



POLİETİLEN VE POLİPROPİLENİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELEMESİ

(AN INVESTIGATION ON MECHANICAL PROPERTIES OF
POLYETHYLENE AND POLYPROPYLENE)

Hakan ÇETİNEL*

ÖZET/ABSTRACT

Bu çalışmada, ilk önce çekme deneyi ile polipropilen (PP), alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) ve yüksek yoğunluklu polietilenin (YYPE) mekanik özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra, ultraviyole (UV) ışınlarına tabi tutulan polietilen (PE) ve polipropilenin mekanik özelliklerine UV ışınlarının etkisi araştırılmıştır.

Öte yandan, deformasyonun malzemelerin yoğunluklarını değiştirmesine ek olarak, UV ışınına tabi tutulmuş numunelerle, UV ışınına tabi tutulmamış olanların kuru sıcaklık ortamındaki davranışları incelenmiştir.

In this study, firstly, the mechanical properties of polypropylene, low-density polyethylene and high-density polyethylene have been determined by tensile testing. Secondly, the effect of ultraviolet (UV) beams on the mechanical properties of polypropylene and polyethylene has been studied.

On the other hand, in addition to changing the density of the materials by deformation, the behaviour of specimens exposed to UV beam and original specimens in dry temperature has been studied

ANAHTAR KELİMELELER/KEY WORDS

Polietilen, Polipropilen, Mekanik özellikler, Ultraviyole ışın
Polyethylene, Polypropylene, Mechanical properties, Ultraviolet beam

* DEÜ Mühendislik Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Bornova, İZMİR

1. GİRİŞ

19. yy sonlarında J. Hyatt tarafından keşfedilen yarı sentetik bir polimer olan selüloidden itibaren önemini giderek arttıran plastikler günümüzde sadece mutfak donatımı ve oyuncaklarda kullanım alanı bulmamış, birçok alanda metallere ve seramiklerle rekabet edebilen önemli mühendislik malzemeleri haline gelmiştir (Akkurt, 1991; Serdaroglu, 1956). Sağlık, hafiflik, kolay şekillendirilebilme ve ucuzluk özelliklerine sahip olan plastikler sanayide tesis kurma, gıda, parça imalatı, ulaşım, sağlık, kablo yalıtımı, şişe ve boru imalatı, tekstil gibi birçok teknolojik alanda kullanılmaktadır (Askeland, 1996; Callister, 2000; Yaşar, 1992; Schaffer vd., 1999).

Günümüzde büyük oranda petrol endüstrisine dayalı olan plastik sektöründe hızlı bir gelişme yaşanmakta ve yeni yeni plastik türleri kullanıma sunulmaktadır. Ayrıca; grafit, cam ve karbon elyafları ile karıştırılması neticesi elde edilen yeni ürünler, plastiklerin gelişiminde önemli bir aşama olmuştur. Bu tür malzemelerin mekanik özellikleri metallere yaklaşılmıştır. Özellikleri geliştirilen plastik malzeme çeşitleri taşıdıkları avantajlar neticesi diğer mühendislik malzemelerine tercih edilerek gelecekte de insan yaşamına önemli katkılarda bulunacaktır.

Bu çalışmada, bir defa üretildikten sonra teorik olarak tekrar tekrar eritilerek yeniden şekillendirilebilen, günlük hayatta ve endüstride önemli kullanım alanları bulan termoplastiklerden olan polipropilen (PP), alçak (AYPE) ve yüksek yoğunluklu (YYPE) polietilen plastiklerinin mekanik özellikleri belirlenmiş ve bu mekanik özelliklerinin ultraviyole (UV) ışını ile ne şekilde değiştiği araştırılmıştır. UV ışınının C-C bağlarını kırması nedeniyle çekme deneyleri sonucunda AYPE ve PP'de daha büyük deformasyonlar gözlenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Malzeme

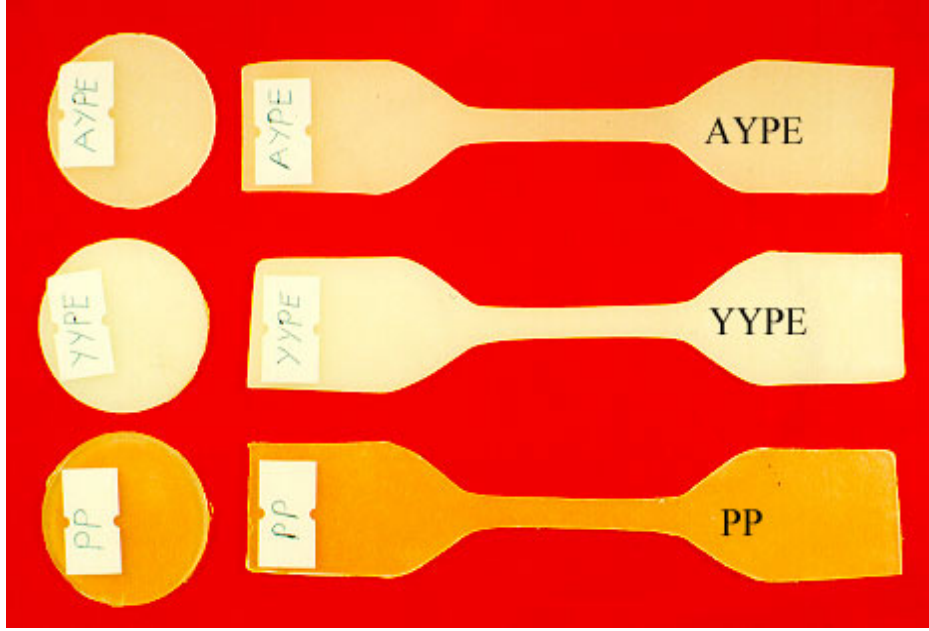
Numuneler Alpet Petrokimya A.Ş.'nin ürettiği AYPE-G03-5 (alçak yoğunluklu polietilen), PP-MH-418 (polipropilen), ve YYPE-I-668 (yüksek yoğunluklu polietilen) kodlu granüllerden Çizelge 1'de gösterilen koşullarda preslenerek 200mmx200mmx2mm'lik plakalar olarak üretilmiştir. Numunelerin kararlı bir hale gelmesi için preslemeden 48 saat sonra deneylere başlanmıştır.

Çizelge 1. Numunelerin preslenme koşulları

		AYPE VE YYPE	PP
Ön Isıtma Zamanı	Dakika	6	1
Ön Isıtma Basıncı	MPa	39	196
Pres Sıcaklığı	⁰ C	190	30
Soğutma Sıcaklığı	⁰ C	oda	oda
Soğutma Zamanı	Dakika	5	3
Soğutma Basıncı	MPa	1471	1471

2.2. Numune Yoğunluklarının Belirlenmesi

Yoğunlukların tespiti için 200mmx200mmx2mm'lik levhalardan Φ 36 mm'lik numuneler kesilerek çıkarılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Yoğunluk, sertlik ve çekme deneylerinde kullanılan AYPE, YYPE ve PP numuneleri

Numunelerin hassas terazideki ağırlıkları;

AYPE: 1,7606 gr, PP: 1,8856 gr, YYPE: 1,8963 gr'dır.

Malzemelerin yoğunlukları $0,9 \text{ gr/cm}^3$ civarında olduğu bilindiğinden daha düşük yoğunluklu alkol kullanılarak malzemelerin alkol içindeki ağırlıkları aşağıdaki şekilde bulunmuştur (Jastrzebski, 1959).

AYPE: 0,2199 gr, PP: 0,2051 gr, YYPE: 0,2962gr

Hassas terazide ağırlığı tespit edilen bir kap içine $V_a = 100 \text{ cm}^3$ hacminde alkol konulmuş ve toplam ağırlığı bulunmuştur.

Kap ağırlığı: 42,28 gr

Kap + Alkol ağırlığı: 121,28 gr

Buradan alkolün ağırlığı bulunup Denklem 1'de yerine konularak

$$d = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Alkol yoğunluğu $d_a = 0,79 \text{ gr/cm}^3$ olarak bulunmuştur.

Archimed prensibi ile

$$F_k = m_n - m_{an} \quad (2)$$

$$F_k = V_n d_a \quad (3)$$

m_n : Numunelerin ağırlıkları (gr),

m_{an} : Numunelerin alkol içindeki ağırlıkları (gr),

F_k : Alkolün kaldırma kuvveti (gr),

V_n : Alkol içindeki numunenin hacmi (cm^3).

Denklem 2'den alkolün numuneler üzerine uyguladığı kaldırma kuvveti bulunmuş ve Denklem 3'de yerine konarak sıvı içindeki numunenin hacmi elde edilmiştir. Bu değerler Denklem 1'de yerine konarak her bir numune için yoğunluklar aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$\text{AYPE yoğunluğu} = 0,9027 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{YYPE yoğunluğu} = 0,9362 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{PP yoğunluğu} = 0,8864 \text{ gr/cm}^3$$

2.3. Çekme Deneyine Tabi Tutulan Numunelerin Yoğunluk Değişimi

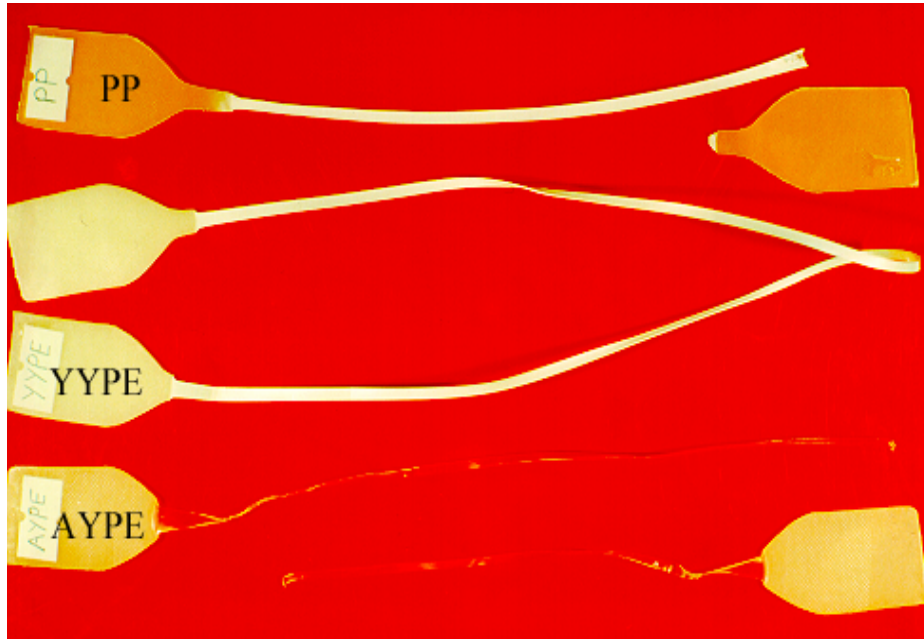
Çekme deneyi uygulanan numunelerin deformasyona uğrayan kısımlarından elde edilen verilerle Denklem 1, 2 ve 3 uygulanarak AYPE'nin yoğunluğu $0,88876 \text{ gr/cm}^3$ olarak bulunmuştur. PP ve YYPE numuneleri deneyden sonra alkol içine bırakıldığında yüzdükleri görülmüştür. Bunun anlamı, bu iki malzemenin yoğunluklarının çekme deneyinden sonra alkolün yoğunluğunun da altına düştüğünü göstermesidir.

2.4. Çekme Deneyleri

Çekme deneyleri Instron marka çekme cihazında 5 cm/dak hızda gerçekleştirilmiştir. Çekme deneyleri ile malzemelerin temel mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Numunelerin çekme deneyinden önceki ve sonraki durumları Şekil 1 ile Şekil 2'de ve çekme deneyinden elde edilen veriler Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Çekme deneyi sonuçları

		AYPE	PP	YYPE
$R_{P0,2}$	MPa	821	3269	2288
R_M	MPa	1630	3269	2288
ε	%	478	216	725



Şekil 2. Çekme deneyi sonrası PP, YYPE ve AYPE numuneleri

2.5. Sertlik Ölçümü

Numunelerin çeşitli bölgelerinden sertlik ölçümleri Shore-D metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sertlik değerleri; AYPE için 47, PP için 72 ve YYPE için 65 olarak bulunmuştur (Şekil 1).

2.6. Ultraviyole (UV) Işın Kaynağının Enerjisi

Kullanılan UV ışın kaynağının dalga boyu $3000 < \lambda < 4000 \text{ \AA}$ arasındadır.

$$E = h \frac{c}{\lambda} \quad (4)$$

E: Enerji [Erg],

h: Planck sabiti = $6,62 \cdot 10^{-27}$ Erg.sn.,

c: Işık hızı = $3 \cdot 10^{10}$ cm / sn.,

λ : Dalga boyu [cm].

Bu ışın kaynağının verdiği enerjinin polietilen ve polipropilenin bağlarına etkisi incelendiğinde, ışın kaynağının enerjisi 3000 ve 4000 \AA 'luk dalga boyları için sırasıyla $6,62 \cdot 10^{-12}$ ve $4,96 \cdot 10^{-12}$ Erg'dir. C-C bağı arasındaki enerji $5,8 \cdot 10^{-12}$ Erg/bağ'dır. 4 nolu denklemden kullanılabilir en büyük dalga boyu 3400 \AA bulunur. C-H bağı arasındaki enerji $6,9 \cdot 10^{-12}$ Erg/bağ'dır. 4 nolu denklemden kullanılabilir en büyük dalga boyu 2800 \AA olarak bulunur (Fine vd., 1990).

2.7. UV Işına Tabi Tutulmuş Numunelerin Sertlik Ölçümleri

AYPE, YYPE ve PP numuneleri UV ışını altında 30, 60 ve 120 dakika sürelerde bekletilmiştir. Sertlik değerleri Çizelge 3 de gösterilmiştir.

Çizelge 3. UV ışınına tutulma süresi ile numunelerin sertlik değeri değişimi

		UV	İŞİNINA TUTULMA	SÜRESİ (DAKİKA)
		30	60	120
Sertlik	AYPE	45	45	45
Değeri	PP	70	70	70
(Shore D)	YYPE	62	62	62

2.8. UV Işına Tabi Tutulmuş Numunelerin Çekme Deneyleri

UV ışınına tabi tutulmuş numunelerin 5 cm/dak çekme hızında gerçekleştirilen çekme deneylerinden elde edilen değerler Çizelge 4, 5 ve 6'da gösterilmiştir.

Çizelge 4. AYPE'nin UV ışınına tutulma süresi ile mekanik özelliklerin değişimi

		UV	İŞİNINA	TUTULMA SÜRESİ	(DAK.)
		0	5	20	60
$R_{p0,2}$	Mpa	821	817	776	899
R_M	Mpa	1630	1676	1675	1758
ϵ	%	478	525	491	475

Çizelge 5. PP'nin UV ışınına tutulma süresi ile mekanik özelliklerin değişimi

		UV	IŞININA	TUTULMA SÜRESİ	(DAK.)
		0	5	20	60
R _{P0,2}	Mpa	3269	3352	3352	3514
R _M	Mpa	1226	1062	1144	1552
ε	%	216	260	250	433

Çizelge 6. YYPE'nin UV ışınına tutulma süresi ile mekanik özelliklerin değişimi

		UV	IŞININA	TUTULMA SÜRESİ	(DAK.)
		0	5	20	60
R _{P0,2}	Mpa	2288	2452	2367	2207
R _M	Mpa	-	-	-	-
ε	%	>725	>725	>725	>725

2.9. UV Işınına Maruz Kalan Numunelerin 100 °C'deki Kaynayan Su İçinde Deneyleri

5, 20 ve 60 dakika UV ışınına maruz bırakılan numuneler 100 °C'deki kaynayan su içinde 10 dakika bekletilmiştir. Numunelerin tümünde uzama, buruşma, çarpılma ve renk değişimi olmadığı görülmüştür.

2.10. UV Işınına Maruz Kalan Numunelerin Fırın Deneyleri

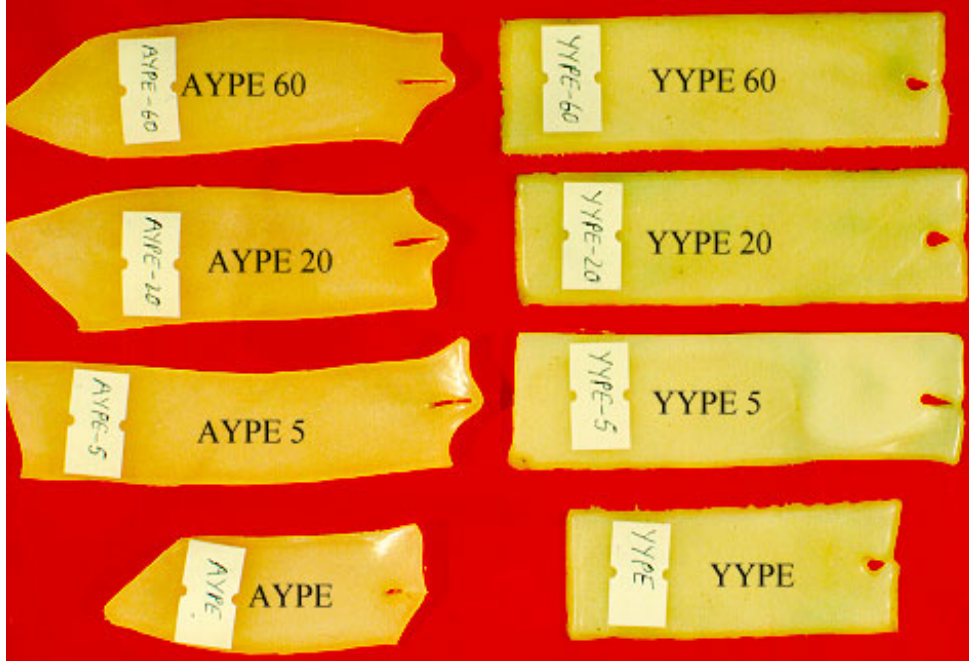
Numuneler 30mmx100mmx2mm ve 30mmx70mmx2 mm'lik boyutlarda hazırlanmıştır.

UV ışınına tabi tutulmuş AYPE numuneleri 105 ve 120 °C'lerde 20 dakika süreyle tutulmuşlardır. Fırın çıkışında hepsinin düktilitesinde artış görülmüştür (Şekil 3 ve 4, Çizelge 7).

Çizelge 7. UV ışınına maruz kalan AYPE'nin fırında tutulmasının kopmadaki uzama yüzdesine etkisi

FIRINDA TUTMA SÜRESİ	FIRIN SICAKLIĞI		UV	IŞININA	TUTULMA	SÜRESİ	(DAKİKA)
(Dakika)	(°C)		0	5	20	60	240
20	105	% ε	0	6.38	1.06	4.25	-
	120		52	38	60	70	65

PP numunelerinden 120 °C'de 20 dakika bekletilen numunelerin boylarında herhangi bir uzama olmamıştır. Daha sonra sıcaklık 140 °C'ye çıkarılarak numuneler 40 dakika bekletilmiştir. 20 dakika süreyle UV ışınına tabi tutulan numune buruşmuştur. 5 dakika süreyle UV ışınına tabi tutulan numunede boyca uzama olmamasına rağmen kısmi deformasyon gözlenmiştir (Şekil 4, Çizelge 8).



Şekil 3. UV ışınına maruz kalan numunelerin fırın deneyi sonrası hali



Şekil 4. UV ışınına maruz kalan numunelerin fırın deneyi sonrası hali

Çizelge 8. UV ışınına maruz kalan PP'nin fırında tutulmasının kopmadaki uzama yüzdesine etkisi

FIRINDA TUTMA	FIRIN		UV IŞIN	ALTINDAKİ	SÜRE	(DAKİKA)
Süresi (Dakika)	Sıcaklığı (°C)		0	5	20	60
20	120	% ϵ	0	0	0	0
40	140		0	0	35	0

Daha sonra UV ışına tabi tutulmayan numune ile 60 dakika ışına tabi tutulan numune tekrar 150 °C'deki fırında 40 dakika bekletilmiştir. Işına tabi tutulmayan numunede uzama

görülmezken 60 Dakika UV ışınına tutulmuş olan numunede % 7'lik bir uzama meydana gelmiş ayrıca malzemelerin hepsinde kısmi deformasyonlar gözlenmiştir (Şekil 4).

128 °C'de 20 dakika bekletilen YYPE numune boylarında % 10 kısalma gözlenmiştir (Şekil 3).

3. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Plastiklerin homojen olmadığı ve ışın kaynağı enerjisinin kritik bir değerde olduğu göz önünde bulundurularak elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi irdelenenmiştir.

3.1. Yoğunluk Deneyi

Yoğunluk düşmesinin iki ana nedeni olabilir. Bunlardan birincisi; malzemedeki mevcut C-C bağlarının deformasyon sonucu kırılmasıdır. İkincisi ise; deformasyonla daha düzensiz bir yapıya geçilmesidir.

AYPE'de deformasyonla mukavemetin artması (kristalleşme) ikinci şıkkın olasılığını azaltmaktadır.

PP ve YYPE'de ise hem mukavemet hem de yoğunluğun düşmesi her iki olasılığı da ortaya koymaktadır.

3.2. UV Işınına Tabi Tutulmamış Numunelerin Sertlik Ve Çekme Deneyi

Çekme deneyi sonrası; AYPE'nin sertlik değerleri ile akma mukavemeti düşük ve kuvvet-uzama eğrisi altındaki alanın (tokluk) miktarı büyük olduğu görülmüştür. Bu malzemeler darbe şeklindeki zorlanmaları plastik şekil değişimi yardımıyla kırılmadan etkisiz hale getirirler (sönümlenme özelliği).

PP'nin ise sertlik değeri, akma mukavemeti ve tokluğu yüksektir. Sönümlenme özellikleri iyidir. PP, AYPE'ye göre daha sert, dayanıklı ve kırılındır. Tokluğu AYPE'ye nazaran daha düşük ve sönümlenme özelliği daha kötüdür.

YYPE ise sertlik değeri, akma mukavemeti ve tokluk değeri çok büyüktür. Sönümlenme özelliği oldukça iyidir. YYPE diğerlerine nazaran daha yüksek tokluk değerlerine sahiptir. Sertliği AYPE ve PP arasındadır. Sönümlenme özelliği ise her iki malzemenin çok daha iyidir. Mukavemeti ise AYPE den iyi, PP den kötüdür.

3.3. UV Işınına Tabi Tutulmuş Numunelerin Sertlik Deneyi

UV ışını numunelerin sertlik değerlerinde herhangi bir değişikliğe neden olmamıştır. Çünkü verilen enerji malzemenin yapısına tamamiyle etki etmemiştir. UV ışın malzeme içindeki C-C bağlarının bir kısmını kırmış fakat yapıyı değiştirmemiştir. Bu nedenle sertlik değerlerine önemli bir etkisi olmamıştır. Eğer C-H bağlarını kırmış olsa idi, bu durum dallanma olayına sebep olacağı için sertlikte önemli artışlar beklenebilirdi.

3.4. UV Işına Tutulmuş Numunelerin Çekme Deneyi

AYPE ve PP'de ışına tabi tutulan ve tutulmayan numuneler arasındaki mekanik özellik farklılığı % uzama miktarıdır. Işına tabi tutulan numuneler ışına maruz kalmayanlara göre daha fazla uzamışlardır. Bunun nedeni, UV ışınının C-C bağlarının bir kısmını kırarak deformasyonu kolaylaştırdığıdır.

YYPE’de ise ışına tabi tutulan numuneyle ışına tabi tutulmayan numune aynı davranışı göstermiştir. Bu durum C-H bağlarının kırılmaması ve dallanma olayının gerçekleşmemesi nedeniyle ortaya çıkmıştır.

3.5. UV Işına Tabi Tutulmuş Numunelerin Kaynayan Su İçindeki Deneyi

Numunelerin tümünde uzama, buruşma, ve renk değişimi olmadığı görülmüş ve UV ışının kaynayan suyun plastikler üzerindeki etkisini artırmadığı sonucu elde edilmiştir. C-H bağlarının kırılmaması ve dolayısıyla dallanma olayının gerçekleşmemesi sonucu kaynayan suyun numuneler üzerinde herhangi bir etkisi olmamıştır.

3.6. UV Işına Tabi Tutulmuş Numunelerin Fırın İçindeki (Kuru Sıcaklık) Deneyi

UV ışınına maruz kalmış numunelerden AYPE ve PP ışına tabi tutulmamış numunelere nazaran genelde daha çok deforme olmuşlardır. Bunun nedeni ise UV ışın ile numunelerdeki C-C bağının kırılmasıdır. Bu bağın kırılması sıcaklık karşısında malzemeyi daha zayıf hale getirmiştir.

YYPE de ise belirtilen sıcaklıkta deney yapılmış ve hiçbir uzama olmamıştır.

KAYNAKLAR

- Akkurt S., (1991): “Plastik Malzeme Bilgisi”, Birsen Yayınevi, s.7, İstanbul.
- Askeland D.R., (1996): “The Science and Engineering of Materials”, Chapman&Hall, p.518, China.
- Callister W.D., (2000): “Materials Science and Engineering An Introduction”, John Wiley & Sons, Inc., p.500, United States of America.
- Fine L., Beall H., (1990): “Chemistry for Engineers and Scientists”, Saunders College Publishing, p.557, USA.
- Jastrzebski Z.D., (1959): “Nature and Properties of Engineering Materials”, John Wiley & Sons, Inc. p.74, Japan.
- Schaffer J.P., Saxena A., Antolovich D., Sanders T.H., Warner S.B., (1999): “The Science and Design of Engineering Materials”, Mc Graw-Hill, p.194, Singapore.
- Serdaroğlu N., (1956): “Plastik Maddeler Cilt I”, Kutulmuş Matbaası, s.1-2, İstanbul.
- Yaşar H., (1992): “Plastikler Dünyası”, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, s.1, Ankara.

SEMBOLLER LİSTESİ

m_n : Numunelerin ağırlıkları (gr)	m_{an} : Numunelerin alkol içindeki ağırlıkları (gr)
F_k : Alkolün kaldırma kuvveti (gr)	V_n : Alkol içindeki numunenin hacmi (cm^3)
$R_{p0,2}$: Akma mukavemeti	R_M : Çekme mukavemeti.
ε : Kopmadaki uzama yüzdesi (%).	E : Enerji (Erg).
h : Planck sabiti= $6,62.10^{-27}$ Erg.sn.	c : Işık hızı= 3.10^{10} cm/sn
λ : Dalga boyu (Å).	