

pamayan yönetimleri değiştirme olanağı sağlayan seçim mekanizması daha iyi işleyeceği gibi, bir üyenin yönetimde görev almaya aday olma olanağı da her zaman vardır. Bunlar demokrasinin gereği ve gerçeğidir. Demokratik Batı toplumu ise duragan değil dinamik bir toplumdur.

Ülkemiz gibi kalkınan, çağdaşlaşan bir toplumda mühendislere önemli görevler ve sorumluluklar yüklenmiştir. Teknoloji üretebilen sanayileşmiş ileri bir toplumu oluşturma görev ve sorumluluğunun öncüsü ve yüklenicisi öncelikle mühendistir. Tekstil mühendisleri de bu sorumluluğun bilincinde kendi işlevlerini yerine getirmek için bilinçli ve yaratıcı gayretlerini yoğunlaştırmalıdır. Bu bağlamda bir araya gelmenin, bilgi ve görüş alışverişini sağlamak için örgütlenmenin gereği açıktır. Ancak ör-

gütlenmenin çeşitli aşamaları ve düzeyleri olduğunu da dikkate almak gerekir. Bugün tekstille uğraşan, bu sektöre gönül ve hizmet veren yalnızca tekstil mühendisleri değildir. Niçin tekstille uğraşan mühendis, teknisyen, sanatçı, ekonomist ve diğer mesleklerden her isteyenine içine alan bir üst örgüt olarak bir "Tekstildciler Derneği" kurmak için girişimler yapılmalıdır. Daha üst düzeyde akademik amaçlar güden bir başka örgüt biçimi de söz konusudur. Merkezi İngiltere'nin Manchester şehrinde uluslararası bir örgüt olan Tekstil Enstitüsü'nün biri 1981 yılında Ege Üniversitesi'nin düzenlediği Atatürk'ün. 100. Doğum Yıldönümü Uluslararası Tekstil Sempozyumu'na, ikincisi 1988 yılında Makina Mühendisleri Odası'nın Bursa'da düzenlediği Uluslararası nitelikteki IV. Tekstil Sempozyu-

mu'na başkanının kaleminden yaptığı Tekstil Enstitüsü'nün Türkiye branşının kurulması çağrılarını yanıtsız kalmıştır. Tüm bu örgütler iç içe ve bir arada tekstil mesleğinin ülkemizdeki gelişimine ve bu mesleği yapan insanlar arasındaki dayanışma, iletişim ve dostluğa önemli katkılar yapabilir. Sanırım tekstil mühendislerinin, yukarıda değindiğim konuları düşünmeleri, birbiriyle tartışmaları, düşünce ve görüş oluşturmaları için çok zaman yitirilmiştir. Bu mesleğe yıllarını vermiş mesleğin ülkemizdeki gelişimine ve tanıtımına elinden geldiğince gayret göstermiş bir tekstil mühendisi olarak özellikle büyük bölümü öğrencilerim olan genç meslektaşlarımla bu oluşuma aktif katılmalarını görmekten mutluluk duyacağım.

## TEKSTİL MÜHENDİSLERİNE

TMMOB Makina Mühendisleri Odası içinde örgütlülüğümüzü geliştirebilmek için aşağıdaki dilekçeyi imzalayarak kayıtlı olduğunuz Oda birimine gönderiniz.

TMMOB  
MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI YÖNETİM KURULU BAŞKANLIĞI'NA  
ANKARA

Özü: Tekstil Mühendisliği Ana Komisyonu ve Komisyonların Kurulması Hk.

33.Olağan Genel Kurul'da alınan kararlar doğrultusunda 1 Mart 1990 tarihinden itibaren geçerli Oda Tüzüğü'nün 66. maddesinde "Meslek Dalı Ana Komisyonu ve Komisyonları" başlığı altında, Oda bünyesinde yer alan meslek dalı üyelerinden en az yüz (100) kişinin başvurması durumunda, Oda Yönetim Kurulu gerekli gördüğü takdirde "Meslek Dalı Ana Komisyonu ve Şubelerde Meslek Dalı Komisyonları" kurulabilmektedir.

Aşağıda imzası bulunan ..... Şubesine kayıtlı biz Tekstil Mühendisleri Odamızda, Oda Tüzüğü'nün 66.maddesine göre "Tekstil Mühendisliği Ana Komisyonu" ve şubemizde "Tekstil Mühendisliği Komisyonu" kurulmasını talep ediyoruz.

Bilgilerinize, gereğinin yapılmasını onayınıza sunarız. Saygılarımızla, ...../...../1990

Oda Sicil No	Adı Soyadı	İmza
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....

# Polyester Liflerinin Yönlenme Faktörleri ve Elastik (Young) Modüllerine Etkisi

Faruk BOZDOĞAN

Dr.

Ege Üni. Müh. Fak. Teks. Böl. İZMİR

*Bu çalışmada PET polyester liflerinin Herman kristalin yönlenme faktörü, optik yönlenme faktörü ve elastik (Young) modüllerinin liflerin çift kırılma ölçümlerinden yararlanılarak pratik olarak yaklaşık bir şekilde nasıl tayin edilebileceği anlatılmıştır. Ayrıca uygulama olarak Türkiye'de üretilen düz ve POY polyester iplik liflerinin yönlenme faktörleri ve elastik (Young) modülleri hesaplanmıştır.*

## THE ORIENTATION FACTORS OF POLYESTER FIBRES AND THEIR EFFECTS ON THE ELASTIC (YOUNG) MODULI

*It has been explained in this article how the Herman crystalline orientation factor, the optical orientation factor and the elastic (Young) modulus of the PET polyester fibres can be determined approximately by means of the double refraction measurements. As practical application the orientation factors and elastic moduli of the filament and POY polyester yarn fibres produced in Turkey have been calculated.*

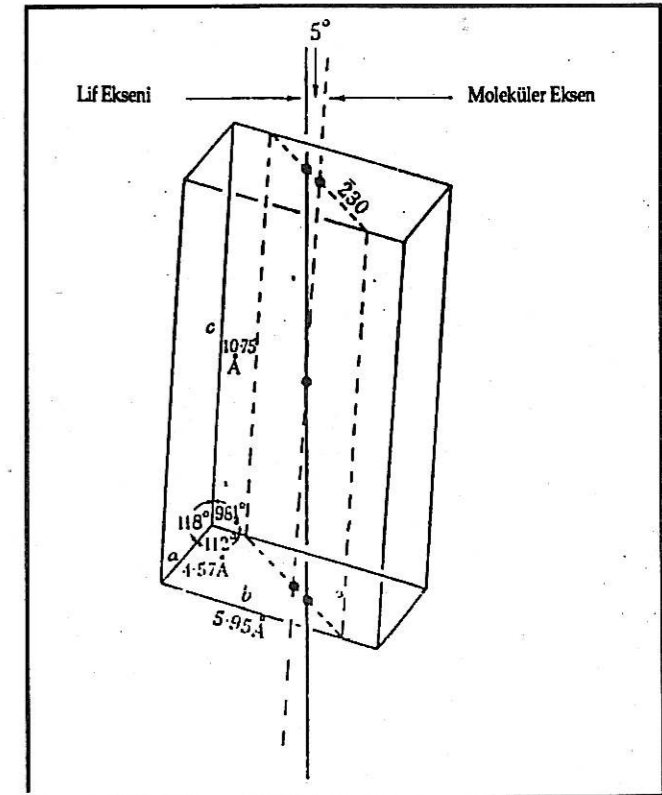
### 1.GİRİŞ

Poliyeten tereftalat liflerinin yapısal karakterizasyonu yapı ve lif özellikleri arasındaki ilişkinin iyi bir şekilde incelenmesiyle ortaya konabilir. Bu sayede liflerin elastik özelliklerinin yani uygulanan kuvvete tepkileri sonucu meydana gelen uzama, eğilme ve burulma deformasyonlarının incelenmesi mümkündür. Bu incelemeler son ürünün yani iplik veya kumaşın özelliklerinin ve işlemler sırasında liflerin davranışının tahminlenmesinde önemli katkılar sağlayacaktır, zira liflerin fiziksel özellikleri hakkındaki sınırlı bilgi ipliklerin ve

kumaşların özelliklerinin anlaşılmasında temel olmakla birlikte yeterli değildir.

PET polyester liflerinin eritilme ile üretilmesinde ekstrüzyon sıcaklığı, eriyik intrinsik viskozitesi, besleme ve sarım hızı ana değişkenlerdir. Mukavemet, uzama, çekme ve boyanabilirlik gibi liflerin kullanım açısından önemli olan özellikleri yönlenme ve kristallilik gibi yapısal parametrelerce belirlenir. Bu parametreler ise liflerin üretimi sırasında etken olan yukarıda sayılan değişkenlerle ilgilidir. Örneğin liflerde moleküllerin yönlenmesiyle daha düzenli bir yapı oluşacak, kristallenme derecesi artacaktır. Düzenli bir yapı daha sıkı moleküller yerleşimi gerektireceğinden komşu moleküller arasındaki vander waals çekim kuvvetleri daha etkili olacak ve lifin mukavemeti artacaktır. Bunun yanı sıra lif parlaklığı artacak, fakat esneklik azalacaktır. Yönlenme ile lifin nem çekme (absorplama) özelliği de azalacaktır. Ayrıca liflerin kimyasal maddelere karşı dayanıklılığı da artacaktır.

Yüksek çekim oranına sahip liflerde molekül zincirleri yani birim hücreler birbirlerine ve lif eksenine paraleldirler. Birim hücrenin uzun kenarı lif eksenine paraleldir. 210°C'de termofikse edilmiş polyester liflerinin x-ışını difraksiyonu ile incelenmesinden birim hücrenin eksenine lif eksenine arasındaki bu yönlenme açısının yaklaşık 5°C olduğu görülmüştür (Şekil 1). Ayrıca polarize mikroskop ile polyester liflerinin incelenmesinden çekim işlemi



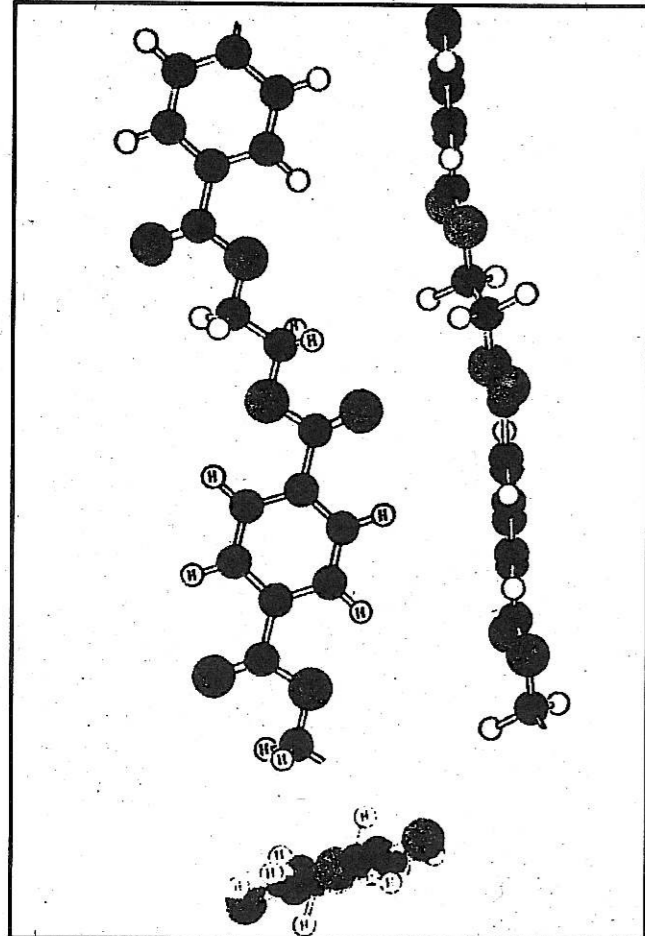
Şekil 1. Triklirik yapıda birim hücre [Daubeny, Bunn ve Brown, 1954].

görmemişlerde çift kırılmanın  $\sim 4.10^{-3}$  olduğu, yani iyi bir yönlenmenin olmadığını, buna karşılık çekim işlemi görmüşlerde ise çift kırılmanın  $\sim 200.10^{-3}$  olduğu, yani iyi bir yönlenmenin olduğu görülmektedir. Yüksek çift kırılmanın en büyük sebebi benzer halkalarının düzlemleri ile lif ekseninin yaklaşık olarak birbirlerine paralel olmasıdır.

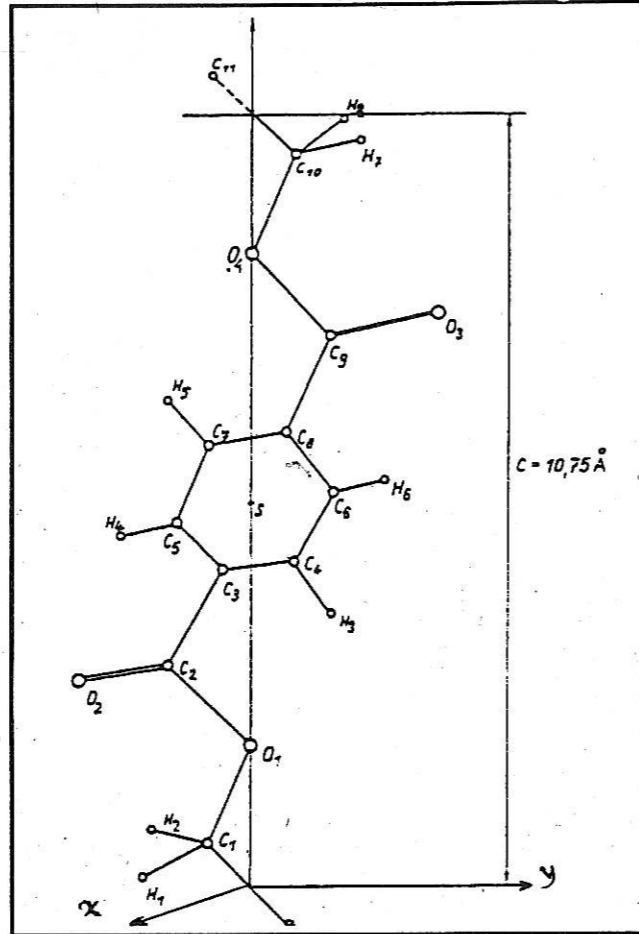
Bir lifte aksenal yönlenme derecesi nicel olarak yönlenme faktörlerinin tayin edilmesiyle belirlenir. Yönlenme faktörleri ise bize liflerin mekanik özellikleri, örneğin elastik (Young) modülleri hakkında bilgi verir.

### 2.1. Polyester Liflerinin Kristal Yapısı

Polyester liflerinin birim hücresi triklinik yapıya sahiptir. Bu hücrenin yapı parametreleri  $a=4.56 \text{ \AA}$ ;  $b=5,94 \text{ \AA}$ ;  $c=10,74 \text{ \AA}$ ;  $\alpha=98^{1/2^\circ}$ ;  $\beta=118^\circ$ ;  $\gamma=112^\circ$  dir (Şekil 1). Birim hücrelerin moleküler zincir eksenleri lif eksenine göre birkaç derece eğiktir. Diğer bütün hücreler birim hücre ile aynı derecede eğilmiştir. Liflerin gördükleri işleme göre bu eğim açısı değişmektedir. Birim hücreyi oluşturan monomerlerden birinin yapısı Şekil 2'de, atomların koordinat düzeni Şekil 3'de ve koordinatları Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 2. Polyester lifinin molekül konfigürasyonu [Daubeny, Bunn ve Brown, 1954].



Şekil 3. Polyester monomerinin üç boyutlu uzayda yerleşimi [Wlochowicz, Rabiej ve Jaroslaw, 1983].

Tablo 1. Triklinik yapıda polyester atomlarının koordinatları [Daubney, Bunn ve Brown, 1954].

Atomun pozisyonu	x (Å)	y (Å)	z (Å)
C <sub>1</sub>	0.21	-0.51	0.43
O <sub>1</sub>	0.24	0.00	1.88
C <sub>2</sub>	0.00	-1.08	2.55
O <sub>2</sub>	-0.45	-2.47	1.83
C <sub>3</sub>	0.00	-0.47	3.99
C <sub>4</sub>	0.46	1.01	4.71
C <sub>5</sub>	-0.53	-1.53	4.66
C <sub>6</sub>	0.53	1.53	6.095
C <sub>7</sub>	-0.46	-1.01	6.042
C <sub>8</sub>	0.00	0.47	6.76
C <sub>9</sub>	0.00	1.08	8.20
O <sub>3</sub>	0.45	2.47	8.92
O <sub>4</sub>	-0.24	0.00	8.87
C <sub>10</sub>	-0.21	0.51	10.32

Polyester monomerindeki bağların uzunlukları ve z eksenine ile yaptıkları  $\phi$  açıları ise Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Polyester monomerindeki bağların uzunlukları ve z eksenine ile yaptıkları açılar [Wlochowicz, Rabiej ve Jaroslaw, 1983]

Bağ Tipi	Bağ Uzunlukları	$\phi$ (°)	Cos $\phi$
C <sub>1</sub> -O <sub>1</sub>	1.44	19.90	0.9402688
O <sub>1</sub> -C <sub>2</sub>	1.34	47.43	0.6764847
C <sub>2</sub> -O <sub>2</sub>	1.27	104.74	-0.2544469
C <sub>2</sub> -C <sub>3</sub>	1.49	23.95	0.9138702
C <sub>3</sub> -C <sub>4</sub> (ar)*	1.35	76.65	0.2309486
C <sub>3</sub> -C <sub>5</sub> (ar)*	1.35	44.61	0.7118893
C <sub>4</sub> -C <sub>6</sub> (ar)*	1.35	20.93	0.93400
C <sub>7</sub> -C <sub>8</sub> (ar)*	1.35	76.65	0.2309486
C <sub>6</sub> -C <sub>8</sub> (ar)*	1.35	44.48	0.7135242
C <sub>5</sub> -C <sub>7</sub> (ar)*	1.35	20.985	0.9336744
C <sub>8</sub> -C <sub>9</sub>	1.49	23.95	0.9138702
C <sub>9</sub> -O <sub>3</sub>	1.27	75.26	0.2544469
C <sub>9</sub> -O <sub>4</sub>	1.34	47.43	0.6764847
O <sub>4</sub> -C <sub>10</sub>	1.44	19.90	0.9402688
C <sub>1</sub> -H <sub>1</sub>	1.09	56.30	0.5548374
C <sub>1</sub> -H <sub>2</sub>	1.09	102.48	-0.2161169
C <sub>10</sub> -H <sub>7</sub>	1.09	102.48	-0.2161169
C <sub>10</sub> -H <sub>8</sub>	1.09	77.52	0.2161169
C <sub>4</sub> -H <sub>3</sub>	1.09	77.52	0.2161169
C <sub>4</sub> -H <sub>3</sub>	1.09	140.28	-0.7692058
C <sub>7</sub> -H <sub>5</sub>	1.09	39.72	-0.7692058
C <sub>5</sub> -H <sub>4</sub>	1.09	99.525	-0.16554813
C <sub>6</sub> -H <sub>6</sub>	1.09	80.475	0.1654813

\* ar = Aromatik Bağ

Monomerlerin triklinik yapıda yerleşimi aşağıdaki Şekil 4'deki gibi olmaktadır. Monomerin boyutları Tablo 3'de verilen atomlar yardımı ile hacimli modele göre oluşturduğumuzda monomer ve birim hücre Şekil 5 ve 6'daki görünüşleri almışlardır.

Birim hücrenin hacmi V,

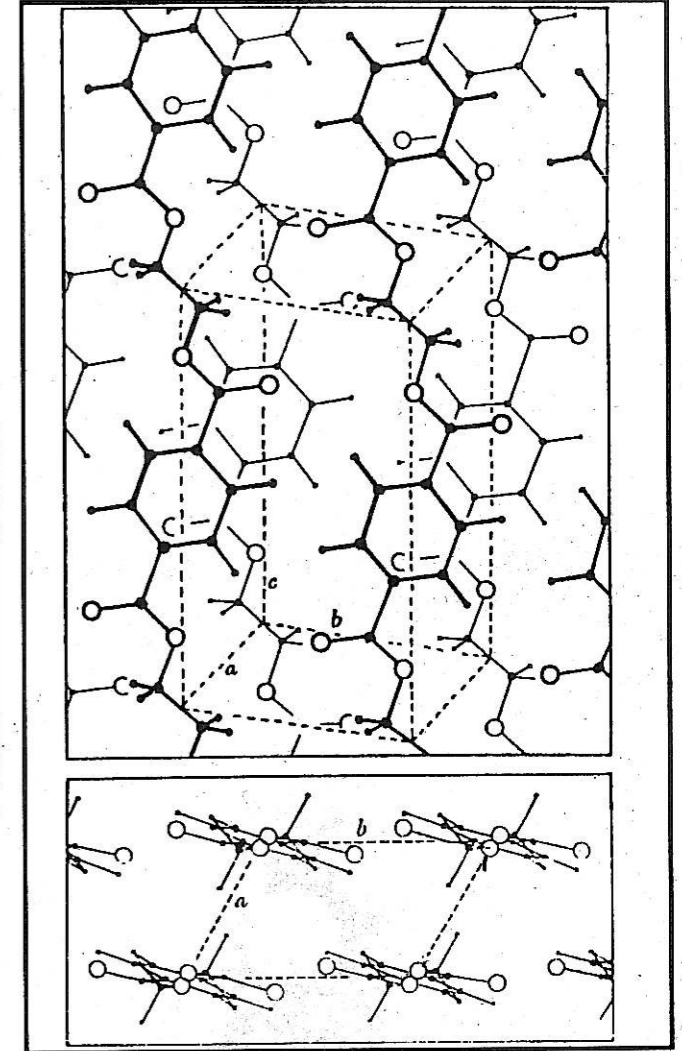
$V = abc \sqrt{1 - \cos^2 \alpha - \cos^2 \beta - \cos^2 \gamma + 2 \cos \alpha \cos \beta \cos \gamma}$  denklemleri ile hesaplanır. Düzlemler arasındaki mesafeler

$$d_{hkl} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{h}{a}\right)^2 \left| \begin{array}{ccc} \cos \gamma & \cos \beta & 1 \\ 1 & \cos \alpha & \cos \gamma \\ \cos \beta & \cos \alpha & \cos \gamma \end{array} \right| + \left(\frac{k}{b}\right)^2 \left| \begin{array}{ccc} 1 & \cos \alpha & \cos \gamma \\ \cos \gamma & 1 & \cos \alpha \\ \cos \beta & \cos \alpha & \cos \gamma \end{array} \right| + \left(\frac{l}{c}\right)^2 \left| \begin{array}{ccc} 1 & \cos \alpha & \cos \gamma \\ \cos \gamma & 1 & \cos \alpha \\ \cos \beta & \cos \alpha & \cos \gamma \end{array} \right|}}$$

denklemleri ile ve düzlemler arası açılar ( $\phi$ ) ise,

$$\cos \phi = \frac{d_1 d_2}{V} [b^2 c^2 \sin^2 \alpha h_1 h_2 + a^2 c^2 \sin^2 \beta k_1 k_2 + a^2 b^2 \sin^2 \gamma l_1 l_2]$$

$+ a^2 bc (\cos \beta \cos \gamma - \cos \alpha) (k_1 l_2 + k_2 l_1) + ab^2 c (\cos \gamma \cos \alpha - \cos \beta) (l_1 h_2 + l_2 h_1) + abc^2 (\cos \alpha \cos \beta - \cos \gamma) (h_1 h_2 + h_2 k_1)$  denklemleri ile hesaplanır. Denklemlerde verilen (hkl) indisleri Miller indisleridir.



Şekil 4. Monomerlerin triklinik yapıda yerleşimi [Daubeny, Bunn ve Brown, 1954]. O - Oksijen, H - Hidrojen Atomları, C - Karbon

### 2.2. Herman Kristalin Yönlenme Faktörlerinin ve Optik Yönlenme Faktörlerinin Çift Kırılma Ölçümleri Yardımı İle Hesaplanması ve Elastik Modül (Young modülü) Tayini

Bir lifteki aksenal yönlenme derecesi yani lif eksenine birim hücre veya kristalitler arasındaki  $\theta$  açısından Herman'ın kristalin yönlenme faktörü [Varma, Agarwal, Varma, 1986; Gupta, Kumar 1979],

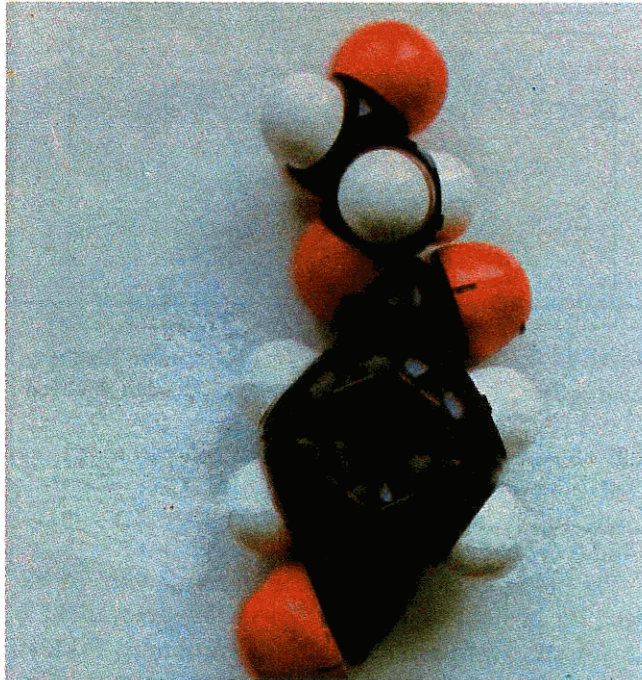
$$f_c = \frac{1}{2} (3 \langle \cos^2 \theta \rangle - 1) = 1 - \left(\frac{3}{2}\right) \langle \sin^2 \theta \rangle$$

denklemleri ile verilir. Burda  $f_c$  Herman kristalin

**Tablo 3.** Hacimli modele göre oluşturulan monomerlerin ve birim hücrenin oluşturulmasında kullanılan atom modellerinin verileri. [Leybold-35510]

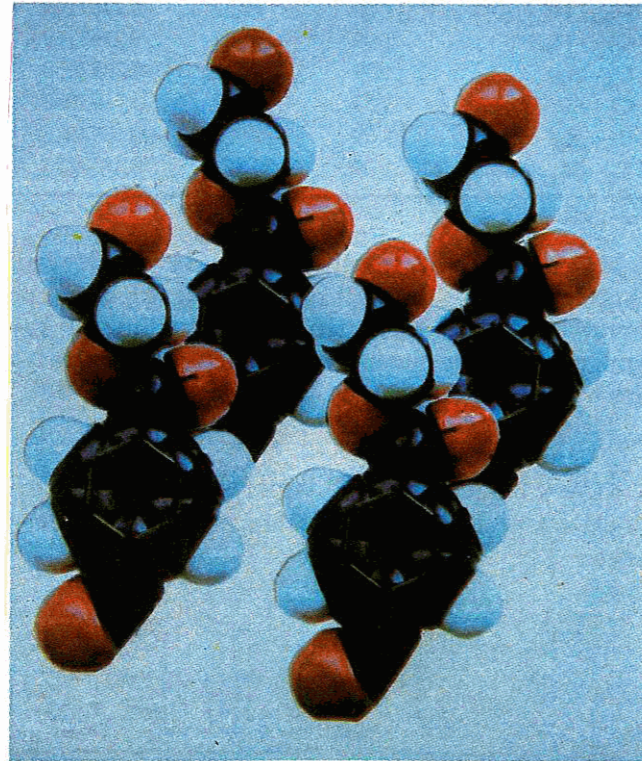
İsim	Atom Sembolü	Görünüş	Etkin yarı çap $r_{\sigma} / r_{\pi}$	Atomun model yüksekliği h	Değerlik açıları $\alpha; \beta; \gamma; \sigma$
Hidrojen	H—		$r_{\sigma} = 1,5 \text{ cm}$	$h = 1,8 \text{ cm}$	
C - alifatik			$r_{\sigma} = 1,9 \text{ cm}$	$h = 3,1 \text{ cm}$	$\alpha = \beta = \gamma = \sigma = 110^{\circ}$
C - etilen			$r_{\sigma} = 1,9 \text{ cm}$ $r_{\pi} = 2,4 \text{ cm}$	$h1 = 3,1 \text{ cm}$ $h2 = 4,8 \text{ cm}$	$\alpha = \beta = \gamma = 120^{\circ}$
C - aromatik			$r_{\sigma} = 1,9 \text{ cm}$ $r_{\pi} = 2,4 \text{ cm}$	$h1 = 3,1 \text{ cm}$ $h2 = 4,8 \text{ cm}$	$\alpha = \beta = \gamma = 120^{\circ}$
O - karbonil			$r_{\sigma} = 1,8 \text{ cm}$ $r_{\pi} = 2,4 \text{ cm}$	$h1 = 2,6 \text{ cm}$ $h2 = 4,8 \text{ cm}$	
O - eter			$r_{\sigma} = 1,9 \text{ cm}$	$h = 2,9 \text{ cm}$	$\alpha = 109^{\circ}$

yönlenme faktörü,  $\langle \cos^2\theta \rangle$  ve  $\langle \sin^2\theta \rangle$  ifadeleri verilen kristal eksenini ile lif eksenini arasındaki açının kosinüsü ve sinüsünün karelerinin ortalamalarını göstermektedir.



**Şekil 5.** Hacimli modele göre elde edilmiş olan monomerin görünüşü.

Herhangi bir çekim oranında çift kırılma ( $\Delta n$ ) ile maksimum çift kırılma ( $\Delta n_0 = 0,210$ ) arasındaki ilişki [Biswas, Sengupta, Basu, 1986]



**Şekil 6.** Birim hücreye monomerlerin yerleştirilmesi ile elde edilmiş olan görünüşü.

$$I_4 = \frac{2}{3} \left( 1 - \frac{\Delta n}{\Delta n_0} \right)$$

denkleminde verilmektedir. Burada  $I_4$ ,  $\theta$ 'ya bağlı bir sabittir. Bu sabit

$$I_4 = \langle \sin^2\theta \rangle$$

denkleminde ifade edilmektedir. [Biswas, Sengupta, Basu, 1986].

Çift kırılması ölçülmüş lifler için yukarıda verilen üç denklem yardımı ile Herman kristalin yönlenme faktörü  $f_c$  hesaplanabilir.  $I_4$  sabiti  $f_c$  denkleminde yerine konulursa,

$$f_c = \frac{\Delta n}{\Delta n_0}$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitlik sayesinde Herman kristalin yönlenme faktörünü yaklaşık olarak hesaplayabiliriz.

Ayrıca optik yönlenme faktörü  $f_o$  aşağıdaki denklem kullanılarak çift kırılma ve yoğunluk ölçümlerinden hesaplanabilir [Varma, Agarwal, Varma, 1986].

$$f_o = \frac{\Delta n}{\Delta n_0} \cdot \frac{\rho_c}{\rho}$$

Burada  $\rho_c$  tamamen kristalin örneğin yoğunluğu ve  $\rho$  incelenen örneğin deneysel olarak ölçülen yoğunludur. Bu eşitlikte  $f_c$ 'yi yerine koyarsak daha kullanışlı olan eşitliği elde ederiz. Genel olarak  $\rho_c = 1,455 \text{ gr/cm}^3$  olarak alınmaktadır.

$$f_o = f_c \cdot \frac{\rho_c}{\rho}$$

Bulunan kristalin yönlenme faktörünün doğruluğunun kontrolü, mekaniksel ve optiksel incelemelerin birleştirilmesi için kristalin yönlenme faktöründen yararlanılarak bulunan elastik (Young) modülü [Biswas, Sengupta, Basu, 1986],

$$(E)^{-1} = I_1 (S_{11} + S_{33} - Z) + I_4 (Z - 2S_{33}) + S_{33}$$

eşitliği ile verilmiştir. Burada  $I_1 = \langle \sin^4\theta \rangle$ ,  $S_{11}$ ,  $S_{33}$  ve  $Z$  birer sabittir. Literatürde PET lifleri için  $S_{11} = 0,80$ ;  $S_{33} = 0,055$ ;  $Z = 0,15 \text{ GPa}$  olarak verilmiştir [Biswas, Sengupta, Basu, 1986].

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Yapılan çalışmada Türkiye'de üretilen düz ve POY polyester filament ipliklerinin çift kırılma ölçümlerinden yararlanılarak hesaplanan kristalin yönlenme faktörü, optik yönlenme faktörü ve elastik (Young) modülü değerleri Tablo 4'de verilmiştir.

### 4. SONUÇ

Elde edilen yönlenme faktörü değerlerinden yönlenme faktörünün değeri arttığı Young modülünün arttığı görülmektedir. Ayrıca Young modülü ile çift kırılma değerleri yardımıyla bulunan  $I_1$ ,  $I_4$ ,  $S_{11}$ ,  $S_{33}$  ve  $Z$  sabitleri arasındaki ilişkiyi gösteren eşitliklerden elde edilen "Young" modülü sonuçlarının

**Tablo 4.** Türkiye'de üretilen düz ve POY polyester filament ipliklerinin bazı yönlenme faktörleri ve elastik (Young) modülleri.

Lif Numarası (Denye)	Herman Kristalin Yönlenme Fak. ( $f_c$ )	Optik Yönlenme Fak. ( $f_o$ )	Young Mod. E . 10 <sup>10</sup> (dyn/cm <sup>2</sup> )	
			Teorik	Deneysel
			<b>Düz iplik lifleri</b>	
2,70	0,77	0,81	12,82	14,62
4,09	0,59	0,62	8,40	12,32
4,69	0,59	0,62	8,40	10,33
3,10	0,74	0,78	12,05	11,97
4,80	0,58	0,61	8,26	7,11
2,92	0,78	0,82	13,16	9,14
<b>POY Lifleri</b>				
7,50	0,12	0,13	3,11	1,62
4,89	0,14	0,15	3,23	1,72
4,60	0,15	0,16	3,29	1,71
7,57	0,12	0,13	3,11	1,18
4,18	0,16	0,17	3,34	1,33
7,79	0,12	0,13	3,11	1,64
6,90	0,13	0,14	3,17	1,49
7,60	0,12	0,13	3,11	0,97
7,70	0,12	0,13	3,11	1,02
6,76	0,11	0,12	3,06	1,51
4,34	0,16	0,17	3,34	1,26

düz iplikleri için fotoğraftan alınan yük - uzama eğrilerinden hesaplanan "Young" modülü değerleri ile hemen hemen aynı değerlerde oldukları görülmüştür. Buradan da liflerin çift kırılmalarının ölçülmesi ile liflerin kristalit yönlenmesi, elastik (Young) modülleri hakkında pratik bir bilgi verilebileceği görülmüştür.

### KAYNAKÇA

- ALEXANDER, L.E. 1969. X-Ray Diffraction Methods in Polymer Science, John Wiley & Sons, Inc., New York. London Sydney, Toronto
- BISWAS, P.K., SENGUPTA, S. and BASU, A.N. 1986. Mechanical properties of oriented fibres of semicrystalline polymers based upon orientation function from optical properties Colloid & Polymer, 264, 128-130.
- BOZDOĞAN, F. 1989 Türkiye'de üretilen Polyester liflerinden Elastik Özelliklerle Kristal Yapı Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi. Doktora Tezi.
- DAUBENY R., DE P., BUNN C.W., BROWN C.J., 1954. "The crystal structure of Polyethylene terephthalate" Proc. Roy. Soc. A, 226, 531.
- GUPTA, V.B. and KUMAR, S., 1979. "Determination of Crystallite Orientation in Polyethylene Terephthalate Fibers" Text. Res. J., July, 405.
- KLUG, H.P., ALEXANDER, L.E., 1974. X-Ray Diffraction Procedures for Polycrystalline and Amorphous Materials. John Wiley & Sons, Inc, New York. London Sydney, Toronto.
- LEYBOLD-35510. Set of Parts, for Assembling Crystal Lattice Models.
- VARMA, D.S. AGARWAL, R. and VARMA I.K. 1986 "Poly (Ethylene Terephthalate)/Poly (alkylene Terephthalate) copolyester Fibers: Mechanical and Physical Properties" Text. Res. J. June, 364.
- WLCHOWICZ, A., RABIEJ, S. and JANICKI, J., 1983 "Determination of the Birefringence of an Ideal Polyester Fiber (PET) with Regard to the Intermolecular Interactions." J. Appl. Polym. Sci., 28-1335.