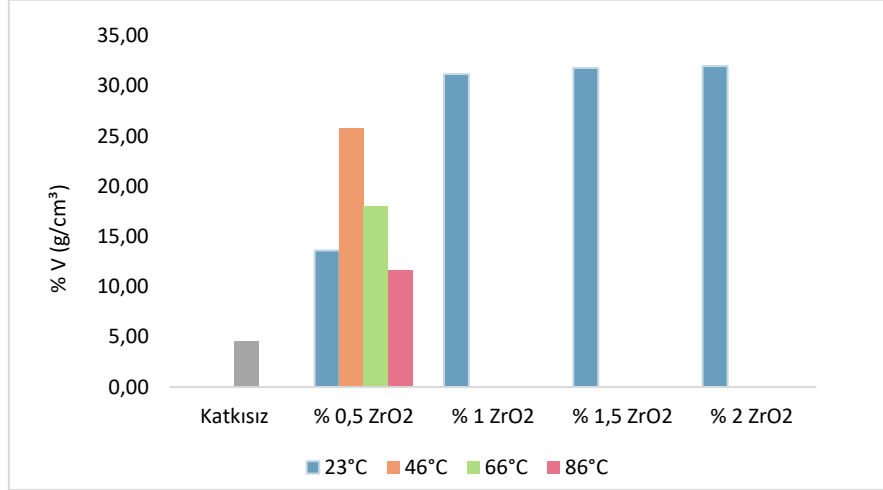
2.3. Karakterizasyon Teknikleri (Characterization Techniques)

ZrO_2 katkılı reçinelerin hacimsel hesaplamaları, arşimet prensibi ile ± 0.01 gr hassasiyetindeki terazi kullanılarak yapılmıştır. Shore D sertlik testi, TYPE D DUROMETER cihazı ile ASTM D2240 standartlarına göre yapılmıştır. Karbon fiber takviyeli polimer kompozitlerin DSC, çekme ve eğme testleri yapılmıştır. DSC testi Universal TA Instrument cihazı ile EN 6064 standartlarına göre, çekme testi INSTRON 34TM-30 cihazı ile ASTM D 638-10 standartlarına göre ve eğme testi INSTRON cihazı ile EN 2563 standartlarına göre yapılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. ZrO_2 Katkılı Reçinelerin Analizi (Analysis of ZrO_2 Doped Resins)

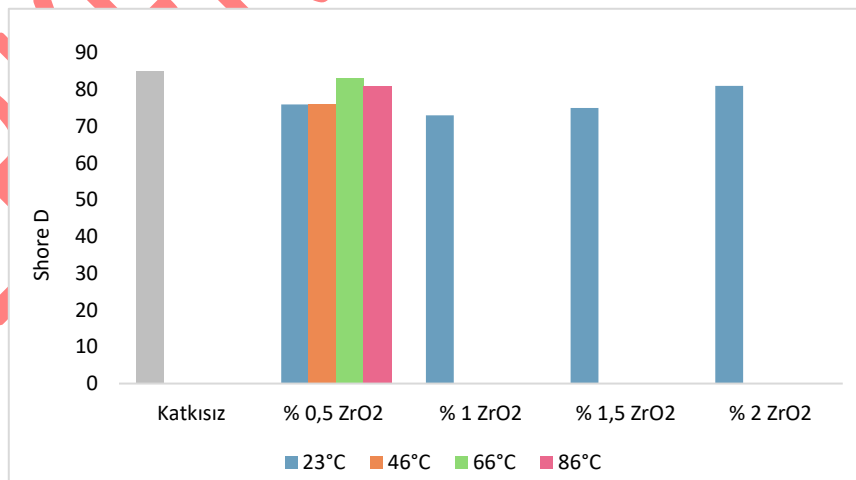
Hacimsel hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler Şekil 3'te verilmiştir. En yüksek hacimsel artış 32 g/cm^3 ile %2 ZrO_2 katkılanmış numunede elde edilmiştir. Katkılanmış numunelerin tamamında katkısızdan daha fazla hacimsel artış görülmüştür. Epoksi reçine içine ZrO_2 katkısının hacimsel artışa neden olduğu tespit edilmiştir.



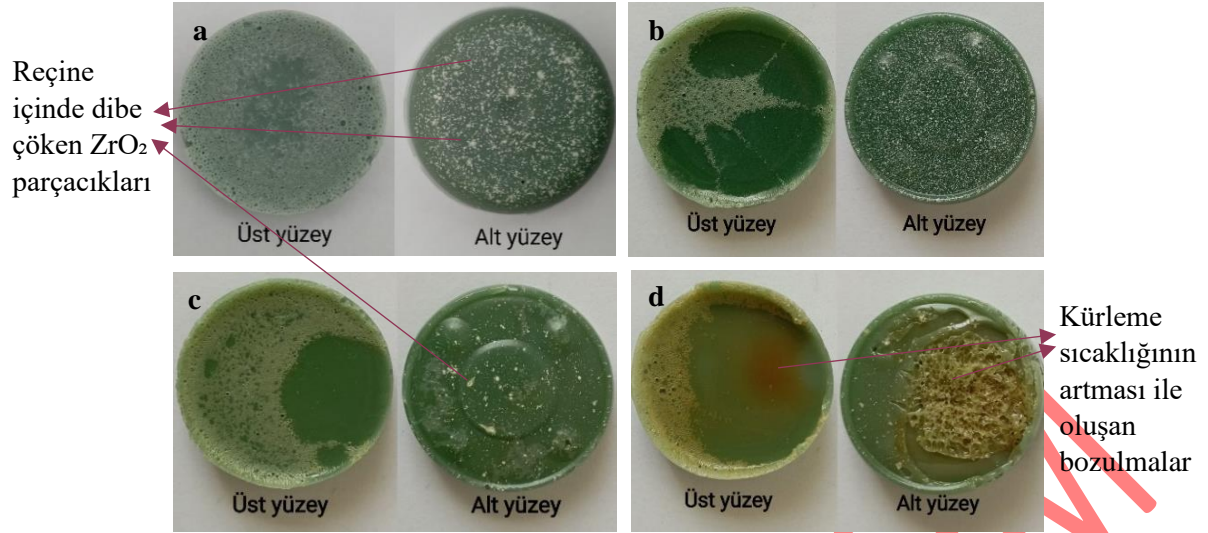
Şekil 3. Katkısız ve ZrO₂ katkılı reçinelerin hacimsel hesaplama değerleri (Volumetric calculation values of undoped and ZrO₂ doped resins)

Shore D sertlik ölçümlerinde birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Sertlik değerleri Şekil 4'te verilmiştir. En yüksek sertlik değeri 85 Shore D ile katkısız numunede ölçülmüştür. Epoksi reçine içine ZrO₂ katkısı numunelerin sertlik değerlerinde katkısız numuneye göre kısmi düşmelere sebep olduğu görülmüştür. Akıncı ve ark. yaptığı çalışmada ağırlıkça %5, %10, %20 ve %30 oranlarında ZrO₂ katkılı numuneler üretilmiş ve Shore D sertlik değerleri 79-82 arasında gözlemlenmiştir. ZrO₂ katkı oranı arttıkça numunelerin sertlik değerinde kısmi bir artış

gözlemlenmiştir [26]. Bu çalışmadaki Shore D sertlik sonuçları ile literatürdeki sertlik sonuçlarının yakın olduğu görülmüştür. Literatürde ZrO₂ katkısı sertlik değerinde kısmi bir artış sağlarken, bu çalışmada kısmi bir düşmeye neden olmuştur. Bunun nedeni, literatürdeki çalışmada kullanılan toz boyutu 1µm'nin altındayken, bu çalışmada 5 µm'nin altındadır. Zirkonyum dioksitin küçük toz boyutunda katkılanması numune sertliğinde artış sağlarken, büyük toz boyutunda katkılanması kısmi düşmeye neden olduğu görülmüştür.



Şekil 4. Katkısız ve ZrO₂ katkılı reçinelerin Shore D sertlik değerleri (Shore D hardness values of undoped and ZrO₂ doped resins)



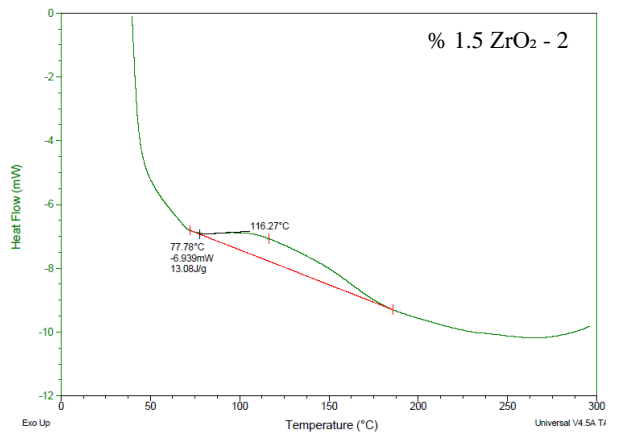
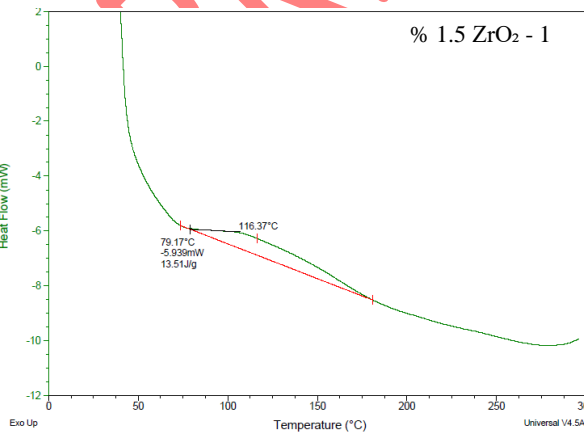
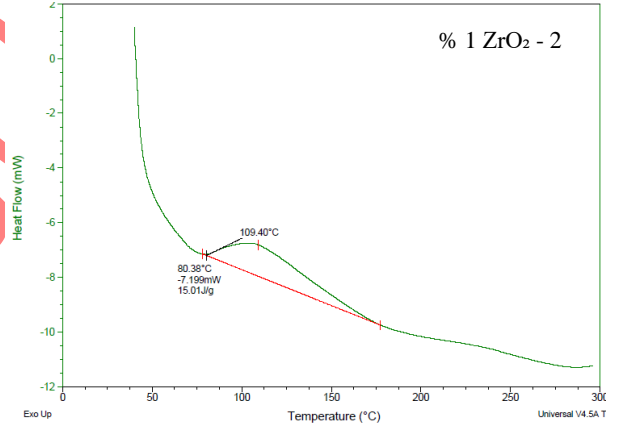
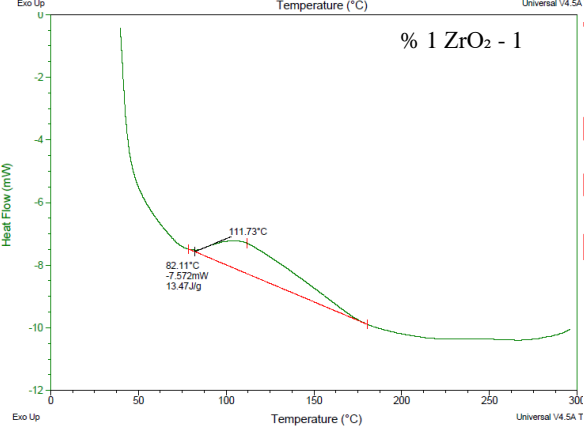
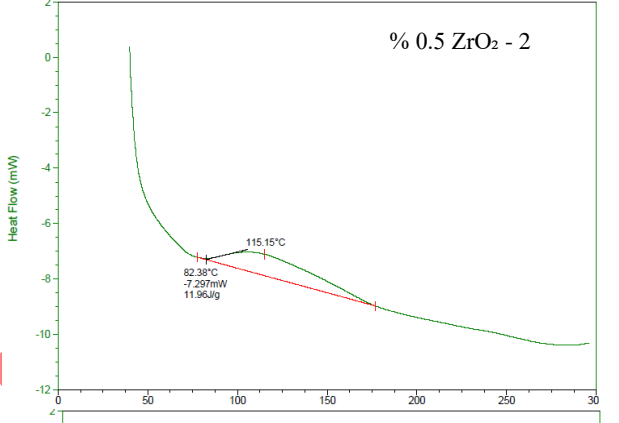
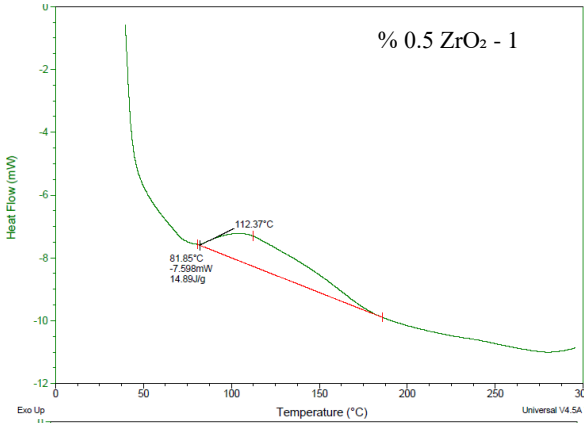
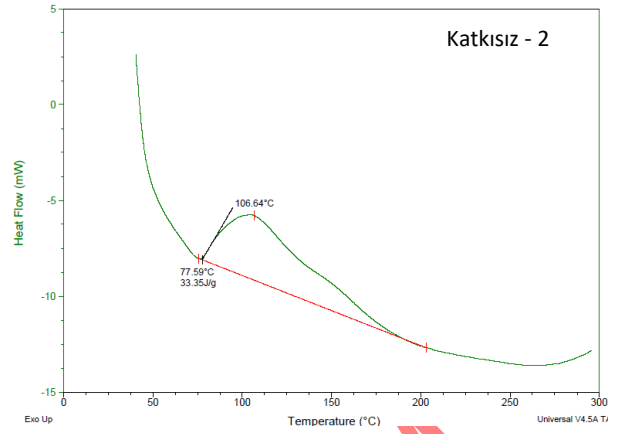
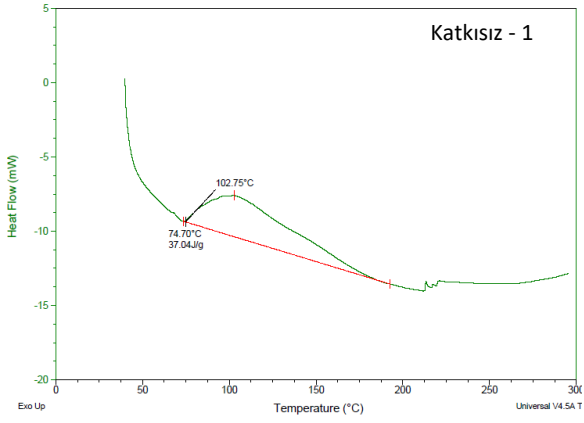
Şekil 5. %0.5 ZrO_2 katkılı numunelerin fotoğrafları a) 23°C, b) 46°C, c) 66°C, d) 86°C (Photos of ZrO_2 doped samples)

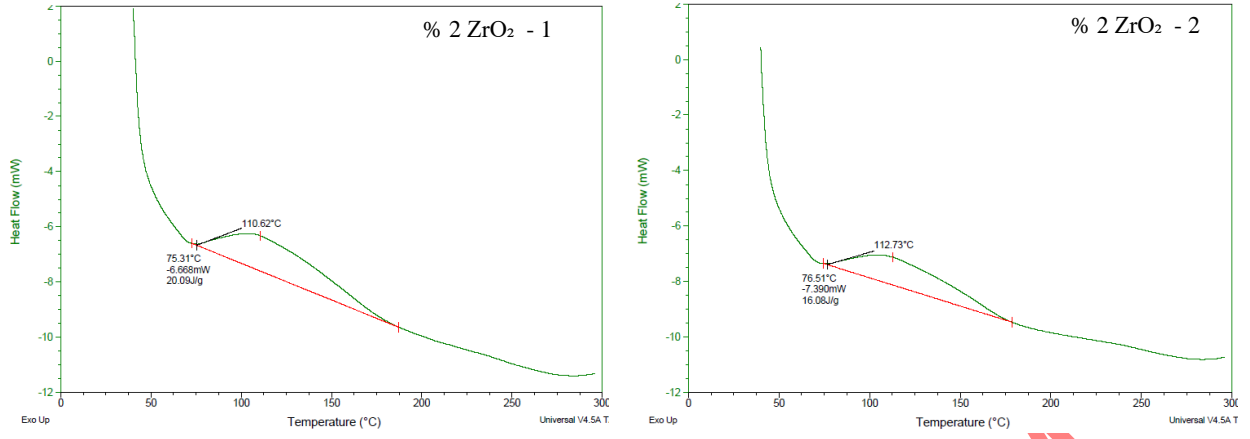
Reçinenin kürleme sıcaklığının artması, ZrO_2 partiküllerinin dibe çökme oranında azalma sağlarken, numune yüzeylerinde hasar oluşumuna neden olduğu görülmüştür. Sıcaklığın artması kürleme süresini kısalttığı için parçacıkların reçine içinde dibe çökmeden kürlenmesini sağlamıştır. Dibe çökme oranları ve sıcaklığın etkisiyle bozulmalar Şekil 5'te gösterilmiştir.

3.2. ZrO_2 Katkılı Karbon Fiber Takviyeli Polimer Kompozitlerin Analizi (Analysis of ZrO_2 Doped Carbon Fiber Reinforced Polymer Composites)

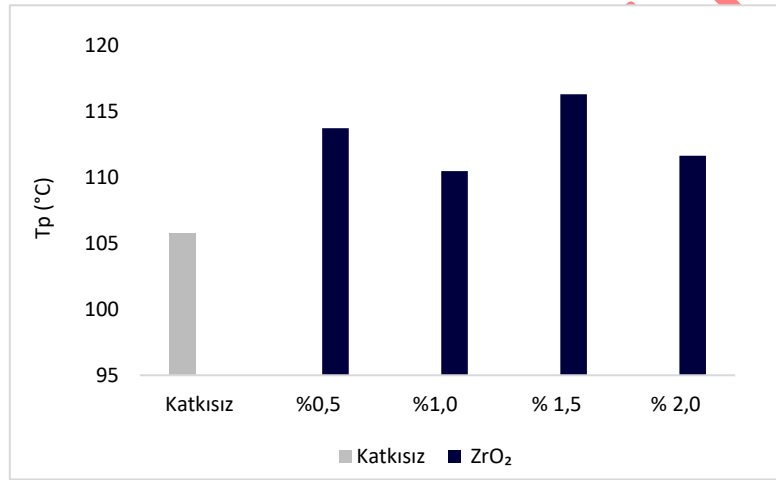
DSC testi ile polimerleşme sıcaklıkları ve polimerleşme entalpi değerleri elde edilmiştir. Bu değerler Şekil 6'daki DSC grafiklerinde görülmektedir. Üretilen tüm kompozitlerde polimerleşme sıcaklık değerleri 102°C-113°C arasında değişmektedir. En düşük polimerleşme sıcaklığı 102.75°C ile katkısız kompozitte görülmüştür. Polimerleşme sıcaklığı, termoset

polimerlerdeki çapraz bağların oluşum sıcaklığını vermektedir [27]. Dolayısıyla epoksi reçine içine ZrO_2 katkılanmasının çapraz bağların oluşum sıcaklığını kısmi oranda artırdığını göstermektedir. Ortalaması alınmış olan polimerleşme sıcaklıkları Şekil 7'de verilmiştir. ZrO_2 katkılanmış kompozitlerin polimerleşme entalpisi (ΔH_p) katkısız numuneden düşük elde edilmiştir. En yüksek ΔH_p değerine 32.20 j/g ile katkısız kompozitte ulaşılmıştır. Ortalaması alınmış ΔH_p değerleri Şekil 8'de verilmiştir. Dorigato ve ark. yaptığı çalışmada, epoksi reçine içine nano boyutta ZrO_2 katkısı ile çapraz bağ yoğunluğunun azaldığı gözlemlenmiştir [28]. Bu çalışmada da literatürdeki çalışma ile benzer olarak ZrO_2 katkısının termoset polimerlerdeki çapraz bağlara etki ettiği ve çapraz bağ yoğunluğunda azalmaya neden olduğu değerlendirilmiştir. Oluşan çapraz bağ ve açığa çıkan enerji doğru orantılı olduğu için çapraz bağ yoğunluğu azaldıkça ΔH_p değerlerinin de azaldığı görülmüştür.

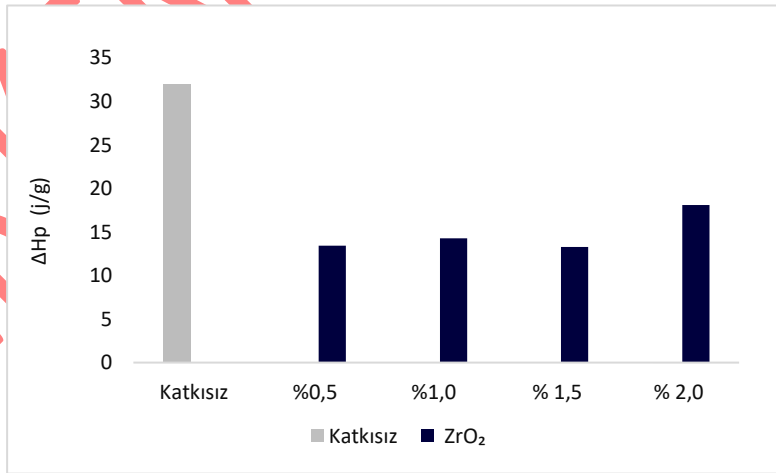




Şekil 6. Katkısız ve ZrO₂ katkılı kompozitlerin DSC grafikleri (DSC graphs of undoped and ZrO₂ doped composites)



Şekil 7. Katkısız ve ZrO₂ katkılı kompozitlerin polimerleşme sıcaklıkları (Polymerization temperatures of undoped and ZrO₂ doped composites)



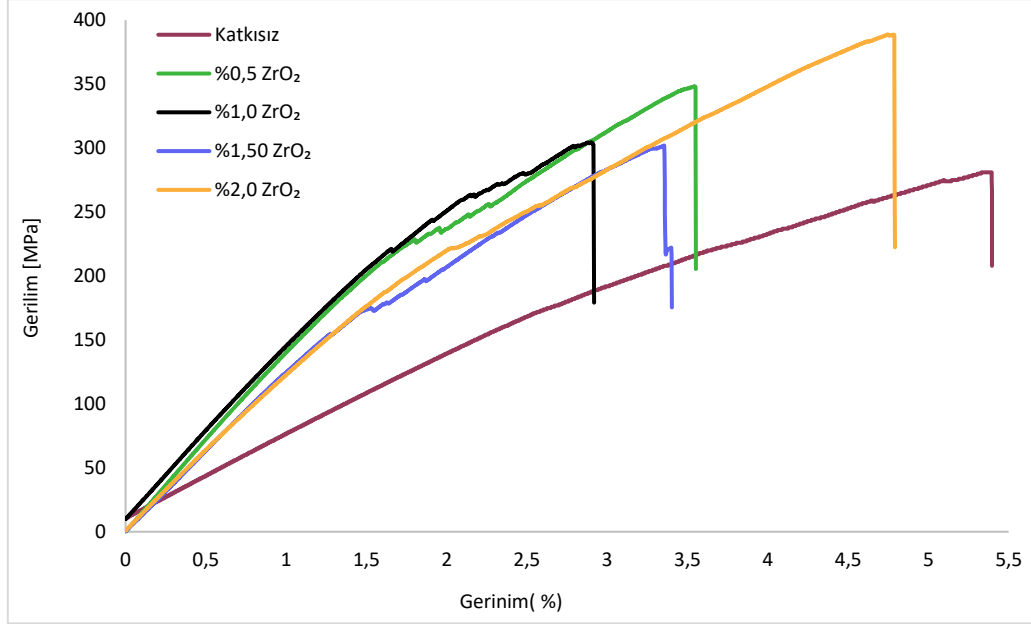
Şekil 8. Katkısız ve ZrO₂ katkılı kompozitlerin polimerleşme entalpisi (Polymerization enthalpy of undoped and ZrO₂ doped composites)

Çekme testinde gerilim-gerinim grafikleri elde edilmiştir. Şekil 9'da gerilim-gerinim grafiği görülmektedir. En yüksek çekme gerilimi 388 MPa ile %2 ZrO₂ katkılanmış numunede gözlemlenirken, en düşük 281 MPa ile katkısız numunede gözlemlenmiştir. Şekil 10' da çekme gerilim

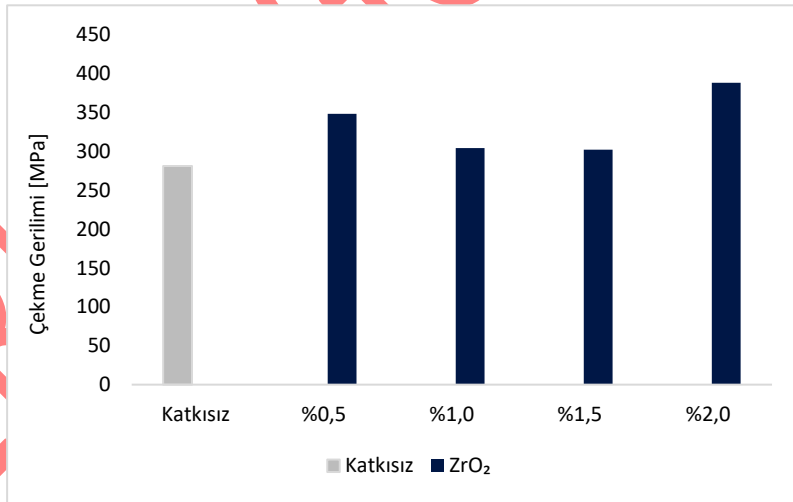
değerleri verilmiştir. ZrO₂ katkılı tüm numunelerdeki çekme gerilim değerlerinin, katkısız numuneden yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Rahmah'ın yaptığı çalışmada, epoksi reçine içine nano boyutta ZrO₂ katkısının katkısız kompozite

göre çekme gerilim değerlerini artırdığı gözlemlenmiştir. %4, %6 ve %8 oranlarında katkılanan ZrO₂ katkı oranı arttıkça çekme gerilim değerleri de aşamalı olarak arttığı gözlemlenmiştir [29]. Elyaf-matris arayüzey bağı ne kadar iyiyse gerilim matristen elyafa daha iyi aktarılır [30]. Bu

çalışmada, ZrO₂ katkı maddesi gerilimin elyalara daha iyi aktarılmasını sağlamış ve bu yüzden kompozitlerdeki çekme gerilim değerlerinin arttığı görülmüştür. Literatürde yapılan çalışmalar da bunu desteklemektedir.



Şekil 9. Katkısız ve ZrO₂ katkılı kompozitlerin gerilim- gerilim grafiği (Stress-strain graph of undoped and ZrO₂ doped composites)



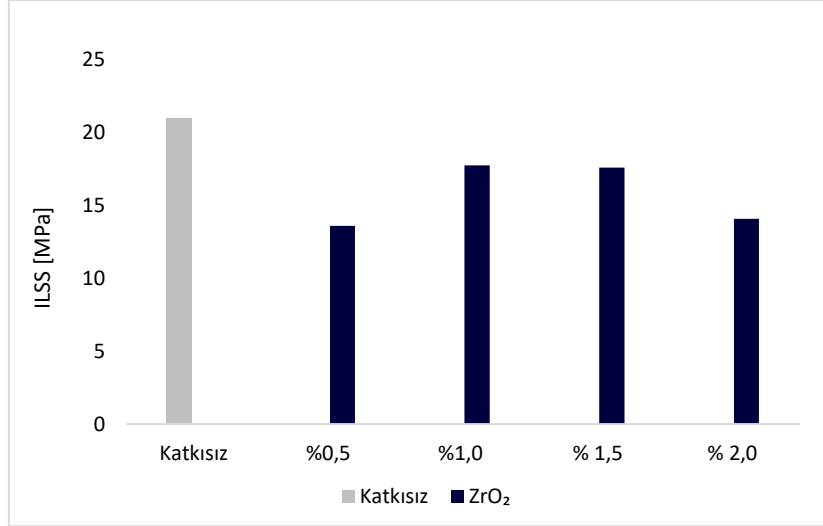
Şekil 10. Katkısız ve ZrO₂ katkılı kompozitlerin çekme gerilim değerleri (Tensile stress values of undoped and ZrO₂ doped composites)

Tabakalar arası kesme mukavemet (ILSS) değerleri eğme testi ile elde edilmiş ve elde edilen ILSS değerleri Şekil 11’de verilmiştir. En yüksek ILSS 21 MPa değeri ile katkısız numunede görülürken, katkılanmış tüm numunelerdeki ILSS değerlerinin, katkısız numuneden düşük olduğu görülmüştür. Bu sebeple epoksi reçine içine ZrO₂ katkısının polimer kompozitlerdeki tabakalar arası kesme

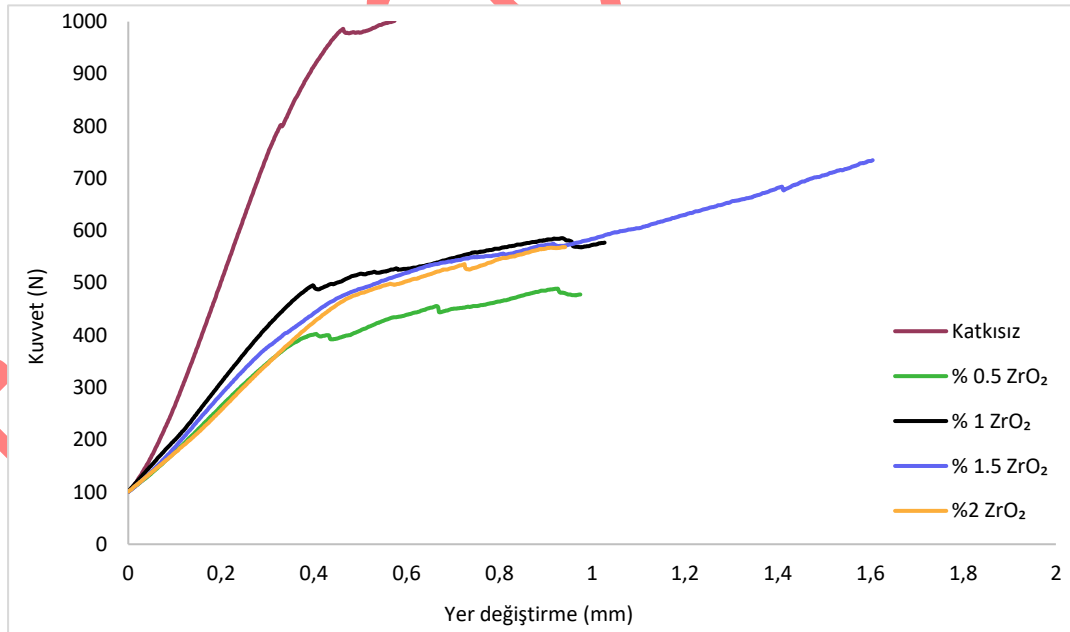
mukavemetini düşürdüğü tespit edilmiştir. Şekil 12’de kuvvet-yer değiştirme grafiği verilmiştir. Toorchi ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, epoksi reçine içine %1, %2 ve %3 oranlarında ZrO₂ katkılanarak üretilmiş kompozitlerdeki ILSS değerlerinin katkısız kompozitten yüksek olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek ILSS değerine %2 ZrO₂ katkılanmış kompozitte ulaşılmış, %2’den

sonra ZrO₂ oranı arttığında ILSS değerinde düşme gözlemlenmiştir. Bunun nedeni artan ZrO₂ oranı ile aglomerasyonun artması ve elyaf-matris arayüzey bağını zayıflatmasıdır [31]. ILSS değerleri elyaf ve matris arasındaki yapışkanlık derecesini göstermektedir [32]. Bu çalışmada ZrO₂ katkısı elyaf matris arayüzey bağına etki ederek ILSS değerlerinde düşmeye neden olduğu tespit

edilmiştir. Literatürdeki çalışmadan farklı sonuçlar elde edilmesinin nedeni farklı toz boyutları kullanılması olarak değerlendirilmiştir. Literatürde yapılan çalışmada nano boyutta ZrO₂ kullanılırken, bu çalışmada mikro boyutta ZrO₂ kullanılmıştır. Nano boyuttaki tozlar arayüzey bağını artırırken mikro boyuttaki tozlar arayüzey bağının düşmesine neden olmuştur.



Şekil 11. Katkısız ve ZrO₂ katkılı kompozitlerin ILSS değerleri (ILSS values of undoped and ZrO₂ doped composites)



Şekil 12. Katkısız ve ZrO₂ katkılı kompozitlerin kuvvet- yer değiştirme grafiği (Force-displacement graph of undoped and ZrO₂ doped composites)

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, reçine içine farklı oranlarda ZrO₂ katkısının üretilen reçine numuneleri ve karbon fiber takviyeli kompozitlerin üzerindeki etkileri incelenmiş ve sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Epoksi reçine içine ZrO₂ katkısının hacimsel artışa neden olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek hacimsel artış oranı %32 ile %2 ZrO₂ katkılı numunede gözlemlenirken, en düşük oran %4.5 ile katkısız numunede gözlemlenmiştir.
- Shore D sertlik ölçümlerinde birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. En yüksek sertlik değeri 85 Shore D ile katkısız numunede gözlemlenmiştir. Epoksi reçine içine ZrO₂ katkılanması numunelerin sertlik değerlerinde kısmi düşmelere sebep olduğu görülmüştür.
- Reçinenin kütleme sıcaklığının artması, ZrO₂ partiküllerinin dibe çökme oranında azalma sağlarken, numune yüzeylerinde hasar oluşumuna neden olduğu görülmüştür.
- En yüksek polimerleşme entalpi değerine 32.20 J/g ile katkısız kompozitte ulaşılmıştır. ZrO₂ katkısının polimerleşme entalpisini düşürdüğü tespit edilmiştir.
- En yüksek çekme gerilimi 388 MPa ile %2 ZrO₂ katkılı numunede elde edilirken, en düşük 281 MPa ile katkısız numunede elde edilmiştir. Epoksi reçine içine ZrO₂ katkısının polimer kompozitlerdeki çekme gerilimini artırdığı tespit edilmiştir.
- En yüksek ILSS değeri 21 MPa ile katkısız numunede gözlemlenmiştir. Katkılı tüm numunelerdeki ILSS değerlerinin, katkısız numuneden düşük olduğu bu sebeple epoksi reçine içine ZrO₂ katkısının polimer kompozitlerdeki tabakalar arası kesme mukavemetini düşürdüğü tespit edilmiştir.

Bu çalışmada ZrO₂ katkı oranı %0.5'ten %2'ye kadar kullanılmıştır. Katkı oranı %1.5'ten %2'ye çıkarıldığında ILSS değerinde ciddi bir düşme görülmüştür. Artan katkı oranı ile aglomerasyonun arttığı ve ara yüzey bağımlı zayıflattığı şeklinde değerlendirilmiştir. Kumar ve ark. yaptığı bir çalışmada %2, %4 ve %8 oranlarında ZrO₂ katkılı kompozitlerde mekanik ve termal özelliklerin %4'e kadar yükseldiği %4'ten sonraki katkı oranında özelliklerin düştüğünü ve bunun sebebi olarak artan katkı oranı ile matris içindeki aglomerasyonun artması olarak göstermişlerdir [33]. Li ve ark. yaptığı çalışmada %1, %2, %3, %4 ve %5 oranlarında nano ZrO₂ katkılı kompozitlerde, %3 katkı oranında mekanik özelliklerin maksimum değere ulaştığı ve %3'ten sonraki katkı oranlarında

oluşan aglomerasyon ve arayüzey bağının zayıflaması ile mekanik özelliklerin düştüğü gözlemlenmiştir [30]. Bu çalışmada olduğu gibi literatürdeki çalışmalarda da artan ZrO₂ oranı ile aglomerasyon artmış ve elyaf-matris arayüzey bağına zarar vermiştir. Bu yüzden, bu çalışmada katkı oranı %2'de bırakılmış yüksek oranlara çıkılmamıştır.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

The author of this article declares that the materials and methods they use in their work do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHOR'S CONTRIBUTIONS)

Esra ÖZTÜRK: Deneyleri yapmış, sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

She conducted the experiments, analyzed the results and performed the writing process of the article.

Erdem MERMER: Deneylerin planlanması ve uygulanmasını sağlamış, sonuçların değerlendirilmesi, makalenin yazımı ve son düzenlemelerinde katkıda bulunmuştur.

He provided the planning and implementation of the experiments. He contributed to the evaluation of the results, writing and last editing of the article.

Hanifi ÇİNİCİ: Makaleyi gözden geçirmiştir.

He reviewed the article.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

There is no conflict of interest in this study.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] Fan Q, Duan H and Xing X, "A review of composite materials for enhancing support, flexibility and strength in exercise" Alexandria Engineering Journal 94, 90–103, 2024

[2] Yöney H, "El Yatırma Yöntemi ile Elyaf Takviyeli Kompozit Yapıların Üretilmesi ve Özellikleri", Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007

- [3] Yalman M. Kadir, Atar İ, Mengeloğlu F, “Epoksi esaslı kompozitlerin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine sodyum hidroksit ile modifiye edilmiş farklı güçlendirici malzemelerin etkisi”, Turkish Journal of Forestry, 25(3), 290-301, 2024
- [4] Evirgen K. Murat, “Havacılık Sektörü için Otoklavda Üretilen Karbon Fiber Takviyeli Epoksi Polimer Kompozitlerin Termal ve Mekanik Özelliklerine Otoklav Basıncının Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 2023
- [5] Anthony K, “Advanced Composite Materials for Aerospace Applications”, Journal of Engineering and Scientific Research, 3(2), 1-4, 2024
- [6] Barut E, “Farklı Seramik Katkılı Polimer Matrisli Karbon Fiber Kompozit Yapıların Özelliklerinin İncelenmesi”, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016
- [7] Yeo K. B, Hamidi H. H, Choong W. H, “Self-healing efficiency study of thermoset-thermoplastic polymer material”, Materials Science and Engineering, 1217, 2022, doi:10.1088/1757-899X/1217/1/01200
- [8] Demir, M. E, Çelik Y ve Kılıçkap H. E, “Cam ve karbon elyaf takviyeli kompozitlerde elyaf cinsinin, yükün, kayma hızı ve mesafesinin abrasiv aşınmaya etkisi”, Politeknik Dergisi, 22(4), 811-817, 2019
- [9] Yavaş M. O, “Hafif Silahlara Karşı Bireysel Savunma Amaçlı Kompozit Malzeme Tasarımı ve Balistik Dayanımı”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009
- [10] Sharma M, Gao S, Mader E, Sharma H, Wei L. Y and Bijwe J, “Carbon fiber surfaces and composite interphases”, Composites Science and Technology, 102, 35-50, 2014
- [11] Liu L, Jia C, He J, Zhao F, Fan D, Xing L, Wang M, Wang F, Jiang Z and Yudong H, “Interfacial characterization, control and modification of carbon fiber reinforced polymer composites”, Composites Science and Technology, 2015 doi: 10.1016/j.compscitech.2015.08.002.
- [12] Newcomb B. A, “Processing, structure, and properties of carbon fibers”, Composites: Part A, 44552016, doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesa.2016.10.018
- [13] Wanga M., Kang Q and Pan N, “Thermal conductivity enhancement of carbon fiber composites”, Applied Thermal Engineering, 29, 418-421, 2009
- [14] Shirvanimoghaddam K, Hamim S.U, Akbari M. K, Fakhrhoseini S. M, Khayyam H, Pakseresht A. H, Ghasali E, Zabet M, Munir K. S, Jia S, Davim J. P, Naebe M, “Carbon fiber reinforced metal matrix composites: Fabrication processes and properties” Composites: Part A 92, 70-96, 2017
- [15] Yetkin S. H, Ünal H ve Hatipoğlu G, “Karbon Fiber Takviyesinin Poli-fital-amit (PPA) Polimerinin Tribolojik Özelliklerine Etkisinin Araştırılması”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C, 11(3), 744-755, 2023
- [16] He H, Li K, Wang J, Sun G, Li Y and Wang J, “Study on thermal and mechanical properties of nano-calcium carbonate/epoxy composites”, Materials and Design, 32, 4521-4527, 2011
- [17] Taşdemir M & Ulutaş E, “Düşük Yoğunluklu Polietilenin Mekanik, Fiziksel ve Morfolojik Özelliklerine Alaşımli Demir Tozunun Etkisi”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C, 12(3), 628-638, 2024
- [18] Li F, Hu K, Li J and Zhao B, “The friction and wear characteristics of nanometer ZnO filled polytetrafluoroethylene”, Wear, 249, 877-882, 2002
- [19] Zhang M. Q, Ronga M.Z, Yu S. L, Wetzel B and Friedrich K, “Effect of particle surface treatment on the tribological performance of epoxy based nanocomposites” Wear, 253, 1086-1093, 2002
- [20] Kaner S, “Polimer Matrisli Karbon Kompozit Malzemelerin SiC Takviye Oranlarının Mekanik ve Metalurjik Özelliklere Etkileri”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C, 12(2), 605-614, 2024
- [21] Güneş A & Deniz M. E, “Yumurta Kabuğu Takviyeli Polimer Kompozitlerin Mekanik Davranışının İncelenmesi”, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 10 (2), 453-468, 2021
- [22] Florek P, Król M, Jeleń P and Mozgawa W, “Carbon Fiber Reinforced Polymer Composites Doped with Graphene Oxide in Light of Spectroscopic Studies”, Materials, 14, 1835, 2021
- [23] Ulutaş E, Eker Gümüş B ve Taşdemir M, “The Effect of Graphene on the Mechanical Properties of

High Density Polyethylene (HDPE)/Zinc Borate Polymer Composite”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C, 11(1), 133-142, 2023

[24] Güldaşı A, Altuğ M, Temel S, “Aluminyum Tozu Takviyeli Polipropilenin Viskozite Değerlerinin İncelenmesi”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C, 4(3), 147-158 2016

[25] Kılınçel M & Yılmaz E, “Aerosil ve Tinkal Parçacık Takviyesinin Yığın Kalıp Bileşiği (BMC) Kompozitlerin Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi”, Gazi Üniversitesi Gazi University Fen Bilimleri Dergisi Part:C, 12(3), 724-733, 2024

[26] Akinci A, Sen S. and Sen S., “Friction and wear behavior of zirconium oxide reinforced PMMA composites” Composites: Part B, 56, 42–47, 2016

[27] Speight J.G. “Monomers, Polymers, and Plastics” Handbook of Industrial Hydrocarbon Processes, 499-537, 2011

[28] Dorigato A., Pegoretti A., Bondioli F. & Messori M., Improving Epoxy Adhesives with Zirconia Nanoparticles, Composite Interfaces 17, 873–892, 2010

[29] Rahmah N. M., Comparing the Effects of ZnO and ZrO₂ Nanomaterials on the Mechanical, Chemical, and Crystalline Properties of Epoxy Resin (DGEBA), Science des Matériaux, 48, 101-107, 2024.

[30] Li J., Peng C., Li Z., Wu Z. and Liac S., The improvement in cryogenic mechanical properties of nano-ZrO₂/epoxy composites via surface modification of nano-ZrO₂, The Royal Society of Chemistry, 6, 61393–61401, 2016

[31] Toorchi D., Khosravi H. and Tohidlou E., Synergistic effect of nano-ZrO₂/graphene oxide hybrid system on the high-velocity impact behavior and interlaminar shear strength of basalt fiber/epoxy composite, Journal of Industrial Textiles, 0(0) 1–20, 2019

[32] Nayak R. K., Mahato K. K. and Ray B.C., Water absorption behavior, mechanical and thermal properties of nano TiO₂ enhanced glass fiber reinforced polymer composites, Composites: Part A, 90, 736–747, 2016

[33] Kumar K., Ghosh P K., Kumar A. and Singh O., Enhanced Thermomechanical Properties of ZrO₂ Particle Reinforced Epoxy Nanocomposite, JMEPEG, 30, 145–153, 2021