

ULTRAVİYOLE (UV) IŞINLARININ FARKLI TEKNİK POLİESTER İPLİKLERİN ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Şebnem DÜZYER *

Alınma: 17.01.2019 ; düzeltme: 05.03.2019 ; kabul: 13.03.2019

Öz: Bu çalışmada, ultraviyole (UV) ışınlarının teknik alanlarda kullanılan poliester ipliklerin yüzey özellikleri, mekanik özellikleri ve içyapısı üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla teknik alanlarda kullanılan yüksek dayanımlı polietilen tereftalat (HT PET), boyutsal kararlı polietilen tereftalat (DS PET), polietilen naftalat (PEN) ve sıvı kristal polimer yapısında olan *Vectran* iplikler kullanılmıştır. Karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla konvansiyonel olarak kullanılan tam çekimli polietilen tereftalat (FDY PET) iplikler de çalışmaya dâhil edilmiştir. Numunelerin UV ile yaşlandırma sonrası yüzey özellikleri taramalı elektron mikroskobu (SEM), mekanik özellikleri çekme testleri, içyapılarındaki değişiklikler ise Fourier Dönüşümlü Infrared Spektrofotometre (FTIR) analizleri ile incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, UV ile yaşlandırma sonrasında en belirgin değişikliklerin *Vectran*'da, en az değişimin ise PEN'de olduğu gözlenmiştir. *Vectran* liflerinin sarardığı, yüzeylerinde bazı hasarların meydana geldiği ve mekanik özelliklerinin olumsuz etkilendiği görülmüştür. FTIR analizleri de bu bulguları desteklemektedir.

Anahtar Kelimeler: *Vectran*, Polietilen tereftalat, Polietilen naftalat, Ultraviyole ışınları

An Investigation on the Effect of Ultra Violet (UV) Light on the Properties of Different Technical Polyester Yarns

Abstract: In this study, the effect of ultraviolet (UV) light on the surface properties, mechanical properties and microstructural properties of technical polyester yarns were investigated. Therefore, high tenacity polyethylene terephthalate (HT PET), dimensionally stable polyethylene terephthalate (DS PET), polyethylene naphthalate (PEN) and liquid crystal polymer *Vectran* yarns were used. Fully drawn polyethylene terephthalate (FDY PET) yarns were also included in the study in order to compare the results. The changes in the properties of the samples after UV aging were investigated by scanning electron microscopy (SEM) studies, tensile tests and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) analyses. The most significant difference was observed in *Vectran* in terms of colour and surface properties. Moreover, the mechanical properties of *Vectran* were negatively affected. PEN showed the least difference among the other samples. FTIR results supported the findings.

Keywords: *Vectran*, Polyethylene terephthalate, Polyethylene naphthalate, Ultraviolet light

* Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, 16059, Görükle-Bursa
İletişim yazarı: Şebnem Düzyer (sebnemduzyer@uludag.edu.tr)

1. GİRİŞ

Poliesterler, çoğunlukla kimyasal lif veya plastik yapımında kullanılan; tekrar ünitesinde ester bağı bulunduran polimerlerdir. Poliester ailesinin önemli bir üyesi olan polietilen tereftalat (PET), dünyada en çok kullanılan kimyasal liftir. Yüksek mukavemet, orta dereceli uzama, yüksek camsı geçiş sıcaklığı, deformasyona ve kimyasallara karşı iyi dayanım gibi özellikleri nedeniyle PET lifleri hem konvansiyonel hem de endüstriyel uygulamalarda geniş bir kullanım alanı bulmaktadır (Scheirs, 2003).

PET; tereftalik asit (TPA) veya dimetil tereftalat (DMT) ile etilen glikolün (EG) adım polimerizasyonu ile üretilir. Üretim esterleşme ve polikondenzasyon olmak üzere iki adımdan oluşur. Konvansiyonel tekstil uygulamalarında kullanılan PET polimerinin ortalama molekül ağırlığı 15.000-20.000 g/mol arasındadır (Scheirs, 2003).

PET lifi eriyikten çekim yöntemi ile üretilir. Eriyikten çekim prosesi, polimerin eritilmesi ve düzelerden ekstrüzyonu esasına dayanır. Bu adımları soğutma-katılaştırma ve sarım adımları takip eder.

Sarım hızı, üretilen filament ipliklerin fiziksel, mekaniksel ve içyapı özellikleri üzerinde etkilidir. Sarım hızı nedeniyle amorf PET filamentlerde ön oryantasyon oluşur. Sarım hızına bağlı olarak az yönlendirilmiş (LOY), orta derecede yönlendirilmiş (MOY), kısmen yönlendirilmiş (POY), yüksek derecede yönlendirilmiş (HOY), tamamen yönlendirilmiş (FOY)/tam çekimli (FDY) poliester iplikler üretilir (Bunsell, 2018).

FDY PET lifler 6.000-10.000 m/dk arasında değişen çekim hızlarında üretilirler. Bu lifler yeterince oryante ve kristalin haldedir. Ek bir çekim uygulamadan düşük kopma uzaması ve yeterince yüksek dayanım gösterirler (Bunsell, 2018).

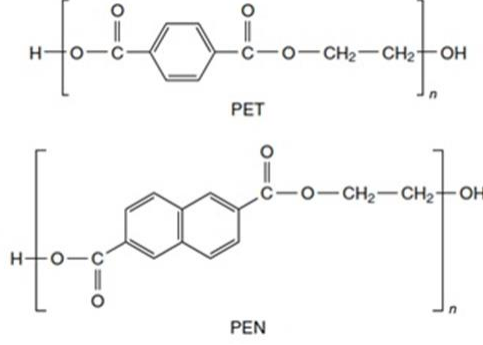
Teknik alanlarda kullanılmak üzere, yüksek modül ve yüksek dayanıma sahip liflerin üretimi geçmişten günümüze kadar çalışılan ve ilgi çeken bir konudur. Bu konudaki çalışmalar yeni bir polimer bulmak veya var olan polimerlerin özelliklerini geliştirmek üzerine yoğunlaşmıştır. Yeni bir polimer bulmak ve lif elde etmek; hammadde temininin kısıtlı ve pahalı olması, yeni ekipman kurulumu ve yüksek yatırım maliyetleri gibi zorlukları beraberinde getirmektedir. Bu nedenle özellikle hali hazırda bilinen sentetik liflerin özelliklerini üretim proseslerinde değişiklikler yaparak geliştirmek daha çok tercih edilmektedir (Kunugi ve diğ., 1981).

Bu konuda üzerinde en çok çalışılan liflerden birisi de PET lifleridir. PET liflerinin mekanik özelliklerini iyileştirmek için çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır. Teknik alanlarda kullanılmak üzere üretilen PET ipliklerin konvansiyonel FDY PET ipliklerine göre en önemli farkı; teknik PET ipliklerin molekül ağırlığı daha yüksek polimerden üretilmesidir. Ayrıca, bu ipliklere üretim esnasında germe ve ısıl işlem uygulanarak moleküler oryantasyon ve kristalinite artırılır. Bu şekilde üretilen PET ipliklere örnek olarak boyutsal kararlı polietilen tereftalat (DS PET) ve yüksek dayanımlı polietilen tereftalat (HT PET) iplikler verilebilir (Kunugi ve diğ., 1981; Peng ve Roland, 1993; Geller, 2001.).

Yüksek modül ve dayanım, lif içindeki amorf bölgelerin oryantasyonu ile ilgilidir. Amorf bölge oryantasyonundaki artış, mekanik özelliklerde iyileşmeye neden olmaktadır. HT PET ve DS PET karşılaştırıldığında, amorf bölge oryantasyonu daha yüksek olan HT PET'in daha yüksek dayanım ve modüle sahip olduğu görülür. Ancak bu lifler, yüksek ısıl kılalma gösterirler (Kunugi ve diğ., 1981; Peng ve Roland, 1993; Geller, 2001.).

Polietilen naftalat (PEN), yarı kristalin, aromatik bir poliesterdir. PEN'in, reolojik, termal ve kristalografik davranışları PET'e benzemekle birlikte, PEN, PET'e göre daha yüksek dayanım ve modül değerlerine sahiptir. Bu özellikleri nedeniyle halat, kablo, lastik takviye ipliği gibi teknik uygulamalarda tercih edilmektedir. Örneğin, Pirelli firması yüksek performanslı motosiklet lastikleri için PEN iplikleri kullanmaktadır. Ayrıca PEN, taşıyıcı bantlarda da kullanım bulmaktadır (Cakmak ve Kim, 1998; Scheirs, 2003; Lechat ve diğ., 2006; Levin, 2007).

PET ve PEN'in kimyasal yapıları benzerdir. Her iki polimerde de alkol grubu olarak etilen glikol kullanılır ancak PET'te kullanılan tereftalik asit yerine PEN'de 2,6-dikarboksilik asit kullanılmaktadır (Şekil 1). Yapısında bulunan iki aromatik halka nedeniyle, PEN'in dayanım ve modülü, kimyasal ve hidrolitik dayanımı, termal ve termo-oksidatif dayanımı PET'e göre daha yüksektir (Scheirs, 2003; Lechat ve diğ., 2006).

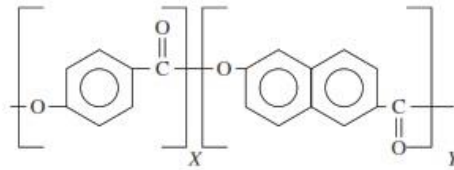


Şekil 1:

PET ve PEN'in molekül yapıları (Scheirs, 2003)

PEN'deki aromatik halka, PET'te bulunan benzen halkasına göre daha hacimlidir. PEN'in yapısında PET'e oranla %23 daha az esnek etilen grubu bulunur. Bu nedenle PEN zincirleri daha rijittir ve daha yüksek modül değeri verir (Hockenberger ve diğ., 2005).

Vectran, eriyik çekim yöntemiyle üretilen, termotropik sıvı kristal ve tamamen aromatik bir çeşit poliester lifidir. Diğer poliester liflerinden farklı olarak, *Vectran* lifleri ağırlıklı olarak düzenli fakat kristalin olmayan bölgelerden oluşmaktadır (Karacan, 2006; Liu ve diğ., 2013). Monomerleri p-hidroksibenzoik asit (HBA) ve 6-hidroksi-2-naftoik asittir (HNA). Piyasada pek çok aromatik poliester ticari olarak bulunmasına rağmen, sadece Kuraray firması *Vectran* ticari ismi ile eriyik çekim termotropik sıvı kristal polimerden lif üretmektedir. *Vectran* lifleri, Hoechst Celanase firmasının ürettiği naftalin bazlı termotropik bir malzeme olan Vectra polimerinden üretilir. Vectra, çok iyi mekanik özellikleri, çok iyi aşınma dayanımı, çok yüksek kimyasal dayanımı ve düşük nem alımı olan sıvı kristal bir polimerdir (Beers ve Ramirez, 1990; Hearle, 2001; Bunsell, 2018).



Şekil 2:

Vectran lifinin kimyasal yapısı (Hearle, 2001)

Vectran liflerinin sıvı kristal polimer yapısındaki molekülleri rijittir ve gelişigüzel olarak buldukları bölgelerde oryante halledirler. Eriyik haldeyken polimer anizotropik halledir ve bu nedenle "sıvı kristal polimer" adını alır. Eriyik haldeki polimerin düzelerden ekstrüzyonu ile molekül zincirlerinin bulunduğu alanlar lif eksenine boyunca birbirine paralel hale gelir. Ekstrüzyon sırasında oluşan akış ve kesme kuvvetleri molekül zincirlerinin akış yönünde düzene girmesini sağlar. Burada düze çapları, molekül zincirlerinin paralel yerleşimi üzerinde önemlidir. Düze çapı küçüldükçe, paralel yerleşim ve lifin mekanik özellikleri iyileşir. Yüksek oryante lif yapısı iyi mekaniksel özellik sağlar (Hearle, 2001; Bunsell, 2018).

Vectran lifleri, yüksek termal stabilite, yüksek dayanımları ve rijit yapıları nedeniyle balistik kumaşlarda, halatlarda, kablolarda, fiber optik uygulamalarda, elektronik devre elemanlarında, kompozitlerde ve yüksek performans gerektiren uygulamalarda kullanım alanı bulur (Beers ve Ramirez, 1990; Hearle, 2001; Bunsell, 2018).

Tekstil malzemeleri için ultraviyole (UV) dayanımı; lif, iplik veya kumaşın UV ışınlarına karşı gösterdiği direnci ifade eder. UV ışınları, polimer moleküllerini uyarır ve polimer zincirlerini kırar. Bu durum, molekül zincirlerinin parçalanmasına neden olur ve life hasar verir. UV ışınlarının tekstil malzemeleri üzerine olan etkisi; ışının şiddetine, dalga boyuna, lif tipine, lif inceliğine, yapıda herhangi boya, bitim veya diğer ajanlar olup/olmamasına, malzemenin kimyasal yapısına bağlı olarak değişir (Morton ve Hearle, 2008).

UV ışınlarının malzemeler üzerindeki etkisini belirleyebilmek için kimyasal yapı analizleri, yüzey analizleri, serbest radikallerin belirlenmesi, uç grup analizi veya viskozite ölçümleri ile molekül ağırlığının ölçülmesi ve mekanik analizler gibi çeşitli metotlar mevcuttur. Mekanik özellikler tekstil liflerinin hem üretim hem de nihai kullanımdaki performanslarını belirler. İyapıdaki değişimler ise tekstil liflerinin mekanik özelliklerini etkiler. Literatürde, PET, PEN ve *Vectran* liflerinin UV ile yaşlandırma sonrası davranışları ile ilgili ayrı ayrı bazı çalışmalar olmasına rağmen, özellikle DS PET ve HT PET liflerinin UV ışınlarına karşı davranışı ile ilgili çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle, bu çalışmanın başlıca amaçlarından biri bu alandaki literatür eksikliğini tamamlamak ve FDY PET, DS PET, HT PET, PEN ve *Vectran* liflerinin UV ışınlarına karşı davranışlarının bir arada açıklandığı bir kaynak oluşturmaktır. Çalışmada, UV ışınlarının teknik alanlarda kullanılan DS PET, HT PET, PEN ve *Vectran* ile konvansiyonel olarak kullanılan FDY PET iplikler üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla öncelikle numuneler UV ışığı altında yaşlandırılmıştır. Daha sonra ipliklerin görünüm, yüzey, mekanik ve iyapı özellikleri incelenmiştir. Liflerin UV ışınları ile yaşlandırma sonrası yüzey özelliklerindeki değişimler SEM analizleri, mekanik özelliklerdeki değişimler çekme testleri, iyapıdaki değişimler ise Fourier Dönüşümlü Infrared Spektrofotometre (FTIR) testleri ile incelenmiştir. Sonuçlar karşılaştırılarak açıklanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Çalışma kapsamında DS PET, HT PET, PEN ve *Vectran* olmak üzere dört farklı teknik poliester iplik kullanılmıştır. Sonuçları kıyaslayabilmek amacıyla konvansiyonel olarak kullanılan FDY PET iplik de çalışmaya dâhil edilmiştir. Bu ipliklerin özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan ipliklerin özellikleri

| İplik Çeşidi | İplik Kodu | Üretici Firma | İplik Numarası (tex) | Filament Sayısı |
|---|----------------|--------------------|----------------------|-----------------|
| Tam çekimli polietilen tereftalat iplik | FDY PET | Korteks | 33,50 | 72 |
| Boyutsal kararlı polietilen tereftalat iplik | DS PET | Performance Fibers | 110 | 300 |
| Yüksek dayanımlı polietilen tereftalat iplik | HT PET | Performance Fibers | 110 | 192 |
| Polietilen naftalat iplik | PEN | Performance Fibers | 110 | 200 |
| Tamamen halkalı yapıda poliester (sıvı kristal polimer) iplik | <i>Vectran</i> | Kuraray | 110 | 200 |

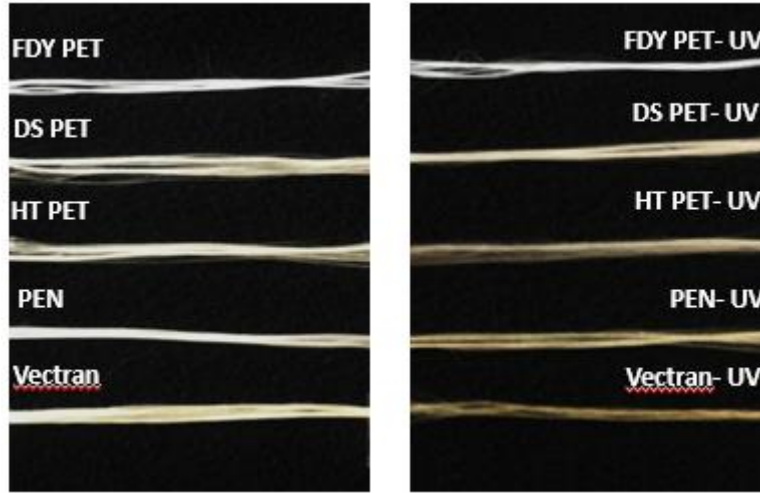
2.2. Metot

UV yaşlandırma testi için, iplikler; 4,5x 13 cm boyutlarındaki kartonlar üzerine her bir iplik yan yana gelecek şekilde sarılmıştır. Daha sonra bu numuneler Atlas Xenotest 150 S ışık haslığı test cihazı içindeki numune başlıklarına yerleştirilmiştir ve ksenon lambası kullanılarak TS 1008 EN ISO 105- B02 standardı Metot 5'e göre UV ışını ile yaşlandırılmıştır. Sıcaklık ölçme sensörü olarak siyah standart termometre (BST) kullanılmış ve yaşlandırma esnasında kabin sıcaklığı 48 °C ve %40 bağıl nem olarak ayarlanmıştır. Test esnasında yağmurlama seçeneği kullanılmamıştır. Yüksek performanslı liflerin açık alan uygulamalarındaki kısa süreli UV dayanımını incelemek amacıyla yaşlandırma süresi 168 saat olarak belirlenmiştir (Said ve diğ., 2006).

Çalışmada öncelikle UV ile yaşlandırma öncesi ve sonrası ipliklerdeki görsel değişim Canon EOS 4000d marka kamera ile tespit edilmiştir. İpliklerin yüzey özelliklerindeki değişim Carl Zeiss Evo 40 marka SEM ile incelenmiştir. SEM analizlerinden önce numuneler altın ile kaplanarak iletken hale getirilmiştir. İpliklerin UV ile yaşlandırma öncesi ve sonrası mekanik özellikleri Shimadzu AG-X plus çekme cihazı ile 5 kN'luk yük hücresi ile 100 mm/dk çene hızı, 100 mm çene mesafesi kullanılarak standart atmosfer koşullarında gerçekleştirilmiştir. Çekme testleri her bir numune için 10 kere tekrar edilmiştir. İpliklerdeki içyapı değişimleri Thermo-Nicolet 6700 marka FTIR ile 4000-400 cm⁻¹ bant aralığında 2 cm⁻¹ çözünürlükte incelenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

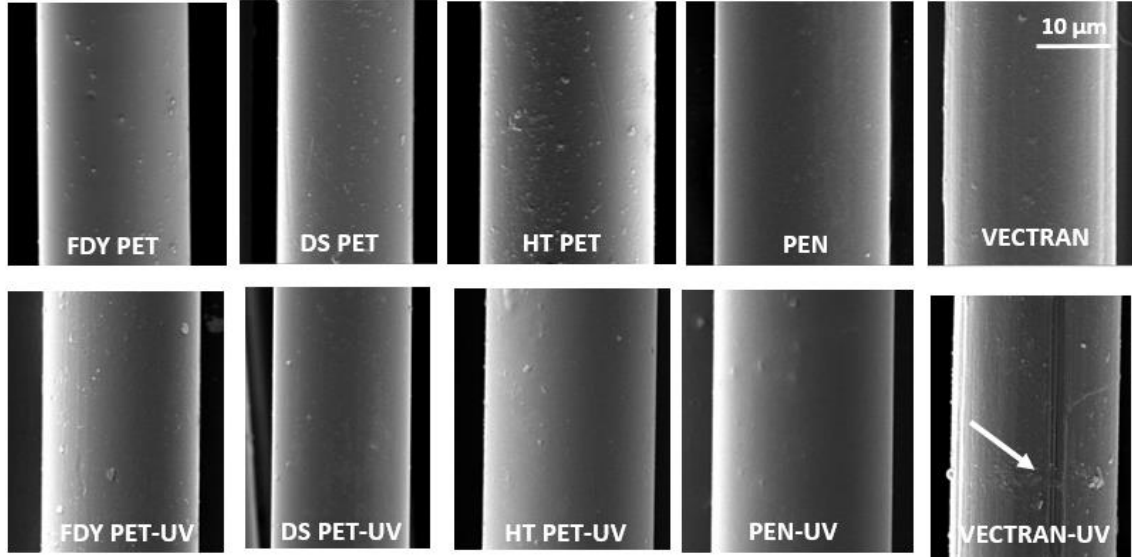
Çalışmada öncelikle, numuneler UV ile yaşlandırma öncesi ve sonrası görsel olarak incelenmiş ve UV ile yaşlandırma sonrası, FDY PET, DS PET ve HT PET ipliklerde belirgin bir renk değişimi olmazken, PEN ve Vectran ipliklerinde sararma olduğu görülmüştür (Şekil 3).



Şekil 3:

UV ile yaşlanma öncesi ve sonrası ipliklerin kamera görüntüleri

Numunelerin UV ile yaşlandırma öncesi SEM görüntüleri, liflerin genel olarak düzgün ve pürüzsüz yüzeylere sahip olduğunu göstermiştir. UV ile yaşlandırma sonrası ise en belirgin değişim Vectran liflerinde gözlenmiştir. Bu numunelerin yüzeylerinde UV ile yaşlandırma sonrası yer yer bazı hasarın oluşmaya başladığı görülmüştür (Şekil 4).



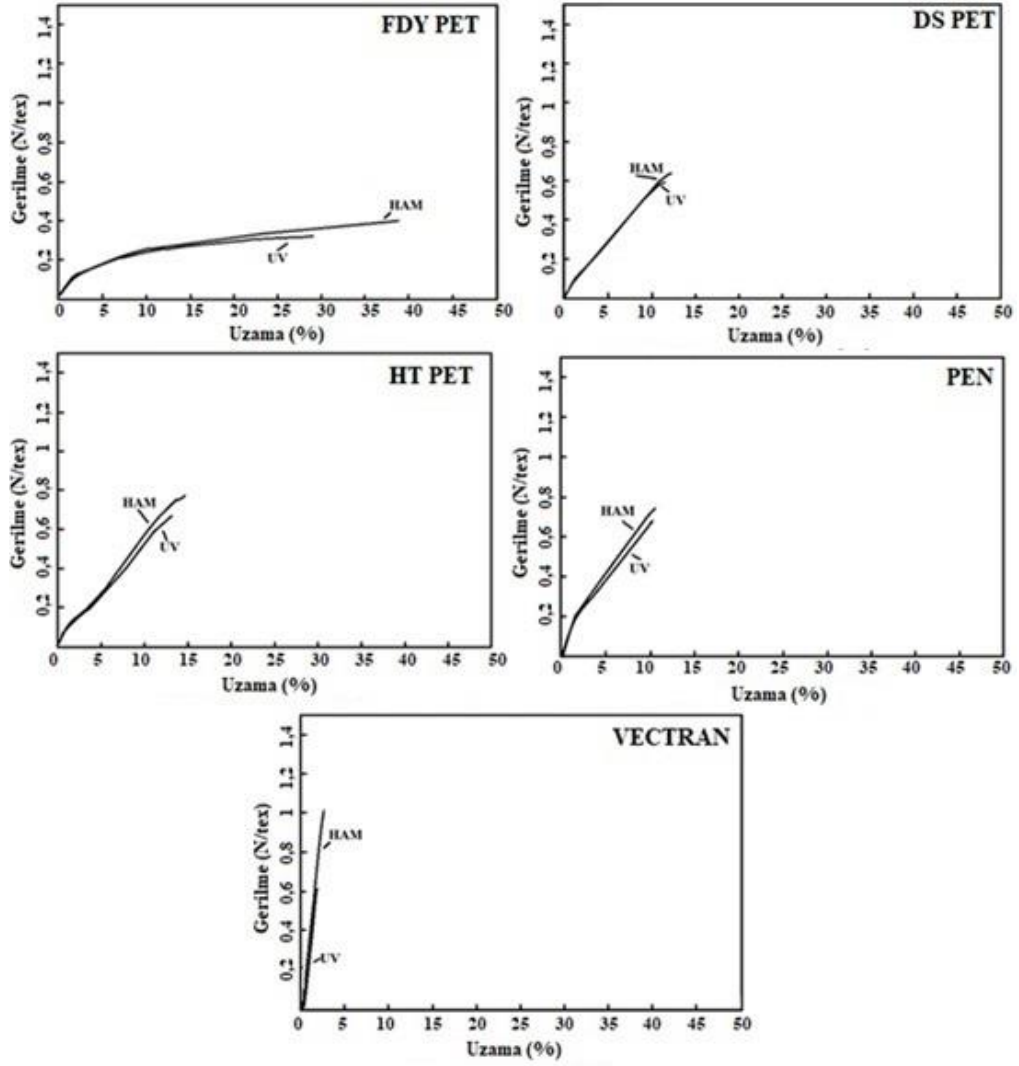
Şekil 4:
UV ile yaşlanma öncesi ve sonrası liflerin SEM görüntüleri

Numunelerin UV yaşlandırma öncesi ve sonrası mekanik özellikleri Tablo 2,3 ve Şekil 5,6'da verilmiştir. UV ile yaşlandırma öncesi değerler ve eğriler incelendiğinde en yüksek ilk modül ve dayanıma *Vectran*'ın sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca *Vectran* en düşük kopma uzaması değerini de vermektedir.

HT PET ve DS PET üretilirken kullanılan yüksek molekül ağırlığı, uygulanan germe ve sıcaklık ile ipliklerin mekanik özelliklerinde FDY PET'e göre iyileşme sağlanmıştır. PEN ise bu üçünden kimyasal yapı bakımından farklıdır. PEN; HT PET ve DS PET'e benzer dayanım ve kopma uzaması göstermesine rağmen, yapısındaki naftalat halkası nedeniyle daha yüksek ilk modül değerine sahiptir (Tablo 2, Şekil 5).

UV ışınlarının enerjisi, genellikle polimerlerde bulunan kimyasal bağların enerjisinden yüksektir ve liflerin amorf bölgeleri ile hatalı kristalin bölgelerine etki eder. Dolayısıyla ana zincirdeki bağların kopmasına neden olabilir. Ayrıca, UV ışını etkisi ile molekül zincirleri düzenli yerleşimlerinden daha düzensiz yerleşime geçebilirler. Böylece lif yaşlanır ve mekanik özellikleri zarar görür (Liu ve diğ., 2012; Liu ve diğ., 2013; Liu ve diğ., 2014).

UV ile yaşlandırma sonrası yapılan mekaniksel analizlerde; en büyük değişimin *Vectran*'da olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar 168 saat UV ışınları altında yaşlandırılan *Vectran* ipliklerin dayanım değerlerinde yaklaşık %40, kopma uzaması değerlerinde yaklaşık %25 ve ilk modül değerlerinde yaklaşık %30 bir azalma olduğunu göstermektedir. Bu durum, *Vectran*'ın diğer numunelere göre çok farklı özellikler göstermesine neden olan sıvı kristal polimer yapısı ile ilişkilendirilebilir. UV ışınları ile yaşlandırma sonrası mekanik özellikleri en az etkilenen numune ise yapısındaki hacimli naftalat halkası nedeniyle PEN olmuştur. PEN'in dayanımında %2,15, kopma uzamasında %1,54 ve ilk modülde ise %0,68'lik bir azalma görülmüştür. Aynı kimyasal formüle sahip olan FDY PET, DS PET ve HT PET kıyaslandığında, UV ışınlarından en çok FDY PET'in etkilendiği görülmüştür. Sonuçlar, DS PET'in HT PET'e göre UV ışınlarına karşı daha dirençli olduğunu göstermiştir (Tablo 3, Şekil 5,6).



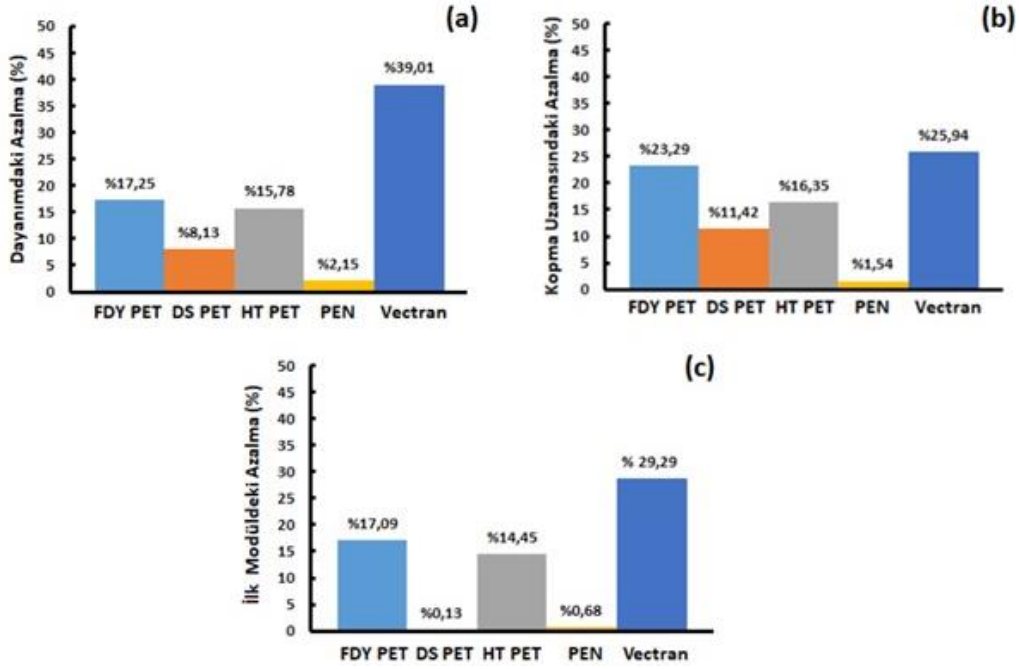
Şekil 5:
İpliklerin UV yaşlandırması öncesi ve sonrası kuvvet-uzama eğrileri

Tablo 2. İpliklerin UV yaşlandırma öncesi kopma dayanımı ve kopma uzaması değerleri

| İplik Kodu | İlk Modül (N/tex) | Kopma Dayanımı (N/tex) | Kopma Uzaması (%) |
|------------|--------------------|------------------------|--------------------|
| FDY PET | $5,56 \pm 0,0211$ | $0,400 \pm 0,0014$ | $38,38 \pm 1,0126$ |
| DS PET | $7,88 \pm 0,0461$ | $0,652 \pm 0,0051$ | $12,79 \pm 0,4064$ |
| HT PET | $8,79 \pm 0,1648$ | $0,773 \pm 0,0088$ | $15,90 \pm 0,6249$ |
| PEN | $14,75 \pm 1,0116$ | $0,744 \pm 0,0300$ | $11,05 \pm 0,2259$ |
| Vectran | $39,30 \pm 1,9662$ | $1,015 \pm 0,0587$ | $2,93 \pm 0,0942$ |

Tablo 3. İpliklerin UV yaşlandırma sonrası kopma dayanımı ve kopma uzaması değerleri

| İplik Kodu | İlk Modül (N/tex) | Kopma Dayanımı (N/tex) | Kopma Uzaması (%) |
|------------|-------------------|------------------------|-------------------|
| FDY PET-UV | 4,61 ± 0,0323 | 0,331 ± 0,0039 | 29,44 ± 0,4841 |
| DS PET-UV | 7,87 ± 0,0441 | 0,599 ± 0,0047 | 11,33 ± 0,4404 |
| HT PET-UV | 7,52 ± 0,2433 | 0,651 ± 0,0184 | 13,30 ± 0,7685 |
| PEN-UV | 14,85 ± 0,6125 | 0,728 ± 0,0212 | 10,88 ± 0,3769 |
| Vectran-UV | 27,09 ± 0,2476 | 0,619 ± 0,0549 | 2,17 ± 0,0594 |



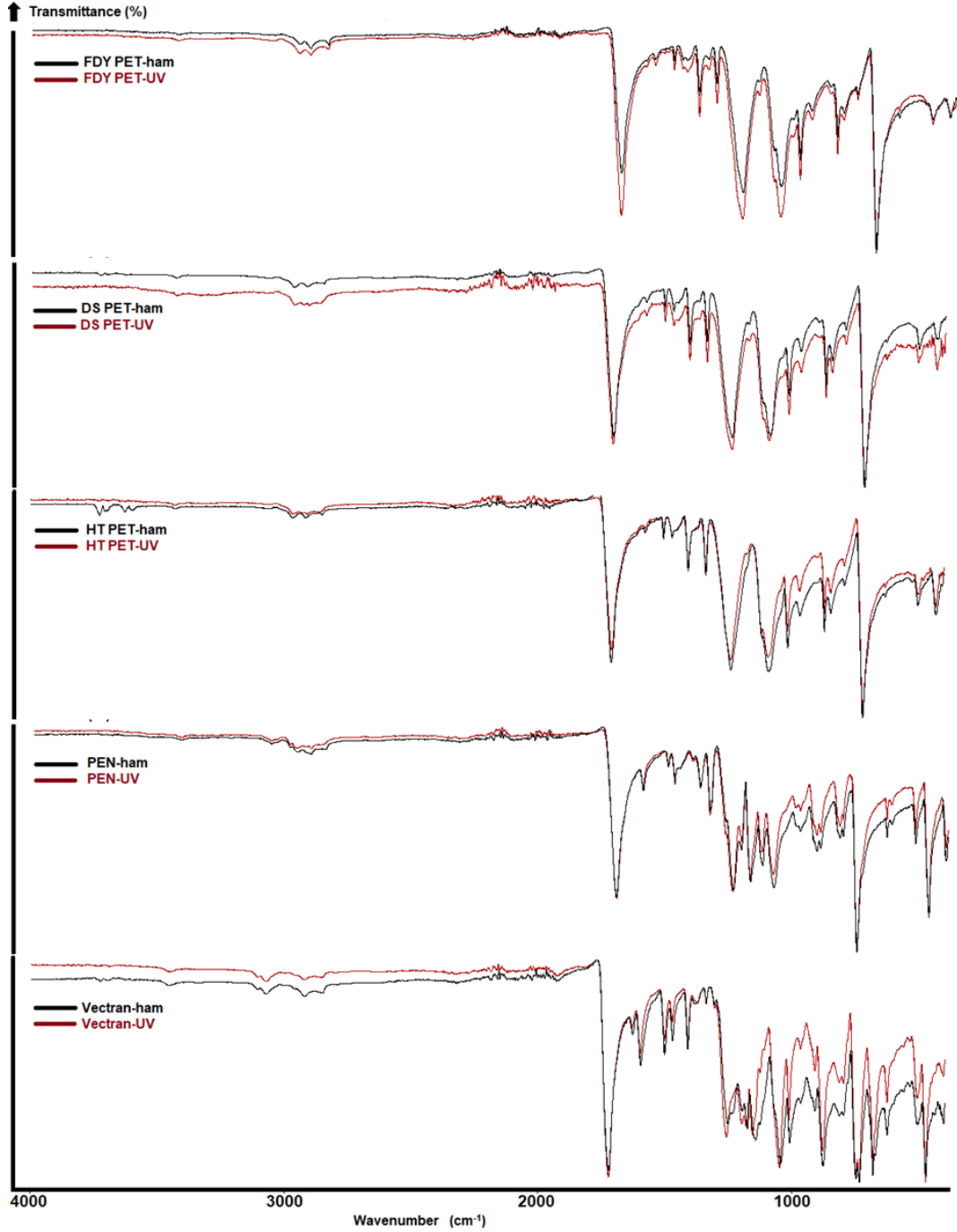
Şekil 6:

UV ile yaşlandırma sonrası ipliklerin mekanik özelliklerdeki değişim; a) dayanım, b) kopma uzaması, c) ilk modül

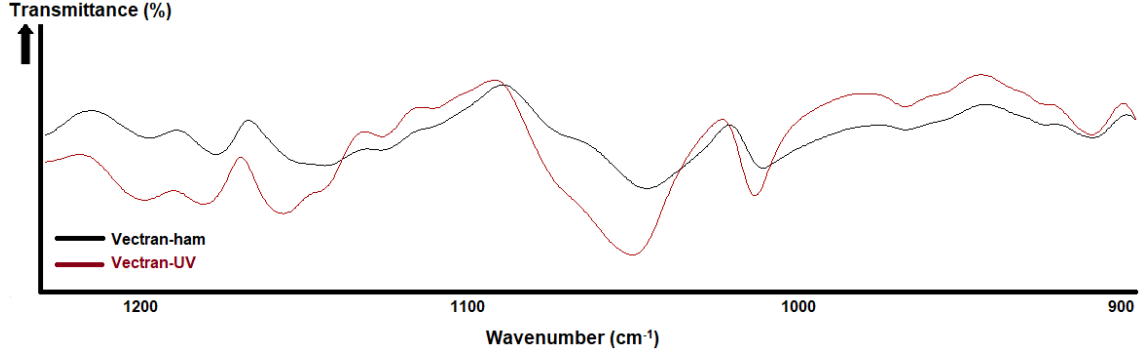
FTIR analizleri, UV ışınlarının numunelerin iç yapısına olan etkilerini incelemek amacıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 7). UV ışınları ile yaşlandırma öncesine ait FTIR spektrumları incelendiğinde tüm numunelerin poliesterlere ait karakteristik 1721 cm^{-1} (aromatik ester C=O gerilim titreşimi), 1245 cm^{-1} (aromatik ester C-C-O gerilim titreşimi) ve 1100 cm^{-1} (aromatik ester O-C-C gerilim titreşimi) piklerini verdiği görülmüştür (Smith, 1998). PEN’de ise bu piklere ilave olarak 1134 cm^{-1} ve 1181 cm^{-1} ’de naftalat halkası titreşimlerine, 1502 cm^{-1} ve 1602 cm^{-1} ’de ise aromatik halka titreşimlerine ait pikler görülmektedir (Hakme ve diğ., 2007). Vectran’ın spektrumunda gözlenen 1632 ve 1473 cm^{-1} pikleri kopolimer zincirlerindeki HNA ünitelerindeki C=C gerilim titreşimleri ve $1601,1506$ ve 1414 cm^{-1} ’de tespit edilen pikler ise Vectran’ın HBA ünitelerinde bulunan C=C gerilim titreşimlerinden ileri gelmektedir (Liu ve ark. 2013).

Numunelerin yaşlandırma sonrası FTIR spektrumları incelendiğinde, ipliklerin pik yoğunluklarında değişimler görülmüştür. Bu durum numunelerin UV ışınları nedeniyle uğradığı fotodegradasyona işaret etmektedir. Spektrumlardaki en büyük değişim Vectran’da gözlenmiştir. Vectran’ın pik yoğunluklarındaki ve özellikle $880-1100\text{ cm}^{-1}$ aralığındaki piklerdeki değişimi daha net gösterebilmek amacıyla $880-1100\text{ cm}^{-1}$ aralığındaki FTIR

spektrumunu Şekil 8’de verilmiştir. Örneğin, spektrumdaki 1053 cm^{-1} ’deki pik C-O bağı ile ilgilidir. Yaşlandırma sonrası *Vectran* spektrumundaki değişim UV ışınları etkisi ile bağların koptuğunu göstermektedir ve *Vectran*’ın mekanik özelliklerindeki değişim ile uyumludur (Liu ve ark. 2013).



Şekil 7:
FTIR analizi sonuçları



Şekil 8:
Vectran'ın 1200-900 cm⁻¹ bandı FTIR spektrumu

4. SONUÇ

Poliester lifleri, sahip olduğu olumlu özellikler nedeniyle hem teknik hem de konvansiyonel alanda geniş bir kullanıma sahiptir. Özellikle açık alan uygulamalarında; lifler uzun süreli olarak UV ışınlarına maruz kalmaktadır. Bu ışınlar, liflerin özelliklerini olumsuz olarak etkileyebilmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada açık alanlarda da önemli uygulamalara sahip olan bazı poliesterlerin (FDY PET, DS PET, HT PET, PEN, *Vectran*) görünüm, yüzey, mekanik ve içyapı özellikleri açık havanın etkisini simule eden bir cihazda UV ışınları ile muamele edilerek incelenmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda; UV ile yaşlandırma sonrasında yüzey özellikleri, mekanik özellikler ve içyapı olarak en büyük değişimin *Vectran*'da, en az değişimin ise PEN'de meydana geldiği gözlenmiştir. *Vectran*'dan sonra ise mekanik özelliklerde en büyük değişim FDY PET'te görülmüştür. SEM analizleri *Vectran*'ın yüzeyinde UV ışınlarının etkisi ile bazı hasarların oluştuğunu göstermiştir. Çekme testleri ile *Vectran*'ın kopma uzaması, dayanım ve ilk modül değerlerinin hepsinde belirgin bir azalma tespit edilmiştir. Ayrıca ipliklerin görünümünde sararmalar da gözlenmiştir. Bu değişimler UV ışınları ile *Vectran*'ın yapısındaki ester fonksiyonel gruplarının parçalanmasından kaynaklanmaktadır. *Vectran*'ın FTIR spektrumundaki değişim bu durumu desteklemektedir. PEN'in yapısında çalışmada incelenen diğer poliesterlerden farklı olarak naftalat halkası bulunmaktadır. PEN'in UV ışınlarına karşı gösterdiği direnç yapısında bulunan bu grup ile açıklanabilir.

KAYNAKLAR

1. Beers, D. E., Ramirez, J. E., (1990), Vectran High-Performance Fibre, *Journal of Textile Institute*, 81(4), 561-574. doi: 10.1080/00405009008658729
2. Bunsell, A. R., (2018), *Handbook of Properties of Textile and Technical Fibres*, The Textile Institute Book Series, Woodhead Publishing, Kidlington, United Kingdom.
3. Cakmak, M., Kim, J. C. (1997), Structure Development in High-Speed Spinning of Polyethylene Naphthalate (PEN) Fibers, *Journal of Applied Polymer Science*, 64, 729-747. doi: 10.1002/(sici)1097-4628(19970425)64:4<729::aid-app13>3.0.co;2-p
4. Geller, V. E., (2001), Technological Aspects of Orientational Strengthening of Poly(ethylene terephthalate). Modern Schemes for Production of High-Strength Polyester Fibres, *Fiber Chemistry*, 33 (5), 353-363. doi: 10.1023/a:1013996823687
5. Hakme, C., Stevenson, I., Voice, A., Lespinasse, G., Seytre, G., David, L., (2007), Orientation of Uniaxially Stretched Poly(ethylene naphthalene 2,6-dicarboxylate) Films by

- Polarized Infrared Spectroscopy. *Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics*, 45: 1950–1958. doi: 10.1002/polb.21219
6. Hearle, J. W. S., (2001), High Performance Fibers, CRC Press, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England.
 7. Hockenberger, A. S., Koral, S., Wilding M. A., (2005), Recovery from Strain and Shrinkage Measurements of Poly(m-methylene Terephthalate) and Poly(ethylene 2,6-Naphthalate) Fibers, *Textile Research Journal*, 75(2), 111-116. doi: 10.1177/004051750507500204
 8. Kunugi, T., Suzuki, A., Hashimoto, M. (1981), Preparation of High-Modulus and High-Strength Poly(ethylene Terephthalate) Fiber by Zone Annealing, *Journal of Applied Polymer Science*, 26, 213-221. doi: 10.1002/app.1981.070260120
 9. Lechat, C., Bunsell, A. R., Davies, P., Piant A., (2006), Mechanical Behaviour of Polyethylene Terephthalate & Polyethylene Naphthalate Fibres under Cyclic Loading. *Journal of Materials Science*, 41, 1745-1756. doi: 10.1007/s10853-006-2372-x
 10. Lewin, M., (2007), Handbook of Fiber Chemistry, Third Edition, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, USA.
 11. Liu, Y., Liu, Y., Lin, J., Tan, H., Zhang, C., (2014), UV-Protective Treatment for Vectran Fibers with Hybrid Coatings of TiO₂/Organic UV Absorbers, *Journal of Adhesion Science and Technology*, 28(18), 1773-1782. doi: 10.1080/01694243.2014.921130
 12. Liu, Y., Liu, Y., Tan, H., Wang, C., Wei, H., Guo, Z., (2013), Structural Evolution and Degradation Mechanism of Vectran® Fibers upon Exposure to UV-radiation, *Polymer Degradation and Stability*, 98, doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2013.05.023
 13. Morton, W. E. , Hearle, J. W. S., (2008), Physical Properties of Textile Fibres, Fourth Edition, Woodhead Publishing in Textiles Number 68, Cambridge, England.
 14. Peng, K. L., Roland, C. M., (1993), The Amorphous Phase in High-Speed Spun PET Fibers, *Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics*, 31, 1339-1345. doi: 10.1002/polb.1993.090311009
 15. Said, M. A., Dingwall, B., Gupta, A., Seyam, A. M. , Mock, G., Theyson, T., (2006), Investigation of Ultra Violet (UV) Resistance for High Strength Fibers, *Advances in Space Research*, 37, 2052-2058. doi: 10.1016/j.asr.2005.04.098
 16. Scheirs, J., (2003), *Modern Polyesters: Chemistry and Technology of Polyesters and Copolyesters*, Wiley Series in Polymer Science, John Wiley & Sons, Sussex, England.
 17. Smith, B., (1998), *Infrared Spectral Interpretation*, p.183, CRC Press, New York, USA

