



# ALÜMİNYUM HİDROKSİT VE MAGNEZYUM HİDROKSİT KATKISININ TERMOPLASTİK POLİÜRETAN MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

## THE EFFECTS OF ALUMINIUM HYDROXIDE AND MAGNESIUM HYDROXIDE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF THERMOPLASTIC POLYURETHANE MATERIALS

Erkin AKDOĞAN<sup>1</sup>, Ali Rıza TARAKCILAR<sup>1</sup>, Muzaffer TOPÇU<sup>1</sup>, Recep YURTSEVEN<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye.  
eakdogan@pau.edu.tr, tarakci@pau.edu.tr, mtopcu@pau.edu.tr, ryurtseven@pau.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 17.12.2014, Kabul Tarihi/Accepted: 29.05.2015  
\* Yazışılan yazar/ Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2015.24572  
Özel Sayı Makalesi/Special Issue Article

### Öz

Termoplastik poliüretan malzemeler, üstün fiziksel ve kimyasal özellikleri sebebiyle, otomotiv, giyim, elektrik-elektronik, tıp, inşaat, makine sektörlerinde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Termoplastik poliüretan malzemelerin, yanmaya ve yüksek sıcaklığa karşı dirençleri düşüktür. Bu özelliklerinin iyileştirilebilmesi için poliüretan matris içerisine katkı ve dolgu maddeleri ilave edilmektedir. Özellikle alev geciktirici olarak ilave edilen bu maddeler poliüretan malzemelerin mekanik özelliklerini de etkilemektedir. Dolayısıyla bu malzemelerin mekanik özelliklerinin de belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada, termoplastik poliüretan malzemelere kütlece %5 oranında alüminyum tri hidroksit (ATH,  $(Al_2O_3 \cdot 3H_2O)$ ) ve magnezyum hidroksit ( $Mg(OH)_2$ ) ilave edilmiştir. Oluşturulan kompozit yapının yanmaya karşı direncini artırmak için inorganik alev geciktiriciler ile birlikte kabaran alev geciktirici olarak amonyum polifosfat (APP) ilave edilmiştir. Üretilen kompozitlere çekme, yırtılma, sertlik ve Izod darbe deneyleri yapılarak karşılaştırılmıştır. Deneyler sonucunda, ATH ilavesinin çekme dayanımı ve yırtılma dayanımında düşüşe sebep olmasına rağmen, MgOH ilavesinin bir miktar artırdığı görülmüştür. Her iki katkı maddesinin de sertlik ve Izod darbe deneyleri sonucunda olumsuz bir etki oluşturmadığı görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Termoplastik poliüretan, Alüminyum tri hidroksit, Magnezyum hidroksit, Çekme dayanımı, Yırtılma dayanımı

### Abstract

Thermoplastic polyurethane materials are widely used in automotive, clothing, electrical and electronics, medical, construction, machine industry due to excellent physical and chemical properties. Thermoplastic polyurethane materials combustion and resistance to high temperature characteristics are poor. Additives and fillers are added into the polyurethane matrix to improve those properties. Particularly adding these agents as a flame retardant are affect mechanical properties of polyurethane materials. Therefore, it is important to determinate the mechanical properties of these materials. In this study, 5% by weight of the thermoplastic polyurethane material, aluminium tri hydroxide (ATH,  $(Al_2O_3 \cdot 3H_2O)$ ) and magnesium hydroxide ( $Mg(OH)_2$ ) were added. Ammonium polyphosphate (APP) as an intumescent flame retardant with inorganic flame retardants were added to increase the flame resistance of produced composite structure. Tensile test, tear test, hardness and Izod impact tests were made and compared of those produced composites. As a result of experiments the addition of ATH has lowered the tensile strength and tear strength contrast to this the addition of MgOH has improved those properties. Hardness and Izod impact test results were showed that both of the additives have no negative effect.

**Keywords:** Thermoplastic polyurethane, Aluminium tri hydroxide, Magnesium hydroxide, Tensile strength, Tear strength

## 1 Giriş

Polimer esaslı malzemelerin ısıya karşı dirençleri düşük olduğu için alev geciktirici maddelerin ilavesinin bu özelliklerini iyileştirmede olumlu etkileri görülmektedir. Bunun yanında, bu malzemelere çeşitli amaçlarla ilave edilen katkı ve dolgu maddeleri ile oluşturulan kompozit yapının mekanik ve ısı özellikleri etkilenebildiğinden malzemelerin tüm özellikleri değerlendirilmelidir. Bu konu hakkında literatürde çok fazla çalışma mevcut olmasına rağmen bu alandaki boşluk henüz doldurulamamıştır [1]-[10]. İlave edilen alev geciktiricilerin polimer malzemenin ısı özelliklerini iyileştirirken mekanik özelliklerini bozmaması gerekmektedir. Bu yüzden ilave edilen katkı ve dolgu maddelerinin polimer malzemelerin mekanik özelliklerine etkilerinin araştırılması gerekmektedir [8].

Termoplastik poliüretan (TPU) malzemeler günlük hayatımızda otomotiv, inşaat, tekstil, sağlık hizmetleri, beyaz eşya, telefon, mobilya ve dekorasyon sektörlerinde geniş kullanım alanlarına sahiptirler. Termoplastik poliüretanlar

yüksek çekme dayanımı ve uzama gibi çok iyi özelliklere sahip olmakla beraber kimyasal yapılarına bağlı olarak mekanik özellikleri değişmektedir. TPU malzemelere çeşitli katkı ve dolgu maddeleri ilave edilerek kompozit yapı oluşturulabilmektedir [11]-[18]. Oluşturulan kompozit yapıların kullanım yerine göre optimizasyonun yapılabilmesi için mekanik, ısı ve fiziksel özelliklerinin araştırılması gerekmektedir.

Metal hidroksitler genellikle inorganik alev geciktirici olarak kompozit malzemelerde kullanılmaktadır. Bu katkı maddeleri belirli sıcaklıklarda bozularak su açığa çıkartırlar (ATH: 200 °C ve MgOH: 300 °C) ve sistemden endotermik olarak enerjinin salınımını sağlarlar [19]. Polimer esaslı kompozit malzemelerde alüminyum tri hidroksit (ATH) ve magnezyum hidroksit (MgOH) katkı maddelerinin kullanımı araştırılmıştır. Düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) ve etilen vinil asetat (EVA) kopolimer karışımlarında alev geciktirici katkı maddesi olarak kullanımı örnek olarak verilebilir [20].

Kabaran alev geciktirici sistemler polimer malzemelerde geniş bir kullanım alanına sahiptirler [21]. Örnek olarak kablo yalıtım sektöründe kullanılan lineer düşük yoğunluklu polietilen (LLDPE) ve etilen vinil asetat (EVA) karışımına amonyum polifosfat (APP) ilavesinin etkileri araştırılmıştır [22]. Kabaran alev geciktirici sistemlerde kabartıcı ajanlar bulunmaktadır. Kabartıcı ajanlar, yanma esnasında bozunarak yanıcı olmayan gazlar açığa çıkartıp yanan kısmın genişlemesini sağlar ve yanmaya karşı bariyer oluşturur. Bu bariyer yanan yüzeyde alevin ilerlemesini durdurmakta ve oksijen ile temasını kesmektedir [23],[24].

Bu çalışmada, TPU polimerine inorganik alev geciktirici olarak kullanılan ATH ve MgOH katkı maddeleri ve kabaran alev geciktirici sistem olarak APP'nin ilavesi ile oluşturulan kompozit malzemelerin mekanik özelliklerindeki değişimler araştırılmıştır.

## 2 Malzeme ve Metot

Bu bölümde, kompozit yapıyı oluşturmak için kullanılan hammaddeler ve üretim yöntemleri ile birlikte mekanik özelliklerinin tespiti için yapılan test yöntemleri hakkında bilgi verilecektir.

### 2.1 Malzemeler

Termoplastik poliüretan BASF firmasından temin edilen Elastollan® C-90A, polipropilen Petkim'in MH-418 kodlu granül şeklindeki ürünüdür. İnorganik alev geciktirici madde olarak ilave edilen alüminyum tri hidroksit (ATH,  $(Al_2O_3 \cdot 3H_2O)$ ) Üçgen Pigmentler ve Polimer Katkıları A.Ş'den ve magnezyum hidroksit (MgOH,  $(Mg(OH)_2)$ ) Omya Madencilik San. ve Tic. A.Ş'den temin edilmiştir. Amonyum polifosfat (APP), Clariant firmasından temin edilmiştir. Silikon yağı olarak Siltech F-12.500 kodlu polidimetilsiloksan malzeme Siltech A.Ş'den temin edilmiştir.

### 2.2 Malzeme Üretimi

Kompozit malzeme üretimi için tek vidalı enjeksiyon makinesi kullanılmıştır. Standartlarda verilen ölçülerde numune elde edebilmek için plastik enjeksiyon makinesine uygun kalıp üretilmiştir. TPU hammaddesine malzeme özelliklerini iyileştirmek ve üretimini kolaylaştırmak açısından kütlece %5 PP eklenmiştir. İlave edilen PP ile TPU mekanik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Ardından ilave edilecek katkı maddelerinin granül yüzeyine yapışmasını sağlamak için silikon yağı kütlece %1 oranında eklenmiştir. Silikon yağının granül hammadde içerisinde homojen yayılmasını sağlamak için mekanik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Daha sonra ilave edilecek olan katkı maddesi karışıma ilave edilerek mekanik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Kütlece %5 oranında ATH ve MgOH katkılı kompozit ve kütlece %10 oranında APP:ATH(2:1) ve APP:MgOH(2:1) katkılı kompozit malzemeler üretilmiştir. TPU malzemeler neme duyarlı oldukları için karışım işleminden sonra fırında  $110\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 3 saat süre ile kurutulmuştur. Kurutma işleminden sonra kompozit malzemelerin üretimi plastik enjeksiyon makinesinde gerçekleştirilmiştir. Üretilen numuneler çapaklarından ve yolluklarından ayrılarak test edilmeden önce plastik malzemeler şartlandırma standartlarında [25] belirtilen  $23\pm 1\text{ }^\circ\text{C}$  ve  $\%50\pm 5$  bağıl nem koşullarında yaklaşık 40 saat tutulmuşlardır. Üretilen kompozit malzemelerin içerikleri ve kodlama sistemi Tablo 1'de verilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin

içerikleri ve kütlece yüzde oranları, kodlama sistemi ile birlikte Tablo 1'de verilmiştir.

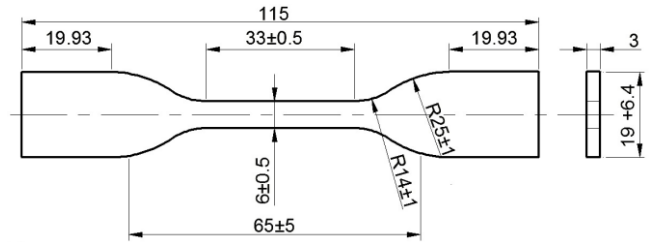
Tablo 1: Üretilen malzeme içerikleri.

Kod	TPU (%)	PP (%)	Si (%)	ATH (%)	MgOH (%)	APP (%)
TPU	100	-	-	-	-	-
05PP	95	5	-	-	-	-
01Si	95	5	1	-	-	-
05ATH	95	5	1	5	-	-
05MgOH	95	5	1	-	5	-
10APP2ATH1	95	5	1	3.33	-	6.67
10APP2MgOH1	95	5	1	-	3.33	6.67

TPU (Termoplastik poliüretan), PP (Polipropilen), Si (Polidimetilsiloksan), ATH (Alüminyum tri hidroksit), MH (Magnezyum hidroksit)

### 2.3 Çekme Deneyi

Numunelerin çekme deneyleri 10 kN kapasiteli Tinius Olsen H10KT model çekme deney cihazında yapılmıştır. Çekme deneyleri, ASTM D 638 standardı ve ASTM D 412 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. İki standartta da ortak kullanılan numune tipi seçilerek, plastik enjeksiyon kalıbı tasarlanmış ve numuneler üretilmiştir. Şekil 1'de gösterildiği gibi çekme numunesinin boyutları verilmiştir. Üretilen her çeşit kompozit malzemeden en az üç adet numune deneye tabi tutulmuştur. Deneylerin çekme hızı ilgili standartta belirtildiği gibi 500 mm/dk. olarak ayarlanmıştır.



Şekil 1: TPU çekme deney numunesi ölçüleri [26],[27]

### 2.4 Yırtılma Deneyi

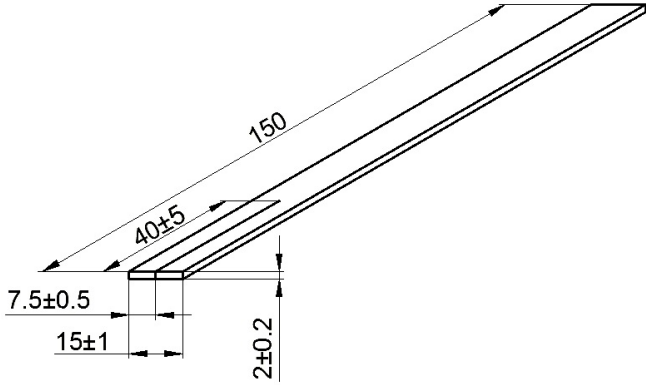
Yırtılma deneyleri, ASTM D 624 standardına göre Tip T (Trousers) 'ye göre yapılmıştır. Şekil 2'de görüldüğü ölçülerde plastik enjeksiyon makinesi ile 2 mm kalınlıkta üretilmiştir. Çekme hızı 50 mm/min olarak gerçekleştirilmiştir. Her bir kompozit çeşidi için üç adet numune deneye tabi tutulmuştur. Yırtılma esnasında oluşan grafikten maksimum kuvvet/kalınlık hesaplanarak yırtılma dayanımı hesap edilmiştir.

### 2.5 Sertlik Deneyi

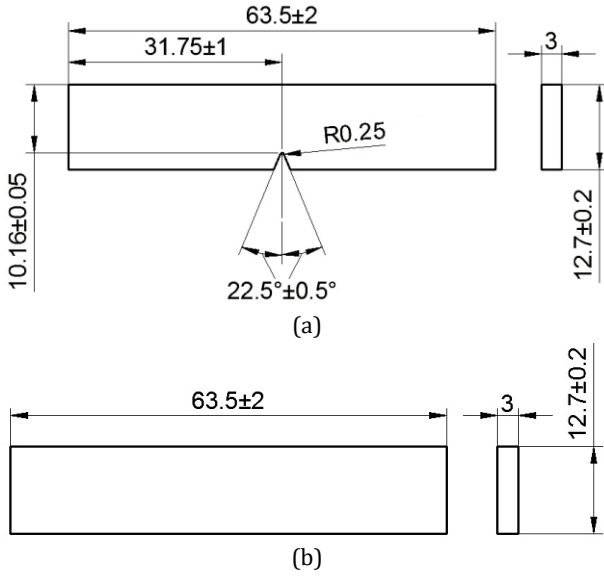
Sertlik ölçümleri Kori Seiki marka durometre ile Shore A cinsinden ölçülmüştür. Her bir numuneden üç adet ölçüm alıp ortalaması alınmıştır.

### 2.6 İzod Darbe Deneyi

İzod darbe deneyleri ASTM D 256 standardına göre yapılmıştır. Şekil 3'te belirtildiği ölçülerde çentikli ve çentiksiz olarak hazırlanan deney numuneleri,  $-40\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $-20\text{ }^\circ\text{C}$  ve  $23\text{ }^\circ\text{C}$ 'de (oda sıcaklığında) tutularak deneyler gerçekleştirilmiştir. Her kompozit üretimi için en az üç numune deneye tabi tutulmuştur. İzod darbe deneyleri 7.5 J'lik çekiç ile CEAST marka İzod darbe deneyi cihazında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2: Termoplastik poliüretan yırtılma deney numunesi ölçüleri [28].

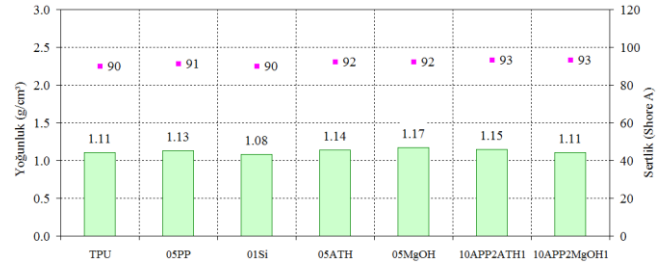


Şekil 3: Izod darbe deneyi numune boyutları; (a) çentikli, (b) çentiksiz [29].

### 3 Sonuçlar ve Tartışma

Polimer esaslı partikül takviyeli kompozit malzemeler, plastik enjeksiyon makinesinde sorunsuz olarak üretilebilmiştir. Üretilen numuneler çapaklarından ve yolluklarından temizlenerek gerekli şartlandırma koşullarında bekletilmiştir. Yoğunluk, sertlik, çekme deneyi, yırtılma deneyi ve Izod darbe deneyi sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Çekme deney sonuçlarında çekme dayanımı, %100, %200 ve %300 uzamadaki gerilme değerleri, kopma uzaması ve elastisite modülü değerleri verilmiştir. Izod darbe deneyinde ise çentikli ve çentiksiz olmak üzere -40 °C, -20 °C ve 23 °C'de yapılmış darbe testi sonuçları verilmiştir.

Üretilen kompozit malzemelerin yoğunluk ve sertlik değerleri Şekil 4'te verilmiştir. Kütlece %5 ATH ve MgOH katkılı kompozitte yoğunluk bir miktar artmıştır. İlave edilen katkı maddeleri ile sertlik değerlerinde çok az miktarda artış görülmüştür.

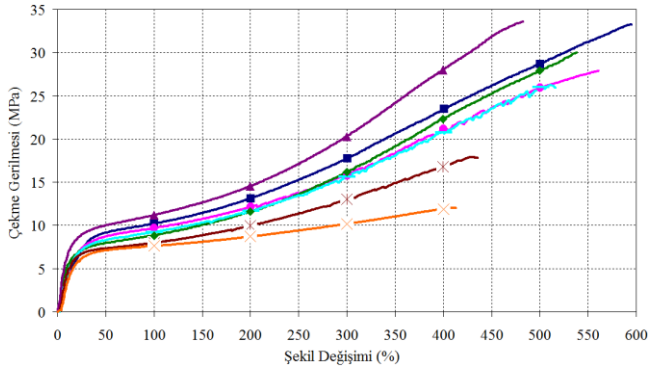


Şekil 4: Üretilen kompozit malzemelerin yoğunlukları ve sertlik değerleri.

TPU, 05PP ve 01Si katkısız üretimlerde mekanik özellikleri çokça değişmemektedir. Kütlece %5 ATH ilavesi ile çekme dayanımı ve %100, %200 ve %300 uzamalarda gerilme değerlerinde ve kopma uzaması değerinde katkısız ürünlere göre düşme görülmüştür (Şekil 5).

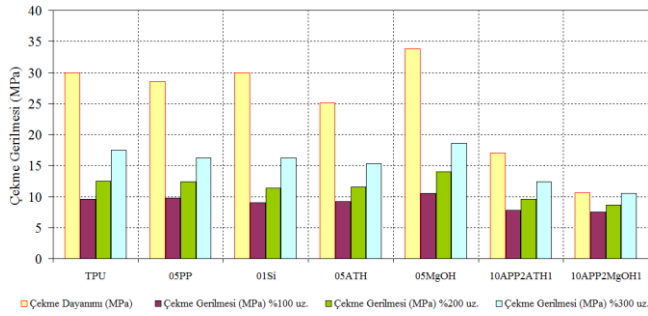
Tablo 2: Üretilen malzemelerin deney sonuçları.

Fiziksel Özellik	TPU	05PP	01Si	05ATH	05MgOH	10APP2ATH1	10APP2MgOH1
Yoğunluk (g/cm³)	1.11	1.13	1.08	1.14	1.17	1.15	1.11
Sertlik (Shore A)	90	91	90	92	92	93	93
Çekme Dayanımı (MPa)	29.92	28.53	29.94	25.11	33.83	16.99	10.59
%100 Uzamadaki Gerilme (MPa)	9.59	9.78	9	9.23	10.55	7.79	7.52
%200 Uzamadaki Gerilme (MPa)	12.49	12.36	11.4	11.56	13.97	9.62	8.63
%300 Uzamadaki Gerilme (MPa)	17.49	16.29	16.28	15.26	18.62	12.42	10.55
Kopma Uzaması (%)	512.53	562.65	527.59	506.14	492.12	440.47	433.48
Elastisite Modülü (MPa)	39.18	36.21	51.69	51.95	70.60	60.79	51.25
Yırtılma Dayanımı (N/mm)	55.73	68.1	70.59	57.58	69.32	55.77	48.83
Izod Darbe (23 °C Çentikli)	-	-	-	-	-	-	-
Izod Darbe (23 °C Çentiksiz)	-	-	-	-	-	-	-
Izod Darbe (-20 °C Çentikli)	-	-	-	-	-	-	-
Izod Darbe (-20 °C Çentiksiz)	-	-	-	-	-	-	-
Izod Darbe (-40 °C Çentikli)	-	-	-	-	-	Kırıldı (45.621 kJ/m²)	Kırıldı (18.679 kJ/m²)
Izod Darbe (-40 °C Çentiksiz)	-	-	-	-	-	-	-



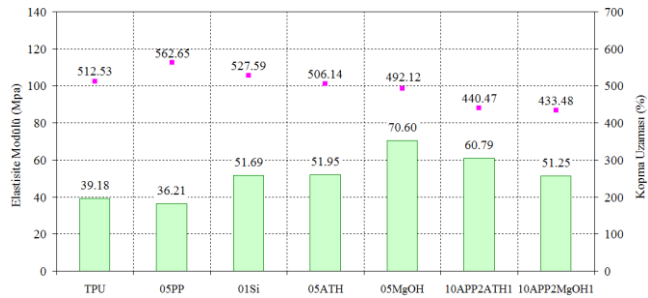
Şekil 5: Üretilen kompozit malzemelerin şekil değişimi - gerilme grafiği.

Kütlece %5 MgOH ilavesinde ise katkısız ürünlere göre çekme dayanımı ve %100, %200 ve %300 uzamalarda gerilme değerlerinde artış fakat kopma uzaması değerinde düşme gözlemlenmiştir (Şekil 6). %10 katkılı ürünlerde ise APP ile birlikte ATH ve MgOH ilavesi ile çekme gerilmesi değerlerinde dikkate değer düşme görülmüştür.



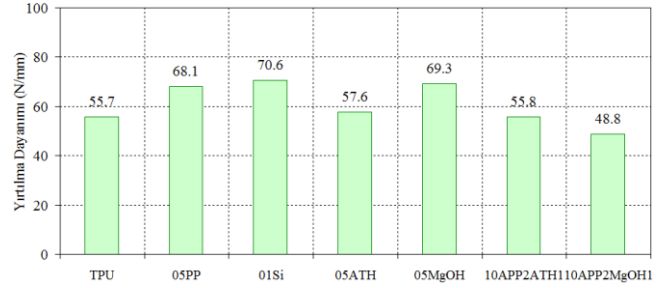
Şekil 6: Üretilen kompozit malzemelerin çekme dayanımı, %100, %200 ve %300 uzamadaki gerilme değerleri.

Katkı maddesi ilavesi ile oluşturulan kompozit malzemelerin elastisite modüllerinde artış görülmüştür (Şekil 7). Elastisite modülünü en fazla artıran katkı %5 MgOH ilaveli kompozitte görülmektedir. Katkı maddesi ilavesi ile birlikte kopma uzaması değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir.



Şekil 7: Üretilen kompozit malzemelerin elastisite modülü ve kopma uzaması değerleri.

Yırtılma deneyi sonuçlarından %5 PP ilavesi ile yırtılma dayanımının arttığı görülmüştür (Şekil 8). %1 Si ilavesi ile yırtılma dayanımı bir miktar daha artmıştır. %5 ATH ilavesi ile yırtılma dayanımı düşmektedir buna karşın %5 MgOH ilavesi ile yırtılma dayanımı artmıştır. Çekme deney sonuçlarına benzer şekilde %10 katkılı ürünlerde yırtılma dayanımı değerlerinde dikkate değer bir şekilde düşme görülmüştür (Şekil 8).



Şekil 8: Üretilen kompozit malzemelerin yırtılma dayanımı değerleri.

Izod darbe deneyi sonuçlarından -40 °C'de şartlandırılan 10APP2ATH1 ve 10APP2MgOH1 kompozitlerinin çentikli numuneleri kırılmış, diğer numunelerde kırılma görülmemiştir. Buna göre, polimer matris içerisine ilave edilen katkı maddelerinin kütlece yüzde artımı, Izod darbe dayanımlarını düşürmektedir. Bu sonuçlar, literatürle uyum içerisindedir [30].

Bu çalışmada polimer malzemelerde inorganik alev geciktirici olarak kullanılan alüminyum tri hidroksit ve magnezyum hidroksit katkı maddesinin termoplastik poliüretan-polipropilen kompozit malzemelerin mekanik özelliklerine etkileri incelenmiştir. Bununla birlikte polimer malzemelerde yaygın bir şekilde, kabaran alev geciktirici katkı maddesi olarak kullanılan amonyum polifosfatın bu inorganik maddelerle kullanımının mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Polimer matrise ilave edilen katkı maddeleri, oluşturulan kompozit yapıların sertliğini ve elastisite modülü değerlerini arttırmıştır. ATH ilavesi ile çekme dayanımı değerinde düşme görülürken MgOH ilavesi ile çekme dayanımı değerinde artış görülmüştür. APP ile birlikte ilave edilen ATH ve MgOH katkıları oluşturulan kompozit yapıların çekme dayanımını düşürmüştür. Farklı sıcaklıklarda yapılan Izod darbe deney sonuçlarından %5 ATH ve %5 MgOH katkılı kompozitlerde kırılma görülmemiş fakat %10 APP-ATH ve APP-MgOH katkılı kompozitlerin -40 °C'de yapılan deneylerinde çentikli numunelerde kırılma görülmüştür.

#### 4 Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenen 108T246 numaralı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Yazarlar, desteği için TÜBİTAK'a teşekkür ederler.

#### 5 Kaynaklar

- [1] Ayrılmış N. "Combined Effects of Boron and Compatibilizer on Dimensional Stability and Mechanical Properties of Wood/HDPE Composites". *Composites: Part B*, 44(1), 745-749, 2013.
- [2] İsitman NA, Kaynak C. "Effect of Partial Substitution of Aluminum Hydroxide with Colemanite in Fire Retarded Low-Density Polyethylene". *Journal of Fire Sciences*, 31(1), 73-84, 2012.
- [3] Kurt R, Mengeloğlu F. "Utilization of Boron Compounds as Synergists with Ammonium Polyphosphate for Flame Retardant Wood-Polymer Composites". *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 35(2), 155-163, 2011.
- [4] Li S, Long B, Wang Z, Tian Y, Zheng Y, Zhang Q. "Synthesis of Hydrophobic Zinc Borate Nanoflakes and Its Effect on Flame Retardant Properties of Polyethylene". *Journal of Solid State Chemistry*, 183(4), 957-962, 2010.



- [5] Nyambo C, Kandare E, Wilkie CA. "Thermal Stability and Flammability Characteristics of Ethylene Vinyl Acetate (EVA) Composites Blended with a Phenyl Phosphonate-Intercalated Layered Double Hydroxide (LDH), Melamine Polyphosphate and/or Boric Acid". *Polymer Degradation and Stability*, 94(4), 513-520, 2009.
- [6] Ramazani SAA, Rahimi A, Frounchi M, Ramdan S. "Investigation of Flame Retardancy and Physical-Mechanical Properties of Zinc Borate and Aluminum Hydroxide Propylene Composites". *Materials and Design*, 29(5), 1051-1056, 2008.
- [7] Haurie L, Fernandez AI, Velasco JI, Chimenos JM, Lopez-Cuesta JM, Espiell F. "Effects of Milling on The Thermal Stability of Synthetic Hydromagnesite". *Materials Research Bulletin*, 42(6), 1010-1018, 2007.
- [8] Atikler U, Demir H, Tokatlı F, Tihminhoğlu F, Balköse D, Ülkü S. "Optimisation of the Effect of Colemanite as a New Synergistic Agent in an Intumescent System". *Polymer Degradation and Stability*, 91(7), 1563-1570, 2006.
- [9] Hanu LG, Simon GP, Cheng YB. "Thermal Stability and Flammability of Silicone Polymer Composites". *Polymer Degradation and Stability*, 91(6), 1373-1379, 2006.
- [10] Sain M, Park SH, Suhara F, Law S. "Flame Retardant and Mechanical Properties of Natural Fibre-PP Composites Containing Magnesium Hydroxide". *Polymer Degradation and Stability*, 83(2), 363-367, 2004.
- [11] Chen X, Jiang Y, Jiao C. "Smoke Suppression Properties of Ferrite Yellow on Flame Retardant Thermoplastic Polyurethane based on Ammonium Polyphosphate". *Journal of Hazardous Materials*, 266(1), 114-121, 2014.
- [12] Xue M, Zhang X, Wu Z, Wang H, Gu Z, Bao C, Tian X. "A Commercial Phosphorous-Nitrogen Containing Intumescent Flame Retardant for Thermoplastic Polyurethane". *Journal of Applied Polymer Science*, 131(2), 1-6, 2013.
- [13] Tabuani D, Bellucci F, Terenzi A, Camino G. "Flame Retarded Thermoplastic Polyurethane (TPU) for Cable Jacketing Application". *Polymer Degradation and Stability*, 97(12), 2594-2601, 2012.
- [14] Zhao K, Xu W, Song L, Wang B, Feng H, Hu Y. "Synergistic Effects Between Boron Phosphate and Microencapsulated Ammonium Polyphosphate in Flame-Retardant Thermoplastic Polyurethane Composites". *Polymers for Advanced Technologies*, 23(5), 894-900, 2011.
- [15] Lin M, Li B, Li Q, Li S, Zhang S. "Synergistic Effect of Metal Oxides on the Flame Retardancy and Thermal Degradation of Novel Intumescent Flame-Retardant Thermoplastic Polyurethanes". *Journal of Applied Polymer Science*, 121(4), 1951-1960, 2011.
- [16] Bourbigot S, Turf T, Bellayer S, Duquesne S. "Polyhedral Oligomeric Silsesquioxane as Flame Retardant for Thermoplastic Polyurethane". *Polymer Degradation and Stability*, 94(8), 1230-1237, 2009.
- [17] Quan H, Zhang B, Zhao Q, Yuen RKK, Li RKY. "Facile Preparation and Thermal Degradation Studies of Graphite Nanoplatelets (GNPs) Filled Thermoplastic Polyurethane (TPU) Nanocomposites". *Composites: Part A*, 40(9), 1506-1513, 2009.
- [18] Liu Y, Liu M, Xie D, Wang Q. "Thermoplastic Polyurethane-Encapsulated Melamine Phosphate Flame Retardant Polyoxymethylene". *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 47(3), 330-334, 2008.
- [19] Könnicke D, Kühn A, Mahrholz T, Sinapius M. "Polymer Nanocomposites Based on Epoxy Resin and ATH as a New Flame Retardant for CFRP: Preparation and Thermal Characterisation". *Journal of Materials Science*, 46(21), 7046-7055, 2011.
- [20] Zhang J, Hereid J, Hagen M, Bakirtzis D, Delichatsios MA, Fina A, Castrovinci A, Camino G, Samyn F, Bourbigot S. "Effects of Nanoclay and Fire Retardants on Fire Retardancy of a Polymer Blend of EVA and LDPE". *Fire Safety Journal*, 44(4), 504-513, 2009.
- [21] Meng XY, Ye L, Zhang XG, Tang PM, Tang JH, Ji X, Li ZM. "Effects of Expandable Graphite and Ammonium Polyphosphate on the Flame-Retardant and Mechanical Properties of Rigid Polyurethane Foams". *Journal of Applied Polymer Science*, 114(2), 853-863, 2009.
- [22] Li B, Jia H, Guan L, Bing B, Dai J. "A Novel Intumescent Flame-Retardant System for Flame-Retarded LLDPE/EVA Composites". *Journal of Applied Polymer Science*, 114(6), 3626-3635, 2009.
- [23] Tarakçılar AR. "The Effects of Intumescent Flame Retardant Including Ammonium Polyphosphate/Pentaerythritol and Fly Ash Fillers on the Physicomechanical Properties of Rigid Polyurethane Foams". *Journal of Applied Polymer Science*, 120(4), 2095-2102, 2011.
- [24] Usta N. "Investigation of Fire Behavior of Rigid Polyurethane Foams Containing Fly Ash and Intumescent Flame Retardant by using a Cone Calorimeter". *Journal of Applied Polymer Science*, 124(4), 3372-3382, 2012.
- [25] ASTM D 618-08. "Standard Practice for Conditioning Plastics for Testing". *American Society for Testing and Materials*, New York, 2008.
- [26] ASTM D 638-08. "Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics". *American Society for Testing and Materials*, New York, 2008.
- [27] ASTM D 412-06. "Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers". *American Society for Testing and Materials*, New York, 2006.
- [28] ASTM D 624-00. "Standard Test Method for Tear Strength of Conventional Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers". *American Society for Testing and Materials*, New York, 2007.
- [29] ASTM D 256-06. "Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics". *American Society for Testing and Materials*, New York, 2006.
- [30] Hamid Y, Bakar AA, Deirram N. "Mechanical and Morphological Properties of Waste Eurycoma Longifolia Fiber/Montmorillonite Reinforced Poly (vinyl chloride) Hybrid Composites". *Journal of Applied Polymer Science*, 128(2), 1170-1175, 2012.

\* Bu makale IMSP 2014'te sunulan bir bildiriden çıkarılmıştır