

FARKLI ÇATLAK AÇILARINA SAHİP ÇELİK TEL TAKVİYELİ POLİETİLEN KOMPOZİTLERİN YORULMA YÜKÜ ALTINDA KIRILMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Ahmet AVCI ^a, Ömer Faruk ERKENDİRCİ ^b

^a Selçuk Üniversitesi Müh. Mim. Fak., Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

^b Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep MYO, Kampus, Gaziantep, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, merkezine farklı açılarda boydan boya çatlaklar açılmış krom nikel çelik tel örgü takviyeli yüksek yoğunluklu polietilen kompozit malzemenin yorulma yükü altında kırılma ve hasar davranışları incelenmiştir. Çatlak açıları yatayla 15° den itibaren 30°, 45°, 60° ve 75° olacak şekilde düzenlenmiştir. Her bir çatlak geometrisine göre yorulma çatlak ilerlemesi bulunmuştur. Test sırasında çatlak başlangıcı, yorulma ömrü, yorulma çatlak büyüme oranı (da/dN) ve gerilme şiddet faktörü değişim miktarları (ΔK_I , ΔK_{II} , ΔK_{Ieq} , ΔK_{IIeq} and ΔK_{eq}) ve Paris-Erdoğan eşitliğinden elde edilen malzeme sabitleri incelenmiştir. Çatlak büyüme hızı, çatlak geometrisi ile ilgili bir hasar parametresi olarak kullanılmıştır. Sonuçlarda, çatlak büyüme hızı, yorulma gerilim şiddet faktörü (ΔK) ile kontrol edilmiştir. Çatlak ilerleme miktarı-yorulma çevrim sayıları ($\Delta a/N$) grafiği ve gerilme şiddet faktörü-çatlak ilerlemesi (da/dN- ΔK) grafikleri, bir malzeme özeliği gibi düşünülerek çizilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Termoplastik kompozitler, merkez çatlağı, yorulma, gerilme şiddet faktörü, kırılma mekaniği

INVESTIGATION OF THE FRACTURE BEHAVIOUR OF WOVEN STEEL REINFORCED POLYETHYLENE COMPOSITES ON THE FATIGUE LOAD WITH INCLINED CRACKS

ABSTRACT

This paper is concerned with fatigue and fracture behaviour of woven steel/reinforced high density polyethylene (HDPE) thermoplastic composite having inclined middle tension (MT) through-thickness cracks with 15°, 30°, 45°, 60° and 75° angles. The composite material was produced from a bi-directional woven cloth of Cr-Ni steel wire fibers and HDPE. The crack initiation, damage behaviour, fatigue crack-growth rate (da/dN), stress intensity factor ranges (ΔK_I , ΔK_{II} , ΔK_{Ieq} , ΔK_{IIeq} and ΔK_{eq}), and material constants from Paris-Erdogan Equation are obtained and discussed. Crack growth rate is used as a damage parameter in results. Also,

Crack growth rates-fatigue cycles ($\Delta a/N$) and stress intensity factor ranges- fatigue crack-growth rate ($da/dN-\Delta K$) figures are plotted as a material property.

Keywords: Thermoplastic composites, crack, middle thickness crack, fatigue, stress intensity factor, fracture mechanics.

1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler ilk çağlardan beri kullanılmakta olup özellikle 20. yy ortalarına doğru hızlı bir biçimde gelişme göstermiştir. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan termosetler yerine termoplastiklerde bu alanda yerini almaya başlamıştır. Polimer malzemeler uygun fiyatlarının yanında fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleriyle günümüzde pek çok malzeme yerine kullanılmaktadır. Özellikle matris olarak kullanılan ve ticari termoplastikler olarak da adlandırılan polipropilen, polietilen, naylon, polietermid, polieterketon v.b. termoplastikler; otomotiv endüstrisi, inşaat, elektrik-elektronik, uzay ve uçak sanayi, alt yapılarda boru ve tank olarak v.b. gibi sektörlerde yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır.

Bunun yanı sıra son yıllarda yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) den yapılan borular diğer termoplastik borularla (polipropilen, PVC gibi) rekabet eder hale gelmiştir. Ancak uzama miktarının fazla oluşu ve dayanımının daha az oluşu kullanımını sınırlamaktadır [1] Yine borular ve tanklar, değişken yüklenme şartlarından dolayı *yorulma* etkisine maruz kaldıklarından dolayı, bu tür malzemeler statik olmayan ve sürekli değişen iç basınç nedeniyle, statik mukavemet değerlerinin altında hasara uğrarlar. Özellikle her biri yeni bir malzeme olan kompozit malzemelerin kırılma ve hasar davranışlarının bilinmesi oldukça önemlidir. Tekrarlı gerilme durumu olan yorulma olayında malzemelerdeki süreksizlikler, çatlaklar ve hasarların sürekli olarak gelişmesi, ilerlemesi ve malzemenin hasar görmesiyle sonuçlanır. Bir makine elemanındaki çatlağın ilerlemesine çatlağın geometrisi etki eder. Çatlak farklı geometrilerde farklı davranışlar gösterir. Dolayısıyla çatlak boyutları ve ilerleme tarzı bilinirse eleman tasarım aşamasında iken hasar önlenir.

Yorulma sırasında hasar mekanizmasının tespiti ve karakteristikleri oldukça karmaşık konulardır. Bununla ilgili olarak birçok teorik ve deneysel çalışma yapılmış ve önemli sonuçlar alınmıştır. Ferreira ve ark.[2] cam fiber takviyeli kompozit malzemelerde farklı çaplarda delik açılmış numunelerde, deliğin yorulma ömrüne etkisini, hasar mekanizmasını, çatlak ağzı ve çatlak ilerleme davranışlarını farklı yüklerde incelemişlerdir. Bu çalışmada delik çapı büyüklüğünün ve pozisyonunun yorulma performansını etkilediğini gözlemlemişlerdir. Czigany ve Karger-Kocsis [3] örgü takviye ile güçlendirilmiş polipropilen kompozitlerde hasar bölgesinin büyüklüğünün yorulma performansına etkilerini incelemişlerdir. Krujjer ve ark.[4], çelik takviyeli YYPE borularda visko-elastik davranışları incelemişler ve bununla ilgili modelleme yaparak sonuçlarını rapor etmişlerdir. Tabakalı cam fiber takviyeli polyester kompozit malzemeler üzerinde sabit genlikte ki yükler altında yorulma olayı Tong [5] tarafından çalışılmıştır. Yorulma sırasında çatlakların, başlangıç, kararlı halde ilerleme ve çatlak etkileşimi olarak üç aşamada geliştiğini gözlemlemiştir. Farklı oryantasyonlarda üretilmiş örgü fiberlerin ve bunlarla takviye edilmiş çimento kompozitlerin mekanik özellikleri A. Peled ve ark.[6] tarafından incelenmiştir.

YYPE malzemenin daha yaygın ve güvenilir bir şekilde kullanımını sağlamak için fiber olabilecek bir malzemeyle takviye edilerek mekanik özelliklerinin geliştirilmesi gereklidir. Bu sebeplerden ötürü bu çalışmada fiber olarak bez ayağı yöntemiyle üretilmiş (plane wave) krom nikel çelik tel örgü ve matris olarak da yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE)

kullanılarak tabakalı kompozit malzeme üretilmiş ve YYPE nin mekanik özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

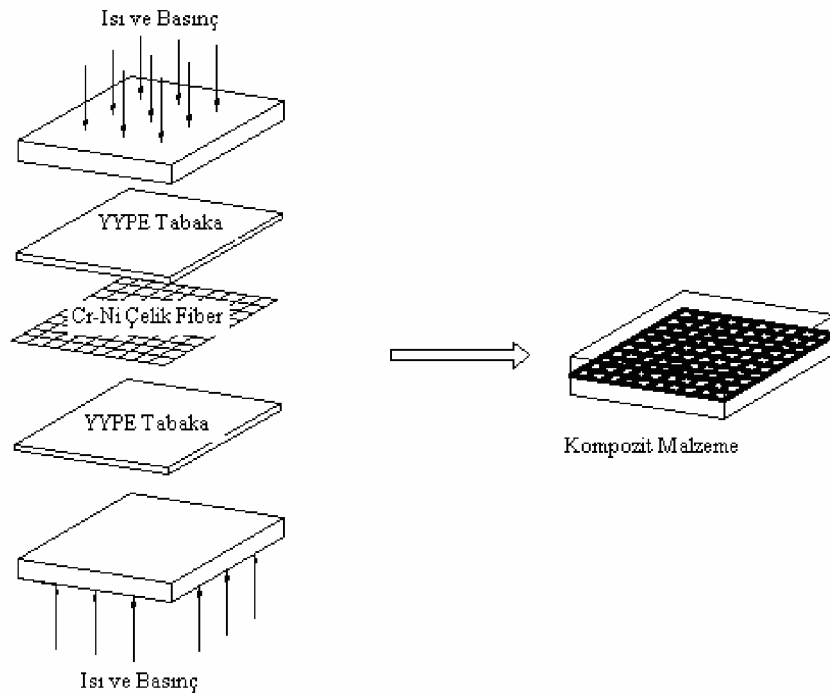
Daha sonra üretilen bu kompozit malzemenin mekanik özellikleri incelenmiş, kendisini oluşturan malzemelere göre olan üstünlükleri araştırılmıştır. Ayrıca kırılma mekaniği ile ilgili özelliklerden olan ve ortasında boyuna çatlak bulunan malzemenin çeşitli açılarda yorulma yükü altında kırılma davranışları incelenmiştir. Yorulma dayanımı, çevrim sayısına karşılık çatlak ilerleme miktarına göre incelenmiş, $da/dN-\Delta K$ ve $da/dN-\Delta G$ grafikleri çizilmiştir. Paris-Erdoğan eşitliği kullanılarak da malzeme sabitleri elde edilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1 Deney Numunelerinin Hazırlanması

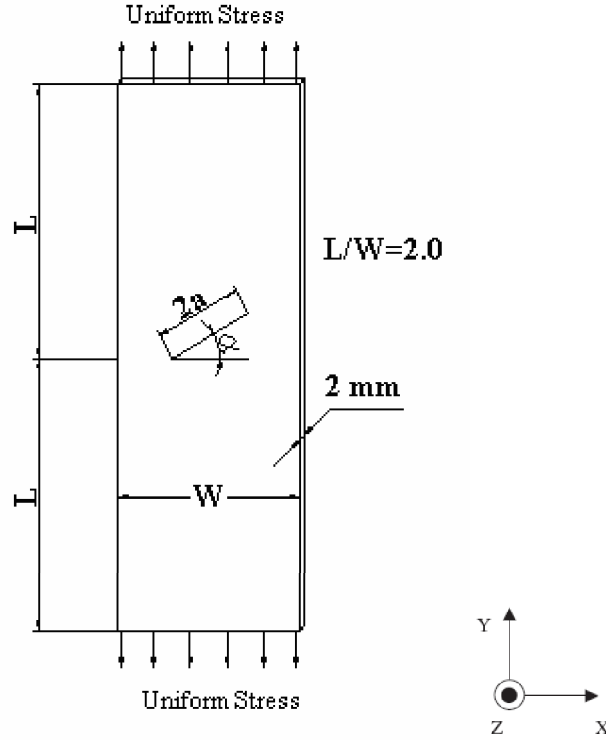
Öncelikle iki yönlü krom-nikel tel örgü takviyeli yüksek yoğunluklu polietilen kompozit malzeme üretimi yapılmıştır. Malzeme üretimi; el kumandalı hidrolik bir pres ve kalıptan oluşan düzeneğe yardımıyla sıcak kalıplama yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Kompozit malzeme üretiminde, fiber olarak iki yönlü $0^\circ/90^\circ$ bez ayağı yöntemiyle üretilmiş 0.15 mm çapında ve 0.4 mm elek aralığında 304 L tip krom-nikel tel örgü kullanılmıştır. Matris olarak yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) termoplastik malzeme kullanılmıştır.

Malzeme üretiminin ilk aşamasında granül halde bulunan polietilen, saç metalden yapılmış kalıba konularak pres altında 180°C sıcaklıkta 2.5 MPa basınç altında 5 dakika tutuldu. Daha sonra sıcaklık 30°C azaltılırken, basınçta 15 MPa'a çıkarılarak, 3 dakika bekletildi. Böylece $200 \times 160 \times 0.9$ mm boyutlarında 1 tabaka yüksek yoğunluklu polietilen levha üretildikten sonra, iki tabaka yüksek yoğunluklu polietilen levha arasına bir sıra Cr-Ni tel örgü fiberler yerleştirilerek aynı düzeneğe ve aynı üretim şartlarında $200 \times 160 \times 2$ mm boyutlarında kompozit malzeme üretildi. Üretilen kompozit malzemenin şematik görüntüsü şekil 1.'de verilmiştir.



Şekil 1 Kompozit malzemenin üretiminin şematik görünüşü

Kompozit malzemenin mekanik özelliklerinin bulunması için ASTM 638 standardına göre numuneler hazırlandı. Yorulma deneyleri için ise ASTM E 647 standardına göre şekil 2 de görüldüğü gibi numuneler hazırlandı. Bu numunelerin merkezine $2a=4\text{mm}$ boyunda ve x eksenineyle 15° , 30° , 45° , 60° ve 75° açılar yapacak şekilde merkezi çatlaklar açıldı. Çatlakları açmadan önce numune üzerine 4 mm boyunda çatlakın yeri özel kalemle işaretlendi. Sonra model bıçağıyla işaretli bu bölge numunenin kalınlığı boyunca kesildi. Hassas kesim için üzerinde açı ve boy skalası bulunan Mitutoyo marka el mikroskobu kullanıldı.



Şekil 2 Yorulma deneylerinde kullanılan deney çubuğu

2.2 Yakma Deneyi

Matris malzemesi ile takviye malzemesinin hacimsel oranlarını elde etmek için ASTM-D 2584'e uygun olarak yakma deneyleri gerçekleştirildi. 25×70 mm boyutlarında kompozit malzeme numunesi hassas terazide tartıldıktan sonra, 600°C elektrik ısıtılmalı fırında polietilen tamamen buharlaşmaya kadar yakıldı. Geriye kalan krom-nikel tel örgü yeniden tartılarak polietilen ve tel örgünün ağırlıkları bulundu. Krom-nikel tel örgü fiberin yoğunluğu $\rho_f = 8.03 \text{ g/cm}^3$ ve kompozit malzemenin yoğunluğu da $\rho_c = 1.25 \text{ g/cm}^3$ olduğu bilindiğinden, kompozit malzemenin fiber hacimsel oranı aşağıdaki bağıntıdan bulundu.

$$V_f = (W_f / \rho_f) / (W_c / \rho_c) \quad (1)$$

Burada W_f ve W_c , sırasıyla fiber ve kompozitin ağırlıklarıdır. ρ_f ve ρ_c , ise sırasıyla fiber ve kompozitin yoğunluklarıdır. Bu çalışmada kullanılan malzemelerin yakma deneyi sonucunda kompozit malzemenin fiber hacimsel oranı $V_f = 0.04$ olarak bulunmuştur. Ayrıca elyafın ağırlıkça oranı $V_{\text{fağ}} = W_f / W_c$ den 0.25 bulunmuştur.

2.3. Çekme Deneyi

Çekme deneyleri Gaziantep KOSGEB Laboratuvarında bulunan Universal Testometric Micro 500 marka Çekme Test Cihazında gerçekleştirilmiştir. Deneyler 0.5 mm/dk ilerleme hızında oda sıcaklığında yapılmıştır.

Kompozit malzemeye ait gerilme-şekil değiştirme miktarı ($\sigma - \varepsilon$) grafiği elde edildikten sonra başka numuneler üzerine yatay ve dikey konumda BLH Electronics SR-4 marka ve FAB-12-35S9 tipinde iki adet strain-gage yapıştırılmıştır. Buradan da malzemenin elastisite modülü E ve Poisson oranı ν bulunmuştur. Elde edilen kompozit malzemeye ait mekanik özellikleri gösteren değerler Çizelge 1. de verilmiştir.

Çizelge 1. Deney malzemesinin mekanik özellikleri

Elastisite Modülü (MPa)	Uzama Miktarı (%)	Akma Dayanımı (MPa)	Maksimum Dayanım (MPa)	Poission Oranı
6300	15-30	34	41	0.41

2.4. Yorulma Deneyleri

Yorulma deneyleri için KOSGEB Gaziantep Merkez Laboratuvarında bulunan Testometric Micro 500 marka 3 ton kapasiteli elektro-mekanik ve dijital LCD ekranlı tam otomatik cihaz kullanılmıştır.

Yorulma deneyleri ASTM E 647 standardı doğrultusunda, $f=0.75$ Hz' lik bir frekans ve 0.1 gerilme oranında yapılmıştır. Test cihazında frekans, numunenin bağlandığı aparatın ilerleme hızı ile kontrol edilmektedir. $f=0.75$ Hz' lik bir frekans, 50 mm/dk lık bir hız uygulanarak elde edilmiştir. Ayrıca 500 N ve 50 N' luk çekme yük değerleri kullanılarak $R=0.1$ gerilme oranı sağlanmış, böylece tekrarlı yükleme ile yorulma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Burada maksimum gerilme için akma dayanımının 0.78'i alınmıştır

ASTM E 647 standartlarına göre seçilen numune boyutları tekdüzen gerilme (uniform stress) türüne göre seçilmiştir. Bu sebeple uygulanan gerilme miktarının numunenin her noktasında eşit olması gerekir. Bu da numune boyutlarına bağlıdır ve numune boyutlarının önemi daha da artırmaktadır. Öyle ki, ortasına çatlak açılmış numuneler hazırlanırken ve yorulma cihazına bağlanırken, eksen ve boyutlar dikkatli bir şekilde kontrol edilmiştir.

Numuneler başlangıç çatlak oluşumu için ön yorulmaya maruz bırakılmıştır. Her bir numunede 0.1 mm boyunda ön yorulma çatlak oluşuncaya kadar yorulmaya devam edildi. Deneyler sonucunda elde edilen çatlak ilerleme miktarı a ve çevrim sayıları N değerlerinin ortalaması alınarak farklı çatlak açılara sahip numunelerin a ve N değerleri bulunmuştur.

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

3.1 Yorulma Deneyleri

Ortasında yatayla 15°, 30°, 45°, 60° ve 75° lik açı yapacak şekilde kalınlığı boyunca çatlak açılan kompozit numuneler $R= 0.1$ gerilme oranında ve $f= 0.75$ frekansta yorulma deneyine tabi tutulmuştur. Öncelikle bu numune de yorulma deneyi yapabilmek için yorulma ön çatlak

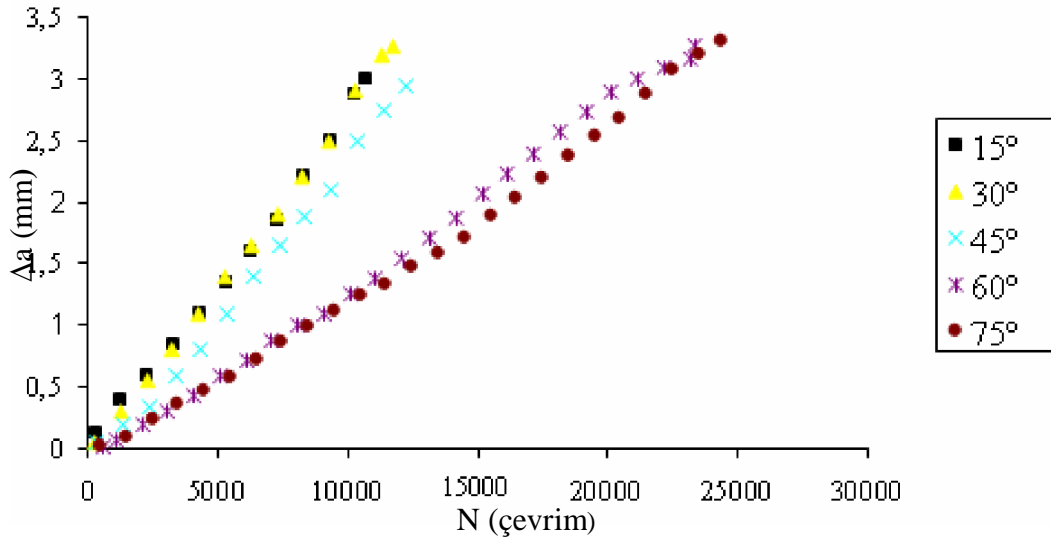
açılmıştır. Çatlak 0.1 mm ye ulaştığında yorulma durdurulmuştur. Daha sonra normal yorulma deneyine geçilmiştir.

Çatlak ilerleme miktarı her 500 çevrimde seyyar el mikroskobuyla ölçülmüştür. Ayrıca her 500 çevrim sırasında çatlağın durumu dijital kamerayla fotoğraf ve videoları çekilerek kayıt edilmiştir. Daha sonra bu video ve fotoğraflar kullanılarak bilgisayar ekranı üzerinde çatlak ilerleme miktarı ölçülmüştür. Böylece çatlak ilerleme miktarı, hem el mikroskobu hem de bilgisayarda ki görüntüler kullanılarak iki yöntemle de bulunmuş ve kıyaslanmıştır. Sonuç olarak ölçüm hata payı minimize edilmiştir.

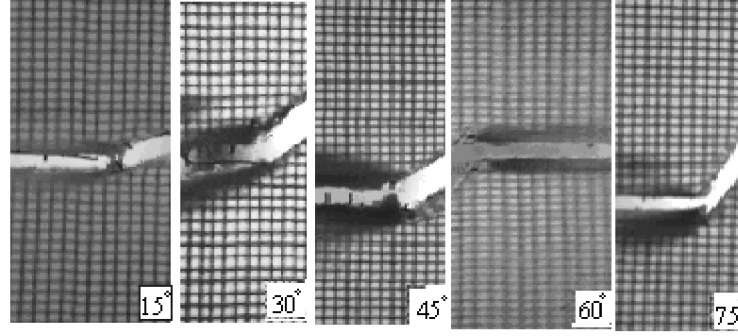
Belirlenen yorulma çevrim sayılarına karşılık (N), çatlak ilerleme miktarının (Δa) grafiği şekil 3. de verilmiştir. Bu grafikten çatlağın tüm açılı numunelerde belirli bir çevrim sayısına kadar kararlı olduğunu, bundan sonra hızlandığını görmekteyiz. Bu da çatlağın kararlı olmayan bölgeye yaklaştığını göstermektedir. Öyle ki, farklı oryantasyon açılı çatlaklı numuneler için Çizelge 2 de verilen kırılma öncesindeki çatlak ilerleme miktarlarına ve çevrim sayılarına ulaşıldığı anda numuneler kararlı olmayan çatlak ilerlemesi pozisyonuna girerek aniden kopmuştur.

Çizelge 2. Numunelerin yorulma deneyi sonucunda elde edilen değerleri

Çatlak oryantasyon açısı	Çatlak ilerleme miktarı (Δa)	Çevrim sayısı (N)
15°	3.1 mm	11370
30°	3.36 mm	12460
45°	3.04 mm	12850
60°	3.38 mm	24170
75°	3.42 mm	25980



Şekil 3. 15°, 30°, 45°, 60° ve 75° çatlaklı numunelere ait $\Delta a/N$ grafiği



Şekil 4. 15°, 30°, 45°, 60° ve 75° çatlaklı numunelerde çatlakın kink yaparak ilerlemesi

Şekil 4 de görüldüğü gibi 15°, 30°, 45°, 60° ve 75° açılı çatlaklı numunelerde çatlak ilerlemesi çatlak düzlemi boyunca olmayıp numune eksenine dik yönde sırasıyla -15°, -30°, -45°, -60° ve -75° açı yapacak şekilde kink yaparak ilerlemiştir. **Kink**: çatlak ilerlemesinin çatlak doğrultusunda gelişmeyip, herhangi bir α açısı kadar başka bir doğrultuda çatlakın ilerlemesi olayıdır. Bu yön değiştirme başlangıç çatlakının doğrultusundan $\pm\alpha$ açısı kadar farklı yönlerde oluşabilir. Bundan dolayı çatlakın bir ucundaki ilerleme düzlemi ile diğer ucu arasındaki düzlemler farklı olduğundan açılma modu (mod I) ve kayma modu (mod II) birlikte bileşik mod meydana gelmiştir.

3.2 Gerilme Şiddet Faktörü Değişimi (ΔK)

Bu çalışmada yorulma deneylerindeki GŞF değişimi değerleri ASTM E 647 standardı kullanılarak, ortasında çatlak bulunan numuneler için verilen aşağıdaki formüllerden hesaplanmıştır.

$$\Delta P = P_{\max} - P_{\min} \quad R > 0$$
$$\alpha = 2a/w \quad 2a/w < 0.95$$

olmak şartıyla aşağıda verilmiştir

$$\Delta K = (\Delta P/B) (\sqrt{[(\pi\alpha)/(2w)]} \sec[(\pi\alpha)/2]) \quad (2)$$

Burada P: uygulanan yükü, 2a: çatlak boyunu, B: malzeme kalınlığını w: malzeme genişliğini, R: gerilme oranı'nı ifade etmektedir.

Ayrıca bu çalışmada farklı oryantasyon açılı çatlaklarda mod I ve mod II durumu olduğundan GŞF değişimleri ΔK_I ve ΔK_{II} aşağıdaki formüllerle hesaplanmıştır. (Xiangio Yan 2005)

$$\Delta K_I = (\cos^2 \theta) (\Delta P/B) (\sqrt{[(\pi\alpha)/(2w)]} \sec[(\pi\alpha)/2]) \quad (3)$$

$$\Delta K_{II} = ((\sin 2\theta)/2) (\Delta P/B) (\sqrt{[(\pi\alpha)/(2w)]} \sec[(\pi\alpha)/2]) \quad (4)$$

Burada θ çatlak açısını ifade etmektedir.

Deneyler sonucunda bulunan GŞF değişimleri ΔK_I ve ΔK_{II} 'nin, Paris-Erdoğan eşitliğinde kullanılarak, malzeme sabitleri olan A ve n sayılarının bulunabilmesi için, eşdeğer bir ΔK bulunması gereklidir. Eşdeğer bir ΔK bulunması için bilinen yöntemlerden birisi, Nalla R.K.

ve ark.'nın yaptıkları çalışmada kullandıkları yöntemdir. Bu yöntemde kink olayı dikkate alınarak GŞF değişim değerleri hesaplanmıştır.

$$\Delta K_{I_{eş}} = c_{11} \Delta K_I + c_{12} \Delta K_{II} \quad (5)$$

$$\Delta K_{II_{eş}} = c_{21} \Delta K_I + c_{22} \Delta K_{II} \quad (6)$$

Burada c_{ij} : kink açısı olan α 'nın sole fonksiyonlarıdır (Nalla R.K. ve ark. 2002). $c_{11} = c_{22} = \cos \alpha$ ve $c_{21} = c_{12} = \sin \alpha$ ise;

$$\Delta K_{I_{eş}} = \cos \alpha \Delta K_I + \sin \alpha \Delta K_{II} \quad (7)$$

$$\Delta K_{II_{eş}} = \sin \alpha \Delta K_I + \cos \alpha \Delta K_{II} \quad (8)$$

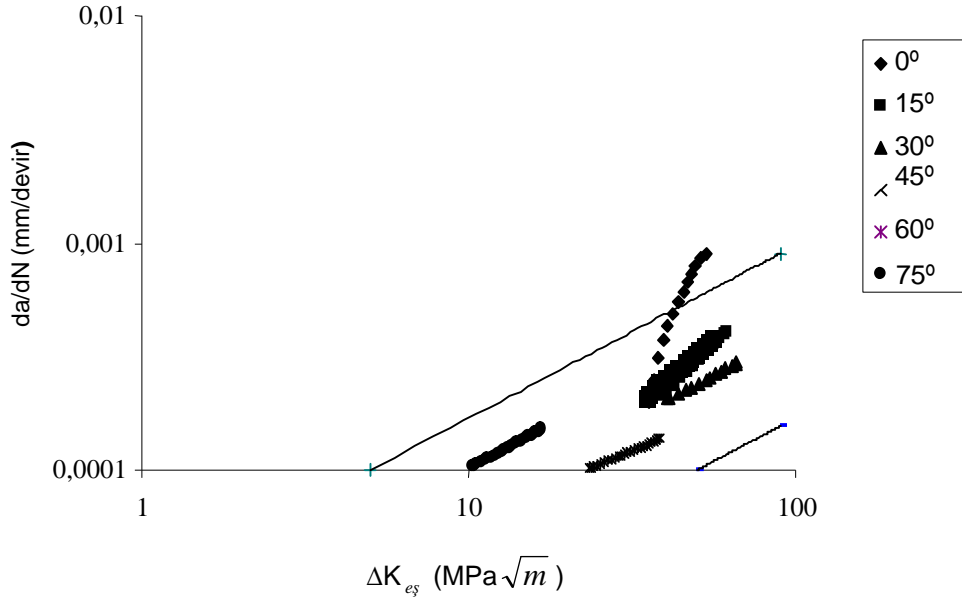
$$\Delta K_{eş} = \sqrt{(\Delta K_{I_{eş}})^2 + (\Delta K_{II_{eş}})^2} \quad (9)$$

eşitlikleri elde edilir.

Bu çalışmada çatlak ilerlemesi sırasında, farklı oryantasyon açılı çatlaklı numunelerde kink olayı meydana geldiğinden sole fonksiyonları kullanılarak $\Delta K_{I_{eş}}$, $\Delta K_{II_{eş}}$, ve $\Delta K_{eş}$ değerleri hesaplanmıştır.

Gerilme şiddet faktörü (GŞF) değişim miktarlarının (ΔK_I ve ΔK_{II}) hesaplanmasında ilk olarak eşitlik (3) ve eşitlik (4) de verilen formüller kullanılmıştır. Malzeme sabitleri olan A ve n katsayılarının bulunması için, Paris-Erdoğan eşitliğinde kullanmak üzere ΔK 'nın hesaplanması gereklidir. Bunun için Sole fonksiyonları kullanılarak ($\Delta K_{I_{eş}}$ ve $\Delta K_{II_{eş}}$) değerleri hesaplanmıştır. Sonra da eşitlik (9) dan ($\Delta K_{eş}$) değerleri hesaplanmıştır. Sole fonksiyonlarından elde edilen $\Delta K_{I_{eş}}$, $\Delta K_{II_{eş}}$ ve $\Delta K_{eş}$ değerleri tüm çatlak açıları için grafiklerde ve malzeme sabitleri olan A ve n'nin hesaplanmasında kullanılmıştır.

Burada 0° , 15° , 30° , 45° , 60° ve 75° çatlaklı numunelere ait $da/dN \sim \Delta K_{eş}$ grafikleri şekil 5 de gösterilmiştir. Yine özellikle 0° ye ait grafik de eklenmiştir. Çünkü 0° de çatlak, uygulanan yorulma yüküne dik olduğu için sadece mod I de kırılma davranışı gerçekleşmiş, diğer çatlak oryantasyon açıları ise bileşik mod (mod I ve mod II) da kırılma davranışları oluşmuştur. Grafikler incelenecek olursa 0° de $\Delta K_{eş}$ değerlerinin en büyük eğime sahip olduğu, çatlak açılarının artmasıyla, eğimlerin de sırasıyla azaldığı açıkça görülmektedir. Sonuç olarak çatlak oryantasyon açılarının değişimi ile çatlak ilerleme hızı azalırken yorulma ömrü artmakta ve buna paralel olarak da $\Delta K_{eş}$ değerleri de azalmaktadır. Yine $\Delta K_{eş}$ değerleri 30° 'ye kadar artmış daha sonra çatlak oryantasyon açılarının artmasıyla azalmıştır.



Ayrıca da/dN~ΔK_{εγ} grafikleri, eşit yönlü iki doğru çizilerek bant içerisine alınmıştır. Bu doğruların denklemi $y=4E-05X^{0,7602}$ olarak bulunmuştur ve Paris-Erdoğan eşitliğine ($da/dN=A(\Delta K)^n$) denktir. Buradan; malzeme sabitleri olan $A=4E-05$ ve $n=0,7602$ olarak elde edilmiştir.

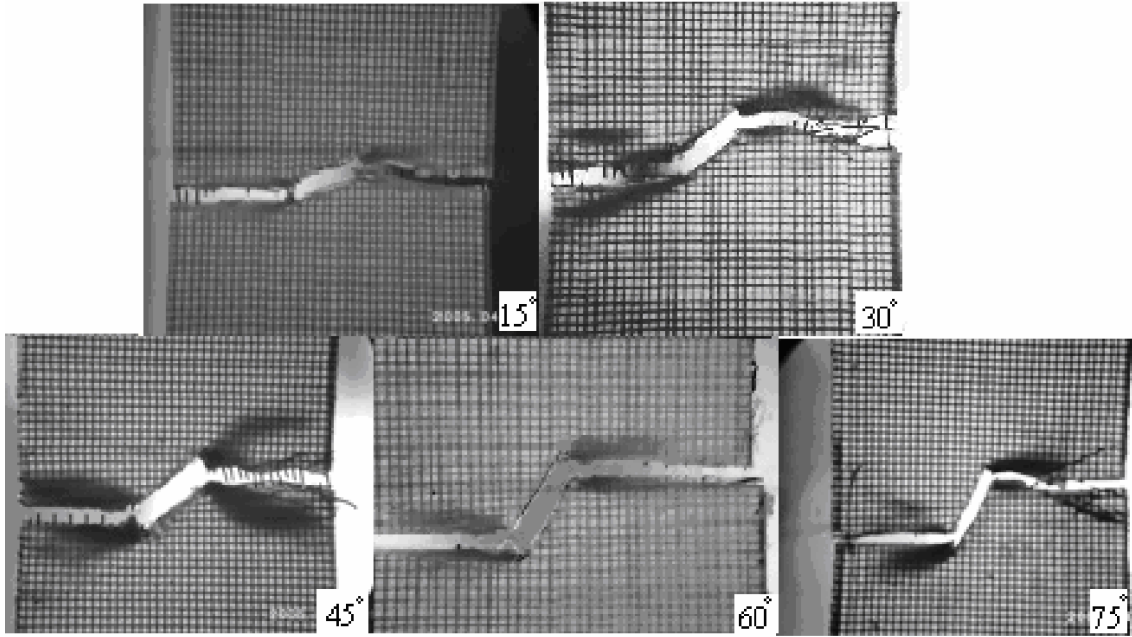
3.3. Hasar Mekanizması

Burada tüm açılı çatlaklı numunelerde açılma ve kayma modlarında (mod I ve mod II) hasar oluşmuştur. Hasar mekanizması incelenecek olursa, tüm açılı çatlaklı numuneler yorulmaya tabi tutulduğunda öncelikle çatlak uçlarına yakın bölgelerde beyazlaşma meydana geldi. Daha sonra matris malzeme de yırtılma ile birlikte matris çatlak ayrılması oluştu.

Yorulma çevrim sayısı arttıkça matris içerisindeki çatlak yırtılması yatayla tüm açılı çatlaklı numuneler için negatif yöndeki oryantasyon açısı kadar ($-\alpha$) yönlendirilerek ve kink yaparak yatayda devam etti. (**Kink**: çatlak ilerlemesinin çatlak doğrultusunda gelişmeyip, herhangi bir α açısı kadar başka bir doğrultuda çatlakın ilerlemesi olayıdır. Bu yön değiştirme çatlak doğrultusuna $\pm\alpha$ açısı kadar farklı yönlerde oluşabilir.) Bu sırada fiberde bridging yani köprülenme veya saçaklanma olayının meydana geldiği görüldü. Şekil 4. ve Şekil 5. de tüm numuneler için; yönlendirme, kink ve köprülenme olayı görülmektedir.

Yorulma çevrim sayısının artması ile birlikte tel örgü bölgesinde bulunan dikey yönde dizilmiş fiberlerin kıvrım bölgesi açılıp kapanırken yani uzayıp kısalırken eğilmeye maruz kaldığından fiber üzerinde mikro çatlaklar oluşmuş, ve daha sonra yorulma çevrim sayısının ilerlemesiyle birlikte bu çatlaklar büyüyerek teli kırmıştır.

Çatlak ilerlemesi yorulma çevrim sayısının artışıyla birlikte tablo 2 de verilen çatlak ilerleme miktarlarına (Δa) gelinceye kadar kararlı bir yapıda devam etmiş, ancak bu değerlerden sonra çatlak ilerlemesi süratle artmış ve aniden büyük bir gürlütle numuneler kopmuştur.



Şekil 5. Kırılma sonrası 15°, 30°, 45°, 60° ve 75° çatlaklı numunelere ait resimler

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, krom-nikel örgü tel takviyeli yüksek yoğunluklu polietilen kompozit malzemenin yorulma yükü altında kırılma davranışları incelenmiştir. Önce malzemenin mekanik özellikleri belirlenmiş daha sonra 15°, 30°, 45°, 60° ve 75° açılarda merkez çatlakları açılmıştır. Tüm açılardaki çatlaklı numuneler için yorulma deneyleri yapılmış ve kırılma davranışları incelenmiştir. Tüm yorulma deneyleri ASTM E 647 standartlarına uyularak, $f=0.75$ Hz' lik bir frekans ve gerilme oranı $R=0.1$ şartlarında yapılmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıya çıkarılmıştır.

- Kırılma anındaki yorulma çevrim sayısı 15°, 30°, 45°, 60° ve 75° lik numunelerde, aynı sırayla giderek artmıştır. Beklenildiği gibi en düşük çevrim sayısı 15° de ki numunede olurken, en yüksek çevrim sayısı da 75° de ki numunede gerçekleşmiştir.
- Yorulma çevrim sayıları arttıkça x-ksenine dikey konumda olan teller çatlak ilerleme miktarına ve matris ayrılmasına bağlı olarak kopmuştur. Kırılma anında stabil olmayan çatlak ilerlemesi olduğu için malzemede ki kalan fiber teller topluca kopmuş, bu esnada matris de ayrılarak, kırılma olayı gerçekleşmiştir.
- Genel olarak çatlak ilerleme miktarı arttıkça, çatlak ilerleme hızı da (da/dN) artmaktadır. Ancak hız değişimindeki artış çatlak oryantasyon açısının artmasıyla azalmaktadır.
- Sole fonksiyonları yardımıyla tüm çatlak açılarındaki numuneler için $\Delta K_{e\delta}$ değerleri hesaplanmış ve tüm çatlak açılarındaki numuneler için $da/dN-\Delta K_{e\delta}$ grafiklerinden Paris-Erdoğan denklemiyle malzeme sabitleri olan $A=4E-05$ ve $n=0,7602$ olarak elde edilmiştir.
- Kompozit malzemenin kendisini oluşturan malzemelere göre mekanik özellikleri geliştirilmiştir. Bu sebeple üretilen kompozit malzeme özellikle otomotiv gövde panelleri, mutfak eşyaları, ambalaj malzemeleri, boru ve tank üretimi gibi birçok alanda, daha güvenli bir şekilde kullanılabilir hale gelmiştir.

KAYNAKLAR

1. Tüfekçioğlu E., Yamalı A., Markoviç E., Koltuksuz H., Özerdoğan S., Yüksek Yoğunluklu Polietilen ve Plastiklerin Özellikleri ile İşletme Teknolojileri, ALPET Yayın No 8, İzmir.
2. Ferreira, J., Costa, J., Richardson, M., 1997, Effect of Notch Conditions on The Fatigue of a Glass-Fibre-Reinforced polypropylene Composite , Composites Science And Technology, Vol. 57, p. 1243-1248.
3. Czigany T, Karger-Kocsis J. 1993, Determination of The Damage Zone size in Textile Fabric Reinforced Polypropylene Composites by Locating The Acoustic Emission, Polym and Polym Compos., Vol. 1(5), p. 329.
4. Krujjer M.P., Warnet L.L., Akkerman R., 2005, Modelling of the Viscoelastic Behaviour of Steel Reinforced Thermoplastic Pipes, Composites, Part A, p 356-367.
5. Tong, J., 2002, Characteristics of Fatigue Crack Growth in GFRP Laminates, International Journal of Fatigue, Vol. 24, p. 291–297.
6. Peled, A., Bentur, A., 2002, Fabric Structure and Its Reinforcing Efficiency In Textile Reinforced Cement Composites, Composites Part A Vol 34, p. 107-118.