



**Uşak Üniversitesi Fen ve Doğa
Bilimleri Dergisi**
Usak University Journal of Science and Natural Sciences

<http://dergipark.gov.tr/usufedbid>
<https://doi.org/10.47137/usufedbid.1119797>



Araştırma makalesi

Pultruzyon Yöntemi ile Üretimi Yapılan Kompozit Malzemelerin Sıcaklık Şoku Testi Sonucunda Mekaniksel Özelliklerinin İncelenmesi

*Büşra Leblebicier, Osman Asi**

Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Uşak Üniversitesi, Uşak, Türkiye

Geliş: 22 Mayıs 2022

Kabul: 10 Haziran 2022 / Received: 22 May 2022

Accepted: 10 June 2022

Abstract

In this research, experimental studies were carried out within the scope of examining the mechanical properties of glass fiber reinforced polymer matrix composite profiles produced by pultrusion method when subjected to temperature shock test. Samples were prepared in accordance with ASTM standards for three-point bending, compression and tensile tests from the U profile composite material produced by the pultrusion method. Some of the samples were subjected to the temperature shock test. The mechanical tests of the samples, which were in ambient conditions and exposed to the temperature shock test, were performed and the results were compared. In the results of study; It has been determined that the strength values obtained from the three-point bending and compression tests of the composite materials exposed to the temperature shock test are higher than the samples that are not subjected to the temperature shock test. In addition, it has been determined that the tensile strengths of the samples subjected to the temperature shock test, obtained in the tensile test, are approximately the same as the tensile strengths of the samples that were not subjected to the temperature shock test.

Keywords: *Pultrusion, composite material, temperature shock test, mechanical properties.*

Özet

Bu çalışmada, pultruzyon yöntemi ile üretilmiş olan cam elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit profillerin sıcaklık şoku testine maruz bırakılması durumunda mekaniksel özelliklerinin incelenmesi kapsamında deneysel çalışmalar yapılmıştır. Pultruzyon yöntemi ile üretilen U profili kompozit malzemesinden, üç nokta eğilme, basma ve çekme testleri için ASTM standartlarına uygun şekilde numuneler hazırlanmıştır. Numunelerin bir kısmı sıcaklık şoku testine maruz bırakılmıştır. Ortam koşullarında bulunan ve sıcaklık şoku testine maruz bırakılan numunelerin mekaniksel testleri yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda; sıcaklık şoku testine maruz kalan kompozit malzemelerin üç nokta eğilme ve basma testleri sonucunda elde edilen dayanım değerlerinin sıcaklık şoku testi uygulanmayan numunelere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında, sıcaklık şoku testine maruz bırakılan numunelerin çekme deneyinde elde edilen çekme dayanımlarının sıcaklık şoku testi yapılmayan numunelerin çekme dayanımları ile yaklaşık aynı olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Pultrüzyon, kompozit malzeme, sıcaklık şoku testi, mekaniksel özellikler.*

©2022 Usak University all rights reserved.

*Corresponding author: Osman Asi

E-mail: osman.asi@usak.edu.tr (ORCID ID: 0000-0003-2096-6075)

1. Giriş

Geçmişten günümüze kadar farklı alanlarda kullanılan kompozit malzemeler, özellikle savunma sanayi, havacılık, otomotiv sektörü ve diğer sektörler gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle kompozit malzemelerin mekaniksel özellikleri ve dayanımları kullanım alanına göre oldukça önem arz etmiştir ve farklı yapılarıdaki kompozit malzemelerin üretime ihtiyaç artmıştır.

Son yıllarda kompozit malzemelerin kullanımının endüstride özellikle konstrüksiyon alanında artması nedeniyle, kompozit malzemelerin farklı çevre koşulları altındaki davranışlarının da incelenmesi artmıştır. Konstrüksiyonda ihtiyaç duyulan yeni malzemelerde veya mevcut malzemelerin iyileştirilmesi için fiber takviyeli polimer (FRP) kompozitlere olan talep, özellikle çevre koşullarındaki uygulamalar için istikrarlı bir şekilde artmaktadır [1, 2, 3]. Bu nedenle nem, düşük/yüksek sıcaklık, donma/çözülme, ultraviyole (UV) radyasyon gibi çevresel koşullar altında kompozit malzemelerin fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerini araştırmak için çok sayıda deneysel ve analitik çalışma yapılmıştır.

İlk çalışmalar 1970'lere dayanmaktadır ve suyun FRP üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ishai vd. [4], cam elyaf takviyeli polimer kompozitleri suya batırılmışlar ve sonrasında suya batırılan kompozitlerin çekme dayanımlarını incelemiştir. Suyu maruz kalan malzemelerin içerisine su çekmesi sonucunda hem fiber matris ara yüzünde hasar gözlemlenmiştir ve hem de bunun sonucu olarak malzemenin çekme mukavemetinde azalma gözlemlenmiştir. Nishizaki vd. normal hava koşullarındaki su ve nemin vinilester reçineli pultrude cam elyaf takviyeli polimerlerin (GFRP) üzerindeki dayanıklılığı incelemiştir. Su ile nüfuz edildikten sonra pultrude GFRP'nin bozulma özelliklerini araştırmak için çeşitli sıcaklıklarda hem daldırma hem de atmosfer koşulları dahil olmak üzere bozulma testleri yapılmıştır. Testler sonucunda, GFRP'nin yüzeyinde çatlakların ortaya çıktığı ve malzemelerin ağırlığının azaldığı gözlemlenmiştir. GFRP'nin eğilme mukavemetinin de azaldığı gözlemlenmiştir. Suyun kompozit malzemelere etkisinden sonra sıcaklığın ve UV radyasyonunun kompozit malzemeler üzerindeki etkilerini kompozit malzemeler üzerindeki etkileri üzerine araştırmalar yapılmıştır [5]. Dutta vd. [6], iki tip FRP kompozitini eğilme testlerine tabi tutarak incelenmiştir. Ticari olarak temin edilen bir fiber takviyeli plastik (FRP) kompozitte gerçekten de 50°C ve -60°C sıcaklık arasındaki uzun süreli termal döngüde çatlaklar oluştuğunu gözlemlenmiştir. Ancak özel olarak üretilmiş dokuma cam takviyeli FRP, aynı sıcaklık aralığında iki buçuk kat daha fazla termal döngüde herhangi çatlak oluşturmadığını gözlemlenmiştir [6]. Wu vd. [7], donma-çözülme döngüsüne ve düşük sıcaklıklara maruz kalan bir köprü güverte sistemindeki FPR malzemeleri değerlendirmişlerdir. Sonuçlar, cam/vinil ester kompozitlerinin mukavemet ve sertliğindeki azalmaların, sadece kompozitler %25'lik bir gerilme yüküne maruz kaldığında 10.000 saatlik donma/çözülme döngüsünden sonra önemli olduğunu, kompozitler önceden yüklenmediğinde azalmaların önemsiz olduğunu göstermiştir. Mouzakis vd. [8], polimer matrisli kompozitlerin çevre şartlarına maruz kalması durumundaki oluşan hasarı incelemiştir. Birleşik sıcaklık, nem ve UV radyasyonunun polimerler ve kompozitler üzerindeki etkisini araştırmak için bir çevresel yaşlanma odası inşa edilmiş ve kompozitler burada test edilmiştir. Hızlandırılmış çevresel yaşlanma, nem, sıcaklık ve ultraviyole radyasyon sağlayan iki tür alternatif döngüye dayandırılmıştır. Dinamik mekanik analiz sonucunda, çekme ve üç noktalı eğilme yükleri altında bir dizi sıcaklık ve frekansta yaşlanmış malzemelerin sertlik kazandığını, buna karşın mukavemette küçük bir bozulma olduğunu ortaya çıkarmıştır. Çevresel oda şartlandırmasından önce ve sonra gerçekleştirilen taramalı elektron mikroskopu çalışmaları, numunelerin yüzeyinde bazı

mikro çatlakların meydana geldiğini ortaya çıkarmıştır. Bununla birlikte, mikro çatlakların uzunluğunun, çatlak ilerlemesi için gerekli olan 0,1 mm'lik kritik değerden daha az olduğunu tespit etmişlerdir.

Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda, kompozit malzemelerin sıcaklık şoku koşulları altında dayanımları genellikle ortam sıcaklıkları ($\sim 23^{\circ}\text{C}$) ve soğuk hava koşullarında ($\sim 0^{\circ}\text{C}$ / -10°C) gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ise, sıcaklık şoku testi belirli bir standartta sıcaklık şoku test kabini içinde, $-60^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$ ve $+60^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklık değerleri arasında yapılmıştır. Sıcaklık şoku testleri hızlandırılmış iklimlendirme kabinlerinde gerçekleştirildiği için literatürdeki diğer çalışmalara göre de zaman açısından da verimlilik sağlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

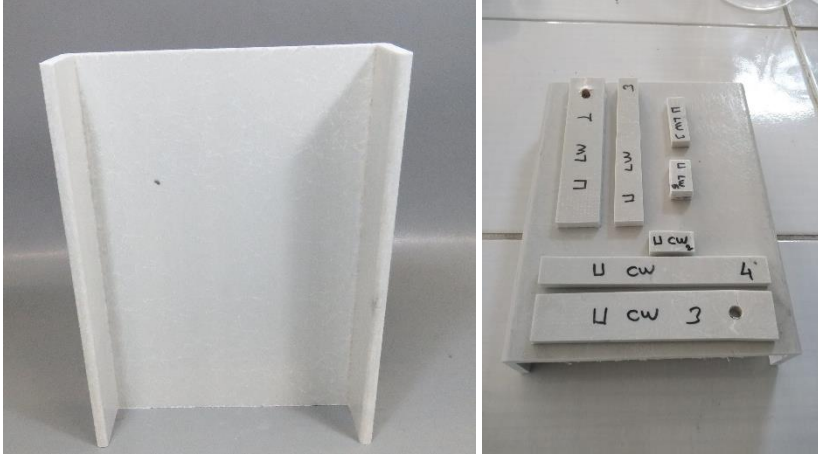
Çalışma kapsamında, cam elyaf takviyeli polimer matrisli 150x38x6 ebatlarına sahip kompozit U profili pultrüzyon yöntemi ile Uşak ilinde bulunan Pul-Tech Frp Kompozit Yapı Teknolojileri İmalat Sanayi Ve Ticaret A.Ş işletmesinde üretilmiştir. Kompozit U profilinin özellikleri Tablo 1 ile verilmiştir. Numuneler, Şekil 1 ile gösterilen profilin sırt kısmından, ilgili standartlara uygun enine (CW, 90°) ve boyuna (LW, 0°) olacak şekilde elmas disk testere yardımıyla planyada kesilerek hazırlanmıştır ve numunelerin boyutları Tablo 2 ile verilmiştir. Kompozit U profilinin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla; çekme, basma, eğilme testleri sırasıyla ASTM D 3039, ASTM D 695 ve TSE EN ISO 178 standartlarına uygun gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Cam elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit malzemenin özellikleri

Keçe -1 (g/m^2)	Keçe -2 (g/m^2)	Fitul (E camı) kg	Reçine %	Cam Elyaf %
450	576	960	43,61	56,39

Tablo 2. Mekanik testler için hazırlanan numunelerin boyutları

Profil Adı	Test Adı	Numune Genişliği (mm)	Numune Kalınlığı (mm)	Numune Boyusu (mm)
150x38x6 U Profili	Üç Nokta Eğilme Testi	15	6	120
150x38x6 U Profili	Basma Testi	12,7	6	25,4
150x38x6 U Profili	Çekme Testi	10	6	115



Şekil 1. Üretilen kompozit U profili ve çalışmada kullanılan numunelere örnekler

2.1. Sıcaklık Şoku Test Prosesi

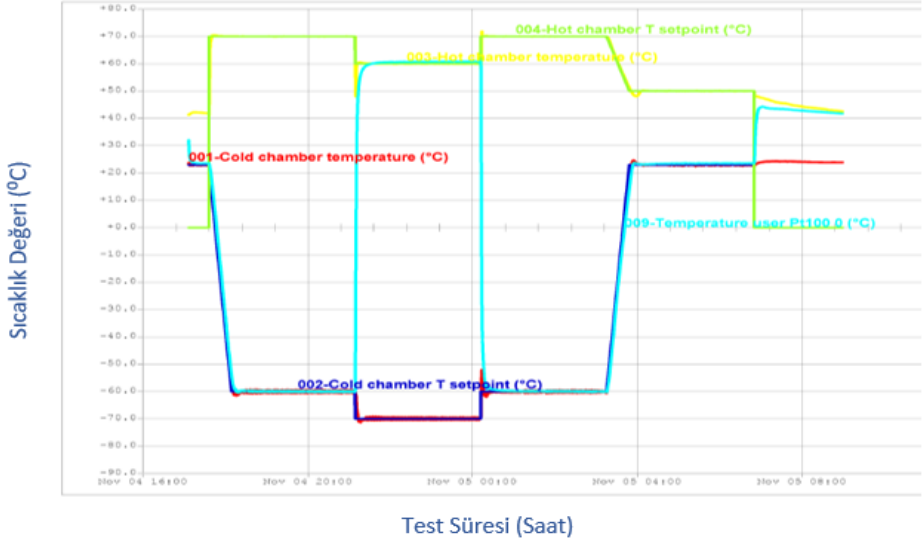
Hazırlanan numunelerin bir kısmı, normal ortam koşullarında numunelerin ($23^{\circ}\pm 10^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ve 20-80% bağıl nem) üç nokta eğilme, basma ve çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Numunelerin bir kısmı ise, MIL STD-810 CHG-1 Yöntem 503.6 Prosedür I-B referans alınarak $-60^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$ / $+60^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklık şokuna maruz bırakılmıştır. Sıcaklık şoku testi için kullanılan iklimlendirme test cihazı, sıcak ve soğuk kabin sahibidir. Numunelerin sıcaklık şoku testi esnasında kabinler arası geçiş en fazla 1 dakikada olacak şekilde test gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık şoku kabinin resmi Şekil 2, numunelere uygulanan sıcaklık şoku işlem prosesinin görünüşü ise Şekil 3 ile verilmiştir. Numuneler sıcaklık şokuna maruz bırakıldıktan sonra mekanik testleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen mekanik testler sonrasında standart ortam koşullarında gerçekleştirilen test sonuçları ile sıcaklık şokuna maruz kalan numunelerin test sonuçları karşılaştırılmıştır.



(a)

(b)

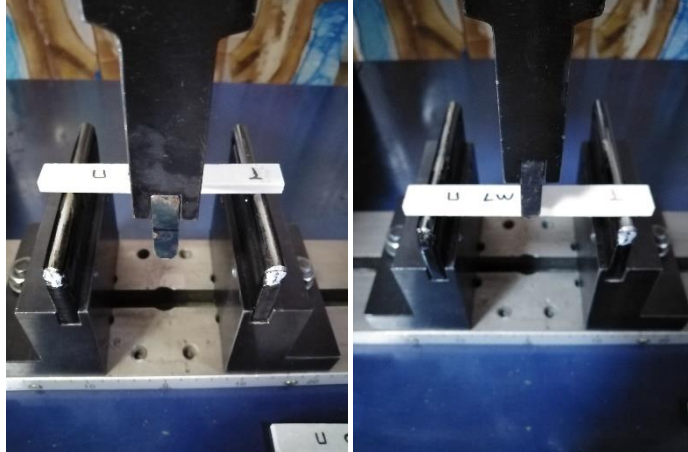
Şekil 2. Sıcaklık şoku test kabinin görünüşü



Şekil 3. Numunelere uygulanan sıcaklık şoku işlem prosesi

2.2. Üç Nokta Eğilme Testi

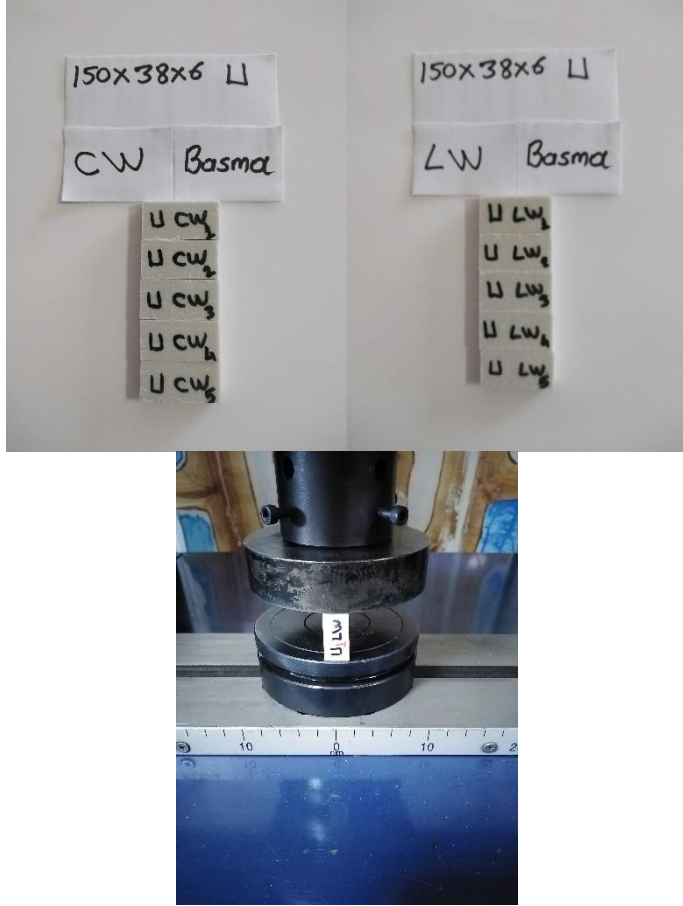
Numunelere TSE EN ISO 178 standardına göre üç nokta eğilme testi gerçekleştirilmiştir. Eğilme testleri numuneleri Şekil 4'te görüldüğü gibi 96 mm mesnet açıklığı değerlerinde ayarlanmış olan ve iki mesnet üzerine yerleştirilmiştir. 120x15x6 mm boyutlarında kesilmiş olan test numunelerinin tam orta noktasından kuvvet uygulayan üçüncü bir mesnet ile numunenin eğmeye zorlanmasıyla yapılmıştır.



Şekil 4. Üç nokta eğilme deneyi

2.3. Basma Testi

Numunelerin basma testleri ASTM D 695 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Basma testleri 50 kN kapasiteli Utest 7013 üniversal çekme deney cihazında yapılmıştır. 12,7x6x25,4 boyutlarındaki numuneler Şekil 5'te gösterilen, 25,4 mm mesnet açıklığına sahip yüzeyleri yağlanan iki paralel tabla arasına yerleştirilmiştir. Uygulanan kuvvetle oluşan şekil değiştirmeler ekstansometre yardımı ile ölçülmüştür.



Şekil 5. Basma testi numunesi ve cihazına ait görüntü

2.4. Çekme Testi

Üretimi yapılan kompozit U profilinden 10x6x115 boyutlarında hazırlanan numunelerin çekme deneyi testleri, ASTM D3039-76 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Çekme deneyi testleri, numuneleri çekme hızı 1 mm/dak. olacak şekilde 50 kN kapasiteli Utest 7013 üniversal çekme testi cihazında yapılmıştır. Kullanılan numunelerin ve çekme deneyi esnasındaki görünüşleri Şekil 6'da verilmiştir. Çekme cihazının bağlı olduğu bir bilgisayar ve bilgisayar yazılımı yardımıyla uzama ΔL (mm) ve bu uzama değerine karşı oluşan reaksiyon kuvveti F (N) verileri kayıt edilmiştir.



Şekil 6. Çekme deneyi testi için hazırlanan numuneler ve deneyin yapılışının görünüşü

3. Bulgular ve Tartışma

Pultrüzyon yöntemi ile üretimi yapılan kompozit profilden ilgili standartlara göre hazırlanan numunelere uygulanan mekanik testler sonucunda elde edilen değerler toplu olarak aşağıdaki Tablo 3 ile verilmiştir.

Tablo 3. Numunelerin mekanik testleri sonucunda elde edilen değerleri

Mekaniksel Özellik Adı	Uygulanan Test Metodu	İşlem Görmemiş Numunelerin Değerleri (MPa)	Sıcak-Soğuk Şok Uygulaması Yapılan Numunelerin Değerleri (MPa)	Sıcak Şoku Testi Uygulanan Numunelerin Mekaniksel Değerlerindeki Değişim Oranı (%)
Çekme Dayanımı (Boyuna)	ASTM D-638	408,4	408	≅
Basma Dayanımı (Boyuna)	ASTM-D695	337,0	407,0	+20,8
Basma Gerilimi (Enine) Eğilme	ASTM-D695	116,2	120,9	+4,0
Dayanımı (Boyuna) Eğilme	ASTM D-790	336,0	380,6	+13,3
Dayanımı (Enine)	ASTM D-790	129,4	124,4	-3,9

Sıcaklık şoku testine maruz bırakılan numunelerin çekme deneyi sonucunda elde edilen çekme dayanımı değerleri ile sıcaklık şoku testine maruz bırakılmayan numunelerin çekme dayanımı değerleri karşılaştırıldığında değerlerin yaklaşık olarak aynı olduğu

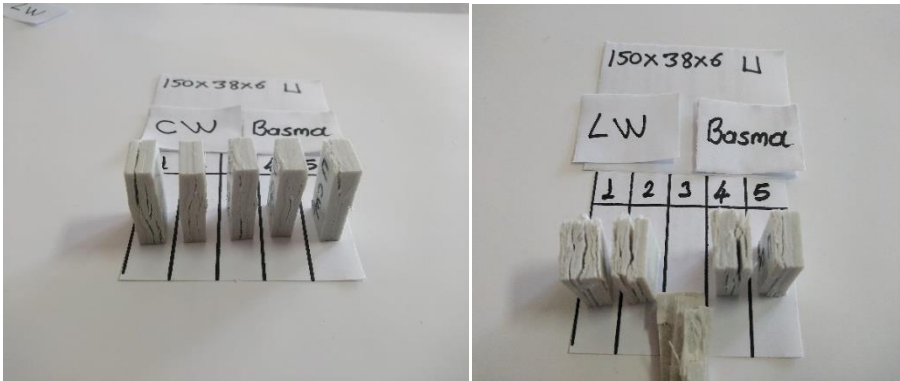
tespit edilmiştir. Bunun yanında; sıcaklık şoku testine maruz kalan kompozit malzemelerin üç nokta eğilme ve basma testleri sonucunda elde edilen dayanım değerlerinin sıcaklık şoku testi uygulanmayan numunelere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Literatürde yapılmış olan yaşlandırma deneylerinden farklı olarak, sıcaklık şoku testi tek döngü olarak yapılmıştır. Pultrüzyon yöntemi ile üretim esnasında polimerizasyon, çekilen profil içerisinde tam olarak gerçekleşmeyebilmektedir. Polimerizasyonun tamamlanması için bazı durumlarda post kür işlemi yapılmaktadır. Yapılan tek döngü sıcaklık şoku testinde numuneler + 60 °C sıcaklığa toplam 4 saat maruz bırakılmıştır. Bunun sonucunda post kür işleminde olduğu gibi oluşmayan polimerizasyonun tamamlandığı düşünülmektedir [9, 10] . Bu durum, sıcaklık şoku testine maruz bırakılan numunelerin dayanımlarının artmasını açıklamaktadır. Enine numunelerde sıcaklık şoku testine maruz kalan kompozit malzemelerin üç nokta eğilme (enine) testleri sonucunda elde edilen dayanım değerlerinin sıcaklık şoku testi uygulanmayan numunelere göre yakın değerler sergilediği tespit edilmiştir.

Numunelerin çekme deneyi, eğilme deneyi ve basma deneyi sonucunda meydana gelen hasar şekillerine ait örnek görüntüler Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9 ile verilmiştir.

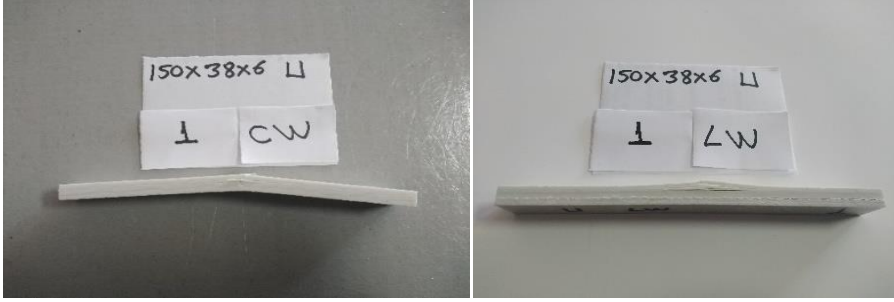


Şekil 7. Çekme testi sonrasında numunelerde meydana gelen hasara ait görüntü

Numunelerin mekanik testler sonucunda elde edilen deformasyon görüntüleri literatürde verilen bilgiler ile uyum göstermektedir.



Şekil 8. Basma testi sonrası numunelerde meydana gelen hasara ait görüntü



Şekil 9. Üç nokta eğilme testi sonrası numunede meydana gelen hasara ait görüntü

4. Sonuç

Bu çalışmada, pultrüzyon yöntemi ile üretilmiş olan cam elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit profillerin sıcaklık şoku testine maruz bırakılması durumunda mekaniksel özelliklerinin incelenmesi kapsamında çalışmalar yapılmıştır. Pultrüzyon yöntemi ile üretilen U profilli kompozit malzemesinden, üç nokta eğilme, basma ve çekme deneyleri için ASTM standartlarına uygun şekilde numuneler hazırlanmıştır. Numunelerin bir kısmı sıcaklık şoku testine maruz bırakılmıştır. Ortam koşullarında bulunan ve sıcaklık şoku testine maruz bırakılan numunelerin mekaniksel testleri yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda; sıcaklık şoku testine maruz kalan kompozit malzemelerin üç nokta eğilme ve basma testleri sonucunda elde edilen dayanım değerlerinin sıcaklık şoku testi uygulanmayan numunelere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklık şoku testine maruz bırakılan numunelerin çekme deneyinde elde edilen çekme dayanımlarının sıcaklık şoku testi yapılmayan numunelerin çekme dayanımları ile yaklaşık aynı olduğu tespit edilmiştir.

Kaynaklar

1. Sousa, J. M., Correia, J. R., Gonilha, J., Cabral-Fonseca, S., Firmo, J. P., & Keller, T. Durability of adhesively bonded joints between pultruded GFRP adherends under hygrothermal and natural ageing. *Composites Part B: Engineering*, 2019;158:475-488.
2. Keller T. Recent all-composite and hybrid fibre-reinforced polymer bridges and buildings. *Prog Struct Eng Mater*, 2001;3:132-40. doi:10.1002/pse.66.
3. Wang J, GangaRao H, Liang R, Liu W. Durability and prediction models of fiber-reinforced polymer composites under various environmental conditions: A critical review. *J Reinf Plast Compos*, 2016;35:179-211.
4. Ishai, O. Environmental effects on deformation, strength, and degradation of unidirectional glass-fiber reinforced plastics. II. Experimental study. *Polymer Engineering & Science*, 1975;15(7):491-499.
5. Nishizaki, I., & Meiarashi, S. Long-term deterioration of GFRP in water and moist environment. *Journal of composites for construction*, 2002;6(1):21-27.
6. Dutta, P. K., & Hui, D. Low-temperature and freeze-thaw durability of thick composites. *Composites Part B: Engineering*, 1996;27(3-4):371-379.

7. Wu, H. C., & Yan, A. Time-dependent deterioration of FRP bridge deck under freeze/thaw conditions. *Composites Part B: Engineering*, 2011;42(5):1226-1232.
8. Mouzakis, D. E., Zoga, H., & Galiotis, C. Accelerated environmental ageing study of polyester/glass fiber reinforced composites (GFRPCs). *Composites part B: engineering*, 2008;39(3):467-475.
9. Chu, W., Wu, L., & Karbhari, V. M. Durability evaluation of moderate temperature cured E-glass/vinylester systems. *Composite Structures*, 2004;66(1-4):367-376.
10. Advani S. G., Hsiao K. T. *Manufacturing techniques for polymer matrix composites*. Philadelphia: USA, Woodhead Publishing; 2012.