

Some of the Important Physical Properties of the PET-Polyester Fibres Produced in Turkey

Faruk BOZDOĞAN

Dr.

Ege Univ.Faculty of Engineering Textile Eng.Dept.

Güngör BAŞER

Prof.Dr.

Ege Univ.Faculty of Engineering Textile Eng.Dept.

The physical properties, which are important for the textile use, of the PET polyester fibres produced in Turkey were investigated. They were namely the elastic properties like tensile strength, elongation at break, tensile, bending and torsional moduli, and the properties related to the inner structure such as density, melting point, viscosity, birefringence and crystallinity.

Samples of PET - polyester fibres from POY and flat (straight filament) yarns of six main producers of Turkey were used for determinations. The degree of crystallinity was estimated on the basis of the density measurements.

It was found that the main physical properties of the polyester fibres from POY and flat yarns produced in Turkey were similar to those produced elsewhere except that slightly lower young modulus and crystallinity in both POY and flat yarns were found.

1. INTRODUCTION

About 20 % of the world fibre production is comprised of polyester fibre production which is around 9 million tons per year. Because of the limitations in increasing the natural fibre production of the world, it is expected that the man-made fibre production will maintain its annual growth trend of 4-6 %. Thus the investigation of the properties and prospects of the polyester fibres will be of continuous interest.

PET - polyester fibre production was started in Turkey in 1968 as the production of continuous filament yarn. There are now eight plants, six of which are in operation. Table 1 shows the production of polyester fibre in Turkey for the period 1984-1989. Polyester is also exported both as fibre and as continuous filament yarn from Turkey, whereas a certain amount is also imported each year. The foreign trade of polyester fibre of Turkey is also shown in Table 1 for the period 1984-1989. It is, therefore, important that the polyester fibre produced in Turkey

has the properties, which are important for textile use, comparable with those of produced elsewhere.

There has not, however, been no survey or detailed research published on the properties of the polyester fibres produced in Turkey. It has, thus, been the primary aim of this study [Bozdoğan, 1989] to determine its properties important for the textile use like the elastic properties as well as those properties relating the internal structure of the fibre.

The elastic properties determined were the tensile strength, elongation at break, the tensile, bending and torsional moduli. The structural properties determined were the melting point, density, viscosity and birefringence. The degree of crystallinity which affects both elastic and structural properties was calculated is based on the density measurements.

Polyester fibre is used in three forms, namely as continuous filament yarn texturized yarn and staple fibre. The areas of use of polyester fibre both as flat (straight) filament and texturized yarn have extended greatly in recent years. As a direct consequence of this, the flat continuous filament yarn production and exports have increased greatly in Turkey in recent years. It was, thus, thought proper to investigate first the continuous filament polyester fibre in the form of flat yarn and POY (partially oriented yarn), since the POY is the first stage in the production of both flat filament or texturized yarn.

2. EXPERIMENTAL

2.1. Materials Used for Measurements

Samples of flat filament yarn and POY were obtained from six producers, namely Polylen, Sifaş, Sönmez Filament, Sönmez A.S.F., Nergis in Bursa and Sasa in Adana. No samples could be obtained from Sancak Tül in İstanbul and MNS in Adana, because they have almost stopped their production. The technical specifications of these sample yarns are given in Tables 2 and 3 for POY and flat yarn respectively.

2.2. Methods of Measurements

2.2.1. Tensile Test

The tensile testing of the fibres were carried out on Textechno Fafegraph equipped with a computer. The load-deformation curves were obtained using 2 cm test length and a breaking time of 20 sec. 16 measurements were made for each yarn taking specimens from different regions of each sample yarn.

2.2.2. Bending Test

The bending tests were carried out on yarns using the ring loop method as described by Carlene (1950). An experimental set up as shown in Plate 1 was prepared to project the shade images of the yarn loops on a screen. The magnified images of the loops were projected on the screen along with that of graduated glass disc placed in front of the loop as shown in Plate 2. A magnification factor of 21 was obtained with a ring diameter of 1,6 cm. The weights used to distort the rings varied between 3,6 mg and 8,3 mg according to the denier of the yarns used.

The bending rigidity of the fibre was calculated from that of the sample yarn which was assumed to

Türkiye'de Üretilen PET - Polyester Liflerinin Bazı Önemli Fiziksel Özellikleri

Faruk BOZDOĞAN
Dr.

Ege Üniversitesi Müh.Fak.Teks.Müh.Böl. İZMİR
Güngör BAŞER

Prof. Dr.
Ege Üniversitesi Müh.Fak.Teks.Müh.Böl. İZMİR

Türkiye'de üretilen PET polyester liflerinin tekstil olarak kullanımında önemli olan fiziksel özellikleri incelenmiştir. Bunlar çekme mukavemeti, kopma uzaması, uzama, eğilme ve burulma modülleri gibi elastik özellikler ile yoğunluk, erime noktası viskozite, çift kırıcılık ve kristallik derecesi gibi iç yapı ile ilgili özelliklerdir.

Ölçümler için Türkiye'nin altı belli başlı üreticisinden sağlanan POY ve düz PET - polyester iplik lif örnekleri kullanılmıştır. Kristallik derecesi yoğunluk ölçmelerine dayalı olarak belirlenmiştir. Türkiye'de üretilen POY ve düz ipliklerden alınan polyester liflerinin bellibaşlı özelliklerinin, hem POY hem de düz iplikte biraz daha düşük Young modülü ve kristallik derecesi değerleri dışında başka ülkelerde üretilenlere benzer olduğu bulunmuştur.

1. GİRİŞ

Dünya lif üretiminin yaklaşık %20'sini yıllık 9 milyon ton civarında olan polyester lif üretimi oluşturur. Dünya doğal lif üretiminin artırılmasındaki sınırlamalar nedeniyle, insan yapısı lif üretiminin yıllık %4 - 6 olan artış eğilimini sürdürmesi beklenmektedir. Bu bakımdan polyester liflerinin özelliklerinin ve gelecekteki olanaklarının incelenmesi sürekli ilgi konusu olacaktır.

Türkiye'de PET polyester lif üretimi devamlı lif ipliği olarak 1968'de başlamıştır. Şu anda altısı çalışır durumda sekiz kuruluş bulunmaktadır. Tablo 1 1984 - 1989 dönemi Türkiye polyester lif üretimini göstermektedir. Türkiye aynı zamanda hem lif hem de devamlı filament ipliği olarak polyester ihraç etmekte, buna karşın her yıl bir miktar da ithal etmektedir. Tablo 1'de aynı zamanda 1984 - 1989 döneminde Türkiye'nin polyester lif dış ticareti gösterilmiştir. Dolayısıyla, Türkiye'de üretilen pol-yester lifinin tekstil kullanımı açısından önemli olan özelliklerinin başka yerde üretilenlerinki ile karşılaştırılabilir düzeyde olması önemlidir.

Tablo 1. Türkiye'de Polyester Lif ve İplik Üretimi, İhracatı ve İthalatı (Ton).

Table 1. Polyester Fibre and Yarn Production, Export and Import of Turkey (Tons).

Yıllar Years	1984	1985	1986	1987	1988	1989 Tahmini 1989 estimation
Üretim Production						
Lif / Fibre	46128	37.500	39000	48100	44000	50000
İplik / Yarn	50823	59.000	61000	73300	74525	75000
İhracat Export						
Lif / Fibre	24770	13.700	13814	17600	18259	20000
İplik / Yarn	7889	19.700	24289	29600	34737	32000
İthalat Import						
Lif / Fibre	3800	5423	9183	9400	21454	20000
İplik / Yarn	5138	3445	4529	6200	10539	8000
Kaynak / Reference : DİE						

Bununla birlikte, Türkiye'de üretilen polyester liflerinin özellikleri hakkında herhangi bir inceleme ya da yayınlanmış ayrıntılı bir araştırma olmamıştır. Bu açıdan, elastik özellikler yanında lifin iç yapısına ilişkin özellikler gibi tekstil kullanımı için önemli olan özelliklerinin incelenmesi bu çalışmanın [Bozdoğan, 1989] öncelikli amacı olmuştur.

Saptanan elastik özellikler, çekme mukavemeti, kopma uzaması, uzama, eğilme ve burulma modülleri olmuştur. Saptanan yapısal özellikler ise erime noktası, yoğunluk, viskozite ve çift kırıcılıktır. Hem elastik hem de yapısal özellikleri etkileyen kristallik derecesi ise yoğunluk ölçümlerine bağlı olarak hesaplanmıştır.

Polyester lifi devamlı lif ipliği, tekstüre iplik ve kesikli lif olmak üzere üç biçimde kullanılır. Polyester lifinin hem düz filament ipliği hem de tekstüre iplik olarak kullanım alanı son yıllarda büyük ölçüde genişlemiştir. Bunun doğrudan bir sonucu olarak, Türkiye'de düz filament iplik üretim ve ihracatı da büyük ölçüde artmıştır. Bu nedenle, öncelikle devamlı filament polyester lifinin düz iplik ve POY (kısmi yönlendirilmiş iplik) olarak incelenmesi uygun görülmüştür; zira POY, düz filament veya tekstüre iplik üretiminde ilk aşamadır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Ölçümlerde Kullanılan Materyaller

Bursa'da Polylen, Sifaş, Sönmez Filament, Sönmez A.S.F., Nergis ve Adana'da Sasa olmak üzere altı üreticiden POY ve düz filament iplikleri sağlanmıştır. İstanbul'da Sancak Tül ve Adana'da MNS'den örnek elde edilememiştir; çünkü bu firmalar üretimlerini hemen hemen durdur-

Table 2. POY fibres investigated and their technical specifications
Tablo 2. Çalışmada incelenen POY lifleri ve teknik özellikleri

List No Sıra No	Namo of Plant Fabrika İsmi	Colour of Yarn İplik Rengi	Yarn Count (penier) İplik Num. (Denye)	Number of filament Filament Sayısı	Approximate winding on speed m / sec. Yaklaşık Sarım Hızı (m / dak)
1	A	Yarımat	247,50	33	3200
2	B	Yarımat	156,48	32	3500
3	B	Yarımat	147,20	32	3350
4	B	Yarımat	242,24	32	3500
5	C	Yarımat	117,04	28	3200
6	C	Yarımat	264,99	34	3097
7	D	Parlak	234,60	34	3200
8	D	Yarımat	258,40	34	3200
9	E	Yarımat	261,80	34	3300
10	F	Parlak	243,36	36	3500
11	F	Yarımat	156,09	36	3400

be the sum of the bending rigidities of the fibres, given by the formula

$$G = \frac{k\omega l^2 \cos \theta}{\tan \theta} \dots\dots\dots(1)$$

where G is the bending rigidity of the yarn l is the loop circumference, ω is the weight, k is a constant equal to 0,0047 and θ is given by θ= 493 d/l, d being the deflection of the ring. The bending modulus was calculated by dividing the rigidity by the polar moment of inertia of the fibre cross sectional area.

2.2.3. Torsional Test

The torsional rigidity of the fibres were measured on the principle of torsional pendulum using an experimental set up arranged, shown in Plate 3. The torsional pendulum consisted of a light rod of wire held horizontally at the end of the fibre specimen of 1 cm. length which was attached to the wire rod by a piece of wax of 3 mg weight and hung above as shown in Plate 4. In the preparation of the experimental set up and of the specimens the works of Meredith (1954) and Owen (1965) were followed.

A set of wire rods of different dimensions and weight which would give a tension of 0.05-0.2 g/tex in the polyester fibres as proposed by Meredith (1954), were prepared to be used for the sample fibres of varying denier.

The oscillation periods of 10 specimens were de-

termined by repeating the experiment 15 times on the same fibre by giving a torsional angle of 1 rad/cm to the wire rod. The torsional rigidities, Γ, were calculated by the formula

$$\Gamma = \frac{4\pi^2 I}{T^2} \dots\dots\dots(2)$$

where T is the period of oscillation and I is the moment of inertia of the rod given as 1/12 m (3 R²+L²). Here m is the mass, R is the radius and L is the length of the rod.

2.2.4. Density Measurement

The densities of the sample fibres were measured on a Techne mark density gradient column according to Zimmer, 877-07016-4. A photograph of the column used is shown in Plate 5. A mixture of 430 cm³ n-heptan of 0,73 g/cm³ density with 570 cm³ CCl₄ of 1,6 g/cm³ density was prepared which gave 1,2 g/cm³ density of the mixture solution. The instrument was calibrated and used at 23±1 °C water temperature.

2.2.5. Viscosity Measurement

The viscosities of the sample fibres were meas-

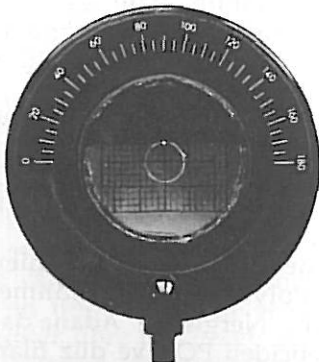


Plate 2. The Yarn Loop Seen Through the Graduated Glass Disc.
Resim 2. Taksimatlı Cam Disk İçinden Görülen İplik Halkası.

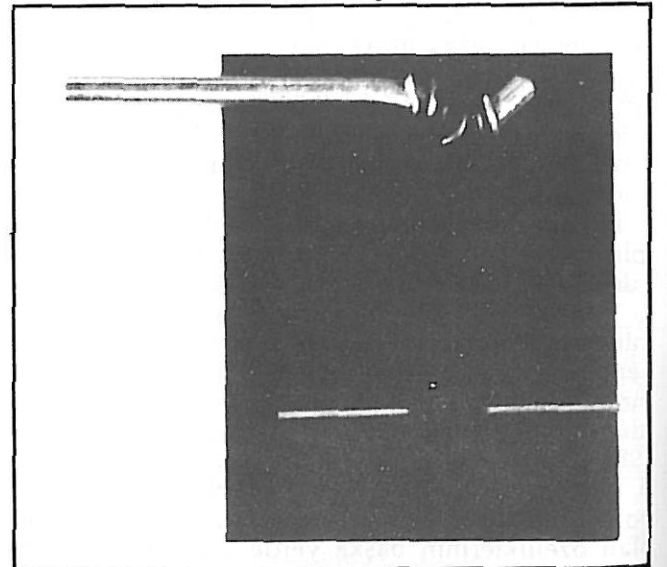


Plate 4. Torsional Fibre Pendulum.
Resim 4. Lifte Oluşturulan Burulma Sarkacı.

Tablo 3. Çalışmada İncelenen Düz İplik Lifleri ve Teknik Özellikleri.
Table 3. Flat Yarn Fibres Investigated and Their Technical Specifications.

Sıra No List No	Fabrika İsmi Name of Plant	İplik Rengi Colour of Yarn	İplik Num. (Denye) Yarn Count (denier)	Filament Sayısı No. of filament	Yaklaşık Sarım Hızı (m / dak) Approximate winding on speed m / sec.	Termofiksaj sıcaklığı Headsetting Temperatür (° C)
1	A	Yarımat	89,16	33	800	160
2	A	Parlak	135	33	800	160
3	B	Yarımat	150,08	32	600	150
4	B	Mat	89,90	29	715	150
5	C	Parlak	144	30	637	170
6	C	Mat	69,96	24	708	170

muşlardır. Bu örneklerin teknik özellikleri sırasıyla POY ve düz iplik için Tablo 2 ve 3'de gösterilmiştir.

2.2. Ölçme Yöntemleri

2.2.1. Çekme Testi

Örneklerde çekme testi bilgisayarla donatılmış bir Textechno Fafegrafında yapılmıştır. Yük - deformasyon eğrileri 2 cm. test uzunluğu ve 20 sn. kopma zamanı uygulayarak elde edilmiştir. Her iplik için, test örneklerini her örnek ipliğin farklı bölgelerinden alarak 16 ölçüm yapılmıştır.

2.2.2. Eğilme Testi

İplikler üzerinde eğilme testleri Carlene (1950) tarafından açıklanan halka metodu kullanılarak yapılmıştır. İplik halkalarının gölge görüntülerini bir ekrana düşürmek için Resim 1'de görülen deney düzeneği hazırlanmıştır. Halkaların büyütülmüş görüntüleri halkanın önüne yerleştirilen ve Resim 2'de görülen taksimatlı cam diskinki ile birlikte ekrana yansıtılmışlardır. 1,6 cm halka çapı ile 21 büyütme faktörü elde edilmiştir. Halkaları deforme etmek için kullanılan ağırlıklar kullanılan iplik denyesine bağlı olarak 3,6 mg ile 8,3 mg arasında değişmiştir.

Lifin eğilme rijitliği, liflerin eğilme rijitliklerinin toplamı olduğu varsayılan ve

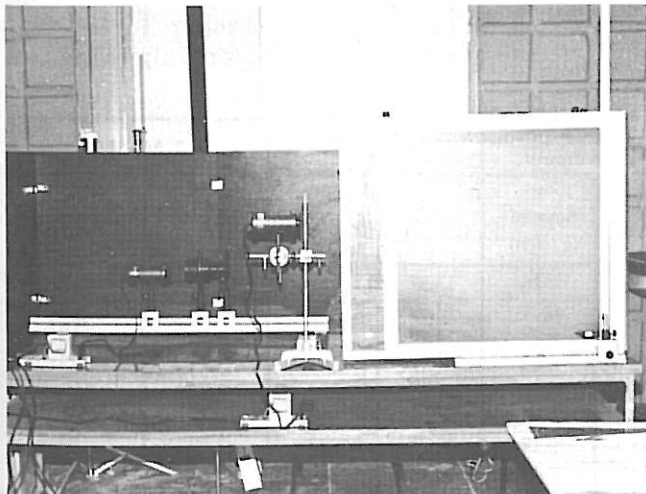
$$G = \frac{kwl^2 \cos \theta}{\tan \theta} \dots\dots\dots(1)$$

formülü ile verilen örnek ipliğin eğilme rijitliğinden hesaplanmıştır. Burada G ipliğin eğilme rijitliği, l halka çevresi, ω ağırlık, k 0,0047'ye eşit olan bir katsayı ve d halkanın deformasyonu olmak üzere $\theta = 493 d/l$ 'dir. Eğilme modülü, rijitliği lif kesit alanının kutupsal atalet momentine bölerek hesaplanmıştır.

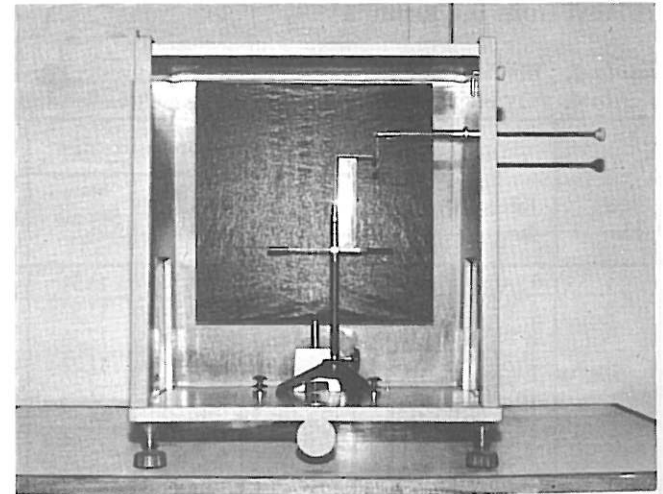
2.2.3. Burulma Testi

Liflerin burulma rijitliği Resim 3'de gösterildiği gibi düzenlenen bir deney düzeneği kullanarak burulma sarkacı prensibine göre ölçülmüştür. Burulma sarkacı, Resim 4'de gösterildiği gibi, 3 mg ağırlığında bir mum parçası ile tel çubuğa saptanan ve yukarıya asılan 1 cm. uzunluklu lif örneğinin ucunda yatay olarak tutulan hafif bir tel çubuktan oluşmaktadır. Deney düzeneğinin ve test örneklerinin hazırlanmasında Meredith (1954) ve Owen (1965) çalışmaları izlenmiştir.

Değişik denyelerde örnek liflerle kullanılmak üzere, Meredith (1954)'in önerdiği biçimde polyester lifine 0,05 - 0,2 g/tex ölçüsünde bir gerginlik verecek olan, değişik boyut ve ağırlıklarda bir tel çubuk seti hazırlanmıştır. Tel çubuğa 1 radyan / cm burulma



Resim 1. Eğilme Testi Deney Düzeneği.
Plate 1. Experimental Set Up for the Bending Test.



Resim 3. Burulma Testi Deney Düzeneği.
Plate 3. Experimental Set Up for the Torsion Test.

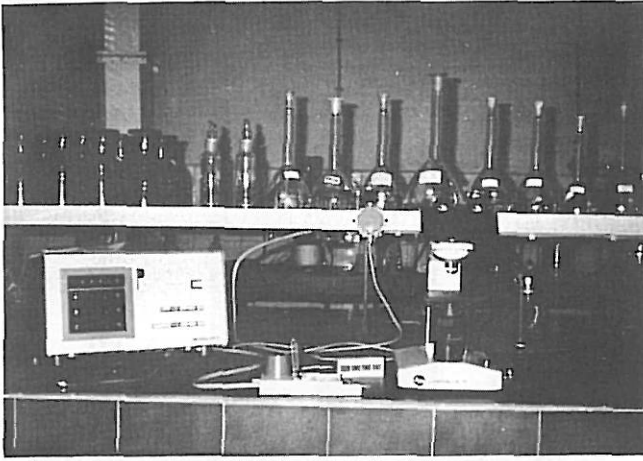


Plate 6. Experimental Set up for the Determination of the Melting Point.

Resim 6. Erime Noktası Tayini için Deney Düzenegi.

ured on an Oswald viscosimeter at 25 °C water bath by determining the flow rate at 1/10 sec. accuary 4 g samples were taken and dissolved in 50 ml of O-Chlorofenol at 100 °C the relative viscosity η_r was calculated by the formula

$$\eta = \bar{t} \cdot 0,089 \dots\dots\dots(3)$$

where \bar{t} was the average time of 3 measurements and the intrinsic viscosity η was read off the conversion table given in T 272 catalogue.

2.2.6. Determination of the Melting Point

The melting points of the sample fibres were measured according to Zimmer 877-07095-2 by using a Mettler FP 5 melting point determination apparatus fitted with a heater, a Dialux 20 EB microscope and with an atomotic stop button all shown in Plate 6.

2.2.7. Birefringence Test

The birefringence characteristics of the sample fibres were determined using a Wetzler SM - LUX - POL polarized microscope fitted with a special compensator (Plate 7). The birefringence index was calculated from the formula

$$\Delta n = \frac{T}{d} \dots\dots\dots(4)$$

where T is the phase difference and d is the fibre diameter.

2.2.8. Other Physical Tests

The moisture contents of the yarns were measured according to TS - 838. The fibre diameters were measured using a lanameter with 100 readings for each specimen. The linear densities of the fibres in denier were also determined by the cutting - and - weighing method described in DIN - 53812. Te oil content was determined by the solvent extraction method using 3-4 weight of specimen and Freon - 11 as the solvent.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Elastic Properties

The results of the tensile tests carried out on the Fafegraph are shown in Tables 4 and 5 or POY and flat yarn fibres respectively. The tables also include the young moduli calculated from the load - deformation curves obtained. As can be seen in Fig. 1. the load-deformation curves for the POY fibres show two distinct parts the first of which show a peak value and then a yield region until the curve picks up again. Thus two different young moduli were calculated being named as the initial and final moduli.

The results of the bending tests are sohwn in Tables 6 and 7 for POY and flat yarn fibres respectively. The results of the torsion tests are shown in Tables 8 and 9 likewise.

3.2. Structural Properties

The results of the density, viscosity, melting point and birefringence measurements are shown in Tables 10 and 11 together with the calculated values for the molecular weight, the degree of polimerization and crystallinity for POY and flat yarn fibres respectively. The density measurements were used as the basis for the calculation of crystallinity α_k by the formula

$$\alpha_k = \frac{d_k (d-d_a)}{d (d_k-d_a)} \cdot 100 \dots\dots\dots(5)$$

Table 4. The Results of the Tensile Test on POY Polyester Fibres

Tablo 4. POY polyester Liflerinde Yapılan Çekme Deneyi Sonuçları.

Sıra No	Fab. İsmi	Kopma yükü		Kopma uzaması		Kopma Mukavemeti		1. Modül		2. Modül	
		Ort. (g)	Stan. Sapma (g)	Ort. (%)	Stan. Sapma (%)	Ort. (g/den)	Stan. Sapma (g/den)	Ort. (g/den)	Stan. Sapma (g/den)	Ort. (g/den)	Stan. Sapma (g/den)
1	A	22,76	1,22	174,50	13,54	3,03	0,16	13,37	1,82	1,75	0,20
2	B	14,70	1,02	166,50	13,57	3,01	0,21	13,69	4,2	2,02	0,23
3	B	13,63	1,29	183,75	17,36	2,96	0,28	14,40	6,2	1,91	0,13
4	B	21,61	2,22	177,50	11,22	2,85	0,29	9,85	2,09	1,74	0,13
5	C	11,48	0,93	177,00	17,86	2,75	0,22	11,10	5,21	1,77	0,23
6	C	20,85	1,44	210,50	18,69	2,68	0,18	13,80	3,48	1,67	0,11
7	D	19,55	1,29	198,50	15,03	2,83	0,19	12,74	6,12	1,70	0,12
8	D	22,24	1,43	193,25	12,04	2,93	0,19	7,99	3,71	1,82	0,23
9	E	21,61	1,83	206,75	14,20	2,81	0,24	8,36	3,19	1,54	0,12
10	F	20,05	2,05	210,58	15,75	2,96	0,24	14,63	3,45	1,68	0,12
11	F	13,78	0,85	184,75	13,17	3,18	0,20	10,40	5,14	2,05	0,24

açısı vererek 10 örneğin salınım periyodları, deneyi aynı lifte 15 kez tekrarlayarak belirlenmiştir. Burulma rijitlikleri, Γ ,

$$\Gamma = \frac{4\pi^2 I}{T^2} \dots\dots\dots(2)$$

formülüne göre hesaplanmıştır. Burada T salınım periyodu ve I, çubuğun $1/12 m (3R^2 + L^2)$ olarak verilen atalet momentidir.

Burada ise m çubuğun kütlesi, R yarıçapı ve L uzunluğudur.

2.2.4. Yoğunluk Ölçümü

Örnek liflerin yoğunluk ölçümleri Techne marka bir yoğunluk gradienti kolonunda Zimmer, 877 - 07016-4'e göre ölçülmüştür. Kullanılan kolon Resim 5'de gösterilmiştir. $1.2 g/cm^3$ karışım çözeltisi yoğunluğu sağlayan $0,73 g/cm^3$ yoğunluklu $430 cm^3$ n-heptan'ın $1,6 g/cm^3$ yoğunluklu $570 cm^3 CCl_4$ ile olan bir karışımı hazırlanmıştır. Alet $23 \pm 1 ^\circ C$ su sıcaklığında kalibre edilmiş ve kullanılmıştır.

2.2.5. Viskozite Ölçümü

Örnek liflerin viskoziteleri bir Oswald viskozimetresinde $25 ^\circ C$ su banyosunda ve akış hızını $1/10$ sn duyarlıkla saptayarak ölçülmüştür. 4 g örnekler alınmış ve $100 ^\circ C$ 'de 50 ml O-Klorofenol'de çözülmüşlerdir. Bağıl viskozite η_r ,

$$\eta_r = \bar{t} / t_0 \dots\dots\dots(3)$$

formülünden hesaplanmıştır. Burada \bar{t} üç ölçümün ortalama zamanıdır ve intirisik vizkosite η , T 272 kataloğunda verilen dönüşüm tablosundan okunmuştur.

2.2.6. Erime Noktası Tayini

Örnek liflerin erime noktaları Zimmer - 877-07095-2'ye göre Resim 6'da birlikte gösterilen bir ısıtıcı, bir Dialux 20 EB mikroskop ve bir otomatik durdurma düğmesi ile donatılmış olan Mettler FP 5 erime noktası tayini aparatında ölçülmüştür.

2.2.7. Çift Kırılma Testi

Örnek liflerin çift kırılma karakteristikleri, özel bir kompansatörle donatılmış bir Wetzler SM - LUX - POL polarize mikroskobu (Resim 7) kullanılarak belirlenmiştir. Δn çift kırılma endisi

$$\Delta n = \frac{T}{d} \dots\dots\dots(4)$$

Tablo 5. Düz Polyester Liflerde Yapılan Çekme Deneyi Sonuçları.

Table 5. The Results of the Tensile Tests on Flat Polyester Yarn Fibres.

Sıra No	Fab. İsmi	Kopma yükü		Kopma Uzaması		Kopma mukavemeti		1. Modül (Young Mod.)	
		Ort. (g)	Stan. Sapma (g)	Ort. (%)	Stan. Sapma (%)	Ort. (g/den)	Stan. Sapma (g/den)	Ort. (g/den)	Stan. Sapma (g/den)
1	A	13,87	0,83	30,42	7,38	5,14	0,31	137,66	19,7
2	A	22,52	1,28	34,68	5,39	5,51	0,31	113,02	25,44
3	B	23,45	1,27	49,50	9,41	5,00	0,27	83,40	25,34
4	B	18,25	1,04	45,90	8,05	5,89	0,34	99,92	8,59
5	C	23,09	2,11	41,90	6,73	4,81	0,10	66,7	15,60
6	C	15,21	1,13	46,80	3,76	5,21	0,39	72,43	23,05

formülünden hesaplanmıştır. Burada T faz farkı ve d lif çapıdır.

2.2.8. Diğer Fiziksel Testler

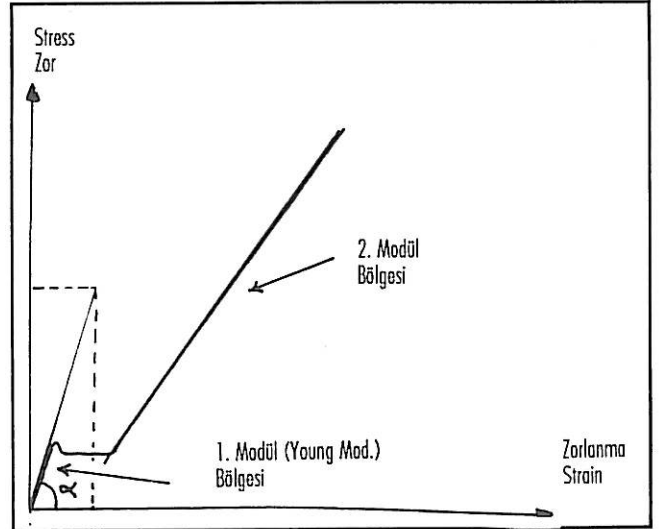
İpliklerin nem içerikleri TS - 838'e göre ölçülmüştür. Lif çapı her örnek için 100 ölçüm olmak üzere bir lanametre kullanarak ölçülmüştür. Liflerin denye cinsinden lineer yoğunlukları da DIN 53812'de açıklanan kesme ve tartma yöntemiyle belirlenmiştir.

Yağ içeriği çözücü ile ekstraksiyon metodu ile 3-4 g ağırlıkta örnek ve çözücü olarak Freon - 11 kullanılarak belirlenmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3.1. Elastik Özellikler

Fafegrafta yapılan çekme testlerinin sonuçları POY ve düz iplik lifleri için sırasıyla Tablo 4 ve 5'de gösterilmektedir. Tablolar elde edilen yük-deformasyon eğrilerinden hesaplanan Young modüllerini de içermektedirler. Şekil 1'de görüldüğü gibi, POY lifleri için yük-deformasyon eğrileri, ilki bir tepe noktası, daha sonra da eğri tekrar düzelineye kadar bir çökme bölgesi gösteren iki belirgin bölge göstermektedirler. Dolayısıyla birinci ve ikinci modül adı verilen iki farklı Young modülü hesaplanmıştır.



Şekil 1. POY Liflerinin Zor-Zorlanma Grafiği.
Fig. 1. Stress-Strain Curve for POY Fibres.

Table 6. The Results of the Bending Tests on POY Fibres
Tablo 6. POY Lifleri için Yapılan Eğilme Deneyi Sonuçları

List No. Sıra No.	Name of Plant Fabrika İsmi	Hanging load Askı Yüğü (mg)	Bending rigidity Eğilme rijitliği		Bending modulus Eğilme modülü	
			Mean Ort. $\times 10^{-3}$ (dyn-cm ²)	Standard deviation Standart Sapma $\times 10^{-3}$ (dyn-cm ²)	Mean Ort. $\times 10^{10}$ (dyn-cm ²)	Standard deviation Standart Sapma $\times 10^{10}$ (dyn-cm ²)
1	A	8,3	46,18	10,16	1,55	0,34
2	B	5,1	31,33	18,05	2,58	1,49
3	B	5,1	26,25	8,80	2,31	0,78
4	B	5,1	22,05	5,15	0,74	0,17
5	C	5,1	22,10	5,73	2,37	0,62
6	C	5,1	29,99	11,03	0,94	0,36
7	D	5,1	30,22	16,14	1,28	0,68
8	D	8,3	61,64	24,07	2,00	0,78
9	E	8,3	50,86	25,41	1,65	0,82
10	F	5,1	32,93	18,17	1,02	0,56
11	F	5,1	20,76	4,76	2,17	0,50

Table 8. The results of the torsion test on POY fibres
Tablo 8. POY lifleri için burulma deneyi sonuçları

List No. Sıra No.	Name of Plant Fabrika İsmi	Moment of inertia of rod Çubuk at. moment i (mg.cm ²)	Period of oscillation Salınım periyodu		Torsional rigidity Burulma modülü	
			Mean Ort. (sn)	Standard deviation Standart Sapma (sn)	Mean Ort. $\times 10^{10}$ (dyn-cm ²)	Standard deviation Standart Sapma $\times 10^{10}$ (dyn-cm ²)
1	A	69,096	6,49	0,433	1,103	0,138
2	B	42,766	8,35	0,439	1,005	0,101
3	B	42,766	9,08	0,382	0,905	0,080
4	B	69,096	6,48	0,654	1,081	0,183
5	C	31,233	5,64	0,487	2,123	0,329
6	C	69,096	6,74	0,622	1,003	0,172
7	D	50,314	6,14	0,617	1,145	0,220
8	D	69,096	6,19	0,547	1,180	0,190
9	E	69,096	6,35	0,409	1,109	0,142
10	F	50,314	5,83	0,458	0,918	0,142
11	F	31,233	6,17	0,577	1,729	0,270

where d_k is the density of fully crystallized polyester fibre, d_a is the completely amorphous polyester and d is the experimental value obtained.

3.3. Fibre Diameter, Fibre Denier, Moisture and Oil Contents

The physical properties which have appreciable effects on the elastic properties, namely the fibre diameter and denier, the moisture and oil contents are shown in Table 12 for both POY and flat yarn fibres together.

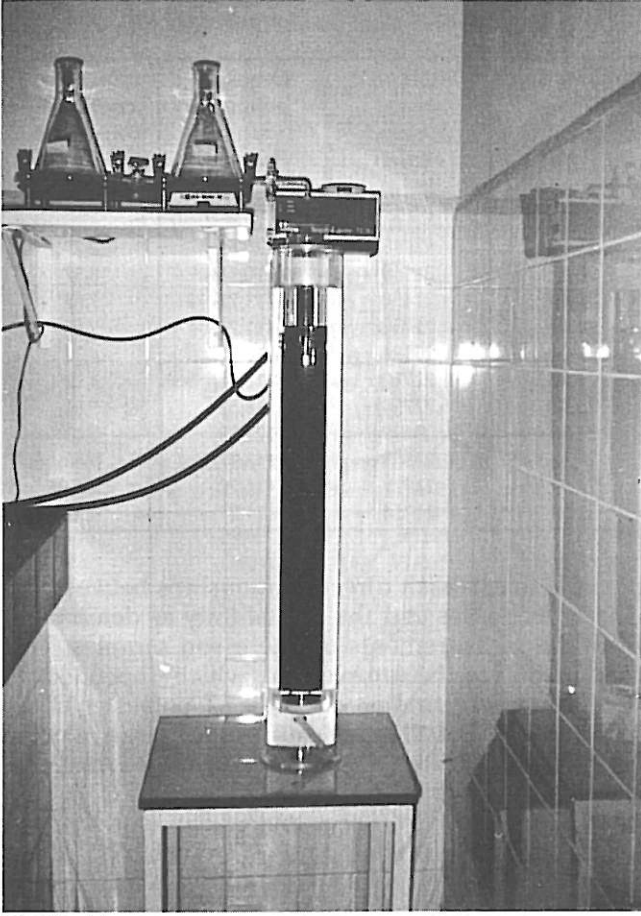
3.4. Statistical Analyses

Analyses of variance were carried out to establish whether the crystallinity was an effective factor for the tensile, bending and torsional moduli. The factor levels of crystallinity for POY fibres were established as six corresponding to the values of crystallinity 2.27, 4.52, 5.43, 7.58, 9.46 and 10.80. For flat yarn fibres five levels were established corresponding to the values 33.55, 35.69, 37.83, and 40.39. Tables 13 and 14 show the results of the analyses. It can be seen from the tables that the calculated values of F were higher in each case than the appropriate table values, indicating that crystallinity was effective on the elastic moduli as expected.

It was, however, not possible to find statistically significant correlation coefficients between crystallinity and elastic moduli. It was striking, though, to find a negative correlation coefficient between the crystallinity and tensile modulus for the flat yarn fibres which was -0,69 but the correlation coefficient calculated for the POY fibres was -0,08. The correlation coefficient between the crystallinity and heat setting temperature was 0,93 and that between crystallinity and winding on speed was 0,71. Strong correlations between crystallinity and birefringence could not be found either, the correlation coefficients being 0,21 for POY and 0,42 for flat yarn fibres.

3.5. Discussion

The primary purpose of this work has been to establish certain physical properties of the PET polyester fibres produced in Turkey which are most important for textile uses, the elastic properties being of the greatest interest. It is also a known fact that the elastic properties of the fibres are greatly affected by certain physical properties relating the inner structure of the fibres. Among these properties the crystallinity based on density measurements has been the focus of attention. Nevertheless it was not



Resim 5. Yoğunluk Gradianti Sütunu.
Plate 5. Dencity Gradiant Column.

Eğilme testi sonuçları POY ve düz iplik lifleri için sırasıyla Tablo 6 ve 7'de gösterilmektedir. Aynı şekilde burulma testlerinin sonuçları Tablo 8 ve 9'da gösterilmektedir.

3.2. Yapısal Özellikler

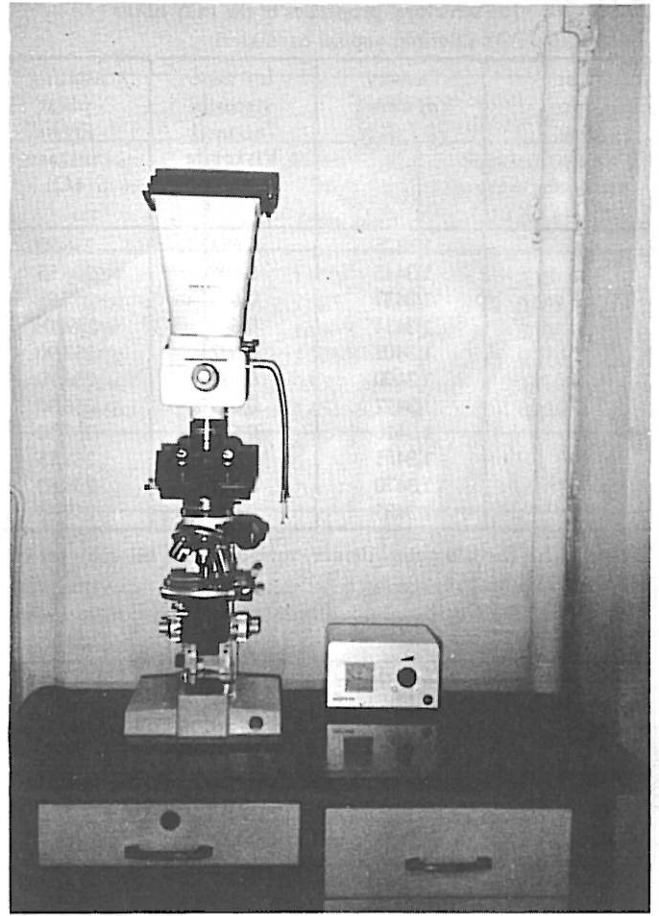
Yoğunluk, viskozite, erime noktası ve çift kırıcılık ölçümleri, molekül ağırlığı, polimerisasyon derecesi ve kristallik derecesinin hesaplanmış değerleri ile birlikte POY ve düz iplik lifleri için sırasıyla Tablo 10 ve 11'de gösterilmektedir. Kristallik derecesinin,

$$\alpha_k = \frac{d_k(d-d_a)}{d(d_k-d_a)} \cdot 100 \quad \dots\dots\dots(5)$$

Tablo 7. Düz iplik lifleri için yapılan eğilme deneyi sonuçları

Table 7. The results of the bending test on flat yarn fibres

Sıra No. List No.	Fabrika İsmi Name of Plant	Askı Yüğü Hanging load (mg)	Eğilme rijitliği Bending rigidity		Eğilme modülü Bending modulus	
			Ort. Mean $\times 10^{-3}$ (dyn- cm ²)	Standart Sapma Standard deviation $\times 10^{-3}$ (dyn- cm ²)	Ort. Mean $\times 10^{-10}$ (dyn- cm ²)	Standart Sapma Standard deviation $\times 10^{-10}$ (dyn- cm ²)
1	A	5,1	35,71	23,80	7,45	4,97
2	A	5,1	36,52	24,95	3,42	2,34
3	B	5,1	34,72	17,99	3,07	1,59
4	B	5,1	34,24	8,97	6,68	1,75
5	C	5,1	37,47	14,01	2,61	0,98
6	C	5,1	34,38	12,40	8,22	2,96



Resim 7. Çift kırıcılık Ölçümü için Kompansatörle Donatılmış Polarimikroskop
Plate 7. Polarized Microscope Fitted with Compensator to Measure Birefringence.

formülüne göre hesaplanmasında yoğunluk ölçümleri kullanılmıştır. Burada d_k tam kristal polyester lifin yoğunluk, d_a bütünüyle amorf polyester lifin yoğunluğu ve d elde edilen deneysel değerdir.

3.3. Lif Çapı, Lif Denyesi, Nem ve Yağ İçerikleri

Lif çapı ve denyesi, nem ve yağ içerikleri olmak üzere elastik özellikler üzerinde oldukça etkili olan fiziksel özellikler hem POY, hem de düz iplik lifleri için Tablo 12'de gösterilmişlerdir.

3.4. İstatistiksel Analiz

Çekme, eğilme ve burulma modüllerinin kristallik derecesi üzerinde etkili bir faktör olup ol-

Table 10. The structural properties of the POY fibres**Tablo 10.** POY liflerinin yapısal özellikleri

List No Sıra No	Density Yoğunluk (g / cm ³)	Intrinsic viscosity İntrinsik Viskozite	Melting point Erime noktası (°C)	Birefringence Çift kırılma x10 ⁻³	Molecular weight Molekül ağırlığı	Degree of polymerization Polimerizasyon derecesi	Degree of crystallinity Kristallik derecesi (%)
1	1,3375	0,652	256,70	25,05	23148	120,56	2,27
2	1,3445	0,606	256,55	30,35	21148	110,15	8,57
3	1,3435	0,613	257,05	30,86	21450	111,72	7,67
4	1,3434	0,613	259,05	24,53	21450	111,72	7,58
5	1,3402	0,607	257,90	33,06	21191	110,37	4,71
6	1,3400	0,642	256,70	24,40	22710	118,28	4,52
7	1,3412	0,643	256,30	26,36	22754	118,51	5,61
8	1,3410	0,660	257,30	24,82	23499	122,39	5,43
9	1,3455	0,623	261,15	24,35	21883	113,97	9,46
10	1,3470	0,624	258,80	24,05	21927	114,20	10,80
11	1,3405	0,611	259,65	32,63	21364	111,27	4,97

Table 12. The diameter, denier, moisture and oil contents of POY and flat fibres**Tablo 12.** POY ve düz iplik liflerinin çap, denye, nem ve yağ içerikleri

List No Sıra No (POY)	Fibre diameter Lif çapı (mm)	Fibre count Lif numarası (Denye)	Moisture content Nem Miktarı (%)	Oil Content Yağ Miktarı (%)
1	27,89	7,50	0,41	0,25
2	22,30	4,89	0,33	0,38
3	21,93	4,60	0,42	0,50
4	27,94	7,57	0,39	0,34
5	20,87	4,18	0,36	0,40
6	28,10	7,79	0,32	0,33
7	26,34	6,90	0,52	0,33
8	28,15	7,60	0,41	0,31
9	28,16	7,70	0,39	0,32
10	28,50	6,76	0,40	0,30
11	21,01	4,34	0,37	0,24
Flat yarn Düz iplik				
1	17,68	2,70	0,37	0,57
2	21,60	4,09	0,32	0,29
3	21,91	4,69	0,40	0,30
4	17,98	3,10	0,33	0,40
5	23,25	4,80	0,36	0,65
6	17,09	2,92	0,35	0,70

possible to establish direct relationships between the elastic properties and the crystallinity as determined from the measurements on the given samples. This may be due to the sample size, which depended on the number of firms producing PET polyester fibres in Turkey, this being not sufficiently large. On the other hand, it may also be argued that the range of crystallinity covered which lay between 2.27 % and 10.80 % for the POY fibres and 33.55% and 40.39 % for flat yarn fibres was too small to establish direct relations with too few samples due to statistical error and other factors such as denier etc. being effective on the elastic properties.

It is also of interest to establish how the PET polyester fibres produced in Turkey as POY and flat filament yarn stand among other products produced in other countries. Table 15 shows the values obtained along with those cited in the literature [Bragato, Gianotti, 1983; Farrow, Hill, Weinle, 1969; Gacén, Maillo, 1988; Garton, Carlsson, Holmes, Wiles, 1980; Guthrie, Morton, Oliver, 1954; George 1982; Hamza, El-Dessouki, 1987; Meredith, 1954; Prati, Seves, 1974; Ringwald, Lawton, 1975; Tarakçıoğlu 1986; Varma, Agarwal, Varma 1986]. It will be seen that the experimental values obtained compare well with those given in the literature except that the young modulus and the degree of crystallinity are a little low both for POY and flat filament yarn fibres. This is a direct result of the recent developments in the tensile strength of polyester fibres [Gacén, Maillo 1988].

4. CONCLUSIONS

Work done on some of the physical properties of the PET polyester fibres produced in Turkey show that on the whole they compare well with the values given in the literature. It may, however, be stated that the tensile properties need further improvements.

The work has also shown that to establish direct relations between the elastic properties and the properties relating the inner structure like crystallinity a more strictly controlled experimental work in the production plants should be carried out on

Tablo 9. Düz iplik lifleri için burulma deneyi sonuçları
Table 9. The results of the torsion test on flat yarn fibres

Sıra No. List No.	Fabrika İsmi Name of Plant	Çubuk at. momenti Moment of inertia of rod (mg.cm ²)	Salınım periyodu Period of oscillation		Burulma modülü Torsional rigidity	
			Ort. Mean (sn)	Standart Sapma Standard deviation (sn)	Mean Ort. x10 ¹⁰ (dyn- cm ²)	Standart Sapma Standard deviation x10 ¹⁰ (dyn- cm ²)
1	A	10,126	5,47	0,329	1,402	0,151
2	A	31,233	5,97	0,209	1,625	0,108
3	B	42,766	9,24	0,790	1,893	0,158
4	B	10,126	5,90	0,772	1,175	0,270
5	C	42,766	7,89	0,436	0,953	0,119
6	C	10,126	5,76	0,466	1,453	0,203

Tablo 11. Düz iplik liflerinin yapısal özellikleri
Table 11. The structural properties of the flat yarn fibres

Sıra No List No	Yoğunluk Density (g / cm ³)	İntrinsik Viskozite Intrinsic viscosity	Erime noktası Melting point (C)	Çift kırılma Birefringence x10 ⁻³	Molekül ağırlığı Molecular weight	Polimerizasyon derecesi Degree of polymerization	Kristallik derecesi Degree of crystallinity (%)
1	1,3755	0,599	254,45	161,92	20822	108,45	35,69
2	1,3780	0,633	256,60	123,60	22318	116,24	37,83
3	1,3755	0,623	249,60	124,84	21883	113,97	35,69
4	1,3730	0,635	248,20	154,84	22405	116,69	33,55
5	1,3810	0,639	248,45	121,71	22579	117,59	40,39
6	1,3810	0,608	247,60	162,80	21235	110,59	40,39

madıklarını ortaya koymak için varyans analizleri yapılmıştır. POY lifleri için kristallik derecesi faktör seviyeleri 2.27, 4.52, 5.43, 7.58, 9.46 ve 10.80 kristallik derecesi değerlerine karşılık gelen altı seviye olarak belirlenmiştir. Düz iplik lifleri için 33.55, 35.69, 37.83 ve 40.39 değerlerine karşılık gelen beş seviye belirlenmiştir. Tablo 13 ve 14 analizlerin sonuçlarını göstermektedir. Tablolardan her durumda hesaplanan F değerlerinin, beklendiği gibi kristallik derecesinin elastik modüller üzerinde etkili olduğunu gösterir biçimde uygun tablo değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir.

Ne var ki, kristallik derecesi ve elastik modüller arasında istatistiksel önemi olan korelasyon katsayılarını bulmak mümkün olmadı. Diğer yandan, düz iplik lifleri için kristallik derecesi ve uzama modülü arasında -0,69 olan negatif bir korelasyon katsayısının bulunması ilgi çekiciydi; ancak POY lifleri için hesaplanan korelasyon katsayısı -0.08 olmuştur. Kristallik derecesi ile termofiksaj sıcaklığı arasındaki korelasyon katsayısı 0,93 ve kristallik derecesi ile sarım hızı arasındaki 0,71'dir. Kristallik derecesi ile çift kırılma derecesi arasında da, korelasyon katsayıları POY lifleri için 0,21 ve düz iplik lifleri için 0,42 olmak üzere, güçlü korelasyonlar bulunamamıştır.

3.5. Tartışma

Bu çalışmanın ana amacı, Türkiye'de üretilen PET polyester liflerinin tekstil kullanımları için çok önemli olan bazı fiziksel özelliklerini, elastik özellikler en fazla ilgi alanı olmak üzere, belirlemek olmuştur. Ayrıca liflerin elastik özelliklerinin

liflerin iç yapılarıyla ilişkili bazı fiziksel özelliklerden büyük ölçüde etkilendiği de bilinmektedir. Bu özellikler için yoğunluk ölçümlerine dayanan kristallik derecesi incelemenin odak noktası olmuştur. Ancak eldeki örnekler üzerinde yapılan ölçümlerden elastik özellikler ile kristallik derecesi arasında doğrudan bir ilişkiyi ortaya koymak mümkün olmamıştır. Bunun nedeni, Türkiye'de PET polyester lif üreten firma sayısına bağlı olarak yeterli ölçüde büyük olmayan örnek büyüklüğü olabilir. Diğer yandan, POY lifleri için % 2.27 ile % 10.80 ve düz iplik lifleri için % 35,55 ile % 40.39 arasında yer alan kapsanan kristallik derecesi aralığının, istatistiksel hata ve denye v.s. gibi diğer faktörlerin elastik özellikler üzerinde etkili olması nedeniyle çok küçük bir örnek ile doğrudan ilişkiler ortaya koymak için çok dar olduğu da savunulabilir.

Ayrıca Türkiye'de POY ve düz iplik olarak üretilen PET polyester liflerinin diğer ülkelerde üretilenler arasında nasıl bir yer tuttuğunun ortaya konması da ilginçti. Tablo 15 elde edilen değerlerle birlikte literatürde verilen [Bragato, Gianotti 1983; Farrow, Hill, Weinle 1969; Gacen, Maillo, 1988; Garton, Carlson, Holmes, Wiles, 1980; Guthrie, Morton, Oliver, 1954; George, 1982; Hamza, El-Dessouki, 1987; Meredith, 1954; Prati, Seves, 1974; Ringwald, Lawton, 1975; Tarakçıoğlu, 1986] değerleri göstermektedir. Elde edilen deneysel değerlerin, hem POY hem de düz iplik lifleri için Young modülü ve kristallik derecesinin biraz düşük olmaları dışında literatürde verilenlerle karşılaştırılabilir.

Tablo 13. POY Lifleri için Varyans Analizi Sonuçları
Table 13. Results of the variance tests for POY fibres

Variate Değişken	Degrees of freedom Serbestlik derecesi			F	
	F	H	G	Tablo	Hesap
1. Modulus 1. Modül	5	90	95	2,29	287,85
2. Modulus 2. Modül	5	90	95	2,29	2768
Bending modulus Eğilme modülü	5	54	59	2,37	70,53
Torsional modulus Burulma modülü	5	54	59	2,37	194,65

the same type a fibre by examining elastic properties in a wider range of crystallinity obtained by varying the process variables.

ACKNOWLEDGEMENT

We feel it is our duty to thank the authorities of the Sönmez A.S.F., Sifaş and Polylen factories who provided us with the samples used in the work and the authorities of the Nergis, Sönmez Filament and Sasa factories who, in addition to providing us with samples allowed us to work in their laboratories.

REFERENCES

- BOZDOĞAN, F., 1989. Türkiye'de Üretilen Poliester liflerinde Elastik Özelliklerle Kristal Yapı Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi. Doktora tezi. E.Ü. Müh. Fak. Tekstil Müh. Bölümü, Bornova, İZMİR.
- BRAGATO, G., GIANOTTI, G., 1983, Text. Res. J., 19,803.
- CARLENE, P.W. 1950. J. Text. Inst., 41, T 159.
- DIN, 52812., 1963. Bestimmung der mittleren von Chemiespinnfasern.
- FARROW, G. HILL, E.S., WEINLE, P.L., 1969. Polyester Fibers.
- MARK, H.F., GAYLORD, N.G., BIKALES, N.M. Encyclopedia of Polymer Science and Technology vol. 11. John Wiley & Sons, Inc.,

Tablo 14. Düz İplik Lifleri için Varyans Analizi Sonuçları
Table 14. Results of the variance tests for flat yarn fibres

Variate Değişken	Degrees of freedom Serbestlik derecesi			F	
	M	H	G	Tablo	Hesap
1. Modulus 1. Modül	3	60	63	2,76	9,38
Bending modulus Eğilme modülü	3	36	39	2,90	11,44
Torsional modulus Burulma modülü	3	36	39	2,90	36,04

New York. London. Sydney, Toronto.

- GACEN, J., MAILLO, J., 1988 Melland Text. 12, 867.
- GARTON, A., CARLSSON, D.J., HOLMES, L.L., WILES, D.M. 1980. J. Appl. polym. Sci., 25, 1505.
- GUTHRIE, J.C., MORTON, D.H., OLIVER, P.H., 1954. J. Text. Inst., 45, T 912.
- GEORGE, H.H., 1982. Polym. Engineering and Sci., 22,5,292.
- HAMZA, A.A., EL-DESSOUKI, T., 1987. Text. Res. J., September, 508.
- MEREDITH, R., 1954. J. Text. Inst. 45, T 489.
- OWEN, W.D., 1965 J. Text. Inst. 56, T 329.
- PRATI, G., SEVES, A., 1974 Chemiefasern, April, 263.
- RINGWALD, E.L., LAWTON, E.L., 1975. Physical constants of Poly (oxyethylene oxyterephthaloyl) (Poly (ethylene terephthalate)). BRANDRUP, J., IMMERGUT, E.H. Polymer Hand book. Wiley Inc, New York.
- STANDART OFFICIAL METOD - T 272. The Determination of the Intrinsic Viscosity of The Polyethylene Terephthalate Polymer and Fiber.
- TARAKCIOĞLU, I., 1986. Tekstil Terbiyesi ve Makinaları, Cilt III (Poliester Liflerinin Üretimi ve Terbiyesi). Araçlar Matbaacılık Reprodüksiyon A.Ş., İzmir.
- TS - 838 1970. Tekstil Maddelerinin Ticari Rutubeti.
- VARMA, D.S., AGARWAL, R., VARMA, I.K., 1986. Text. Res. J. June, 364.
- ZIMMER - 877 - 07016 - 4. Determination of The Density of Chips and Fibres of Polyethylene Terephthalate with Density Gradient Column.

olduğu görülmektedir. Bu polyester liflerinin çekme mukavemetinde son yıllardaki gelişmenin direkt bir sonucudur [Gacem ve Maillo, 1988].

4. SONUÇ

Türkiye'de üretilen PET polyester liflerinin bazı fiziksel özellikleri üzerinde yapılan çalışma göstermiştir ki, elde edilen değerler genelde literatürde verilen değerlerle karşılaştırılabilir durumdadır. Ancak mukavemet özelliklerinin daha da geliştirilmesi gerekebilir.

Ayrıca çalışma, elastik özellikler ile kristallik derecesi gibi iç yapı ile ilgili özellikler arasında

doğrudan ilişkiler ortaya koymak için, üretim tesislerinde aynı lif tipi üzerinde, proses değişkenlerini değiştirilerek elde edilen daha geniş bir kristallik derecesi aralığında daha sıkı bir biçimde kontrol edilecek deneysel çalışma yapılması gerektiğini de göstermiştir.

TEŞEKKÜR

Çalışmada kullanılan örnekleri sağlayan Sönmez A.S.F., Sifaş, Polylen fabrikaları yetkililerine ve örnek sağlama yanında laboratuvarlarında çalışma olanağı sağlayan Nergis, Sönmez Filament ve Sasa fabrikaları yetkililerine yardımlarından dolayı teşekkürü borç biliriz.

Table 15. Deneysel Değerlerin Ortalamalarının Literatür Değerleri ile Karşılaştırılması.

Table 15. Comparison of the Mean Experimental Values with those Given in the Literature.

Fiziksel Özellikler Physical Properties	POY Lifleri POY Fibres		Düz İplik Lifleri Flat Yarn Fibres	
	Literatür Literature	Deneysel Experimental	Literatür Literature	Deneysel Experimental
Yoğunluk (g/cm ³) Density	1,341 - 1,344	1,3422	1,36 - 1,41	1,3773
Erime Noktası (°C) Melting Point	250 - 265	257,92	250 - 265	250,82
İntrinsik Viskozite Intrinsic Viscosity	0,61 - 0,90	0,627	0,61 - 0,90	0,623
Çift Kırılma (x 10 ⁻³) Birefringence	18,1 - 49,2	27,31	160 - 188	141,62
Kopma Mukavemeti (g/den) Breaking Strength	2,8 - 5,2	2,91	2,8 - 5,2	5,24
Kopma Uzaması (%) Breaking Extension	155 - 195	189,42	19 - 49	41,53
Young Modülü (g/den) Young Modulus	19,76	11,85	109,04 - 116,89 (12,5-13,4.10 ¹⁰ dyn/cm ²)	95,52
Eğilme Modülü (x10 ¹⁰ dyn/cm ²) Bending Modulus	2,2 - 8,9	1,69	2,2 - 89	5,39
Burulma Modülü (x10 ¹⁰ dyn/cm ²) Torgional Modulus	0,9 - 1,6	1,21	0,9 - 1,6	1,47
Kristallik Derecesi (%) Degree of Crystallinity	8,21 - 8,30	6,51	40,9	37,26
Polimerizasyon Derecesi Degree of Polimerization	100 civarı	114,83	100 civarı (approx)	113,92
Molecular Weight Molecular Weight	20000 civarı	22047	20000 civarı (approx)	21873