

AKÜ FEMÜBİD 15 (2015) 015702 (9-20)
DOI: 10.5578/fmbd.8851

AKU J. Sci.Eng.15 (2015) 015702 (9-20)

Araştırma Makalesi / Research Article

PA 6/ YYPE / Nanokil Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Alim Kaştan¹, Yılmaz Yalçın², Hüseyin Ünal³, Şükrü Talaş²

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Öğretmenliği

²Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

³Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

e-posta: yyalcin@aku.edu.tr

Geliş Tarihi:18.11.2014 ;Kabul Tarihi:12.01.2015

Özet

Bu çalışmada matris malzeme poliamid 6 (PA 6), katkı malzemeleri olarak yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE), uyumlaştırıcı olarak melaik anhidrit ile aşılınmış polietilen (PE-g-MA) ve nanokil (NC) olarak montmorillonit kullanılmıştır. On farklı kompozisyonda malzeme üretilmiştir. Hazırlanan kompozitlerin içerisindeki uyumlaştırıcının ve nanokilin malzeme özelliklerine olan etkisi araştırılmıştır. Üretilen kompozitlere mikroyapı (TEM) incelemeleri, çekme mukavemeti, eğilme mukavemeti, sertlik gibi mekanik testler uygulanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda % 5 nanokil ilavesi ile çekme mukavemetinde PA 6/YYPE/PE-g-MA(80/20/5) malzemesi için yaklaşık % 15 artış meydana gelmiştir. Kompozit içerisine ilave edilen % 1 nanokilin maksimum uzama değerini ortalama % 13,3 azaltmıştır. PA 6/YYPE/PE-g-MA(80/20/5) malzemesinin elastisite modülü malzeme içerisine % 5 ilave edilen uyumlaştırıcı elastisite modülü % 77 artırmıştır. Aynı numune için %1 nanokil ilavesi ile % 13, % 3 nanokil ilavesi ile elastisite modülü değerlerinde % 38,6 ve % 5 nanokil ilavesi ile elastisite modülü değerlerinde % 63 artış meydana gelmiştir.

Anahtar kelimeler

PA 6; HPE; Nanokil;
Uyumlaştırıcı

Investigation of PA 6 / HDPE / Nanoclay Composites Mechanical Properties

Abstract

In this study, matrix material polyamide 6 (PA6), high density polyethylene as an additive materials (HDPE), maleic anhydride grafted polyethylene with as compatibilizer (PE-g-MA) and nanoclay (NC) was used as montmorillonite. Ten different compositions were produced material. Effect of the compatibilizer and nanoclay in the material properties of composites prepared were investigated. The produced composite microstructure (TEM), tensile, bending and hardness tests were applied. As a result of the experiments, the tensile strength of PA6 / HDPE / PE -g- MA (80/20/5) with the addition of 5% nanoclay increased for about 15%. 1% nanoclay addition reduced the overall tensile strength by 13.3%. Elasticity modulus of PA 6/YYPE/PE-g-MA(80/20/5) composite increased 77% with the addition of 5% compatibilizer. Elasticity modulus, in general, increased 13%, 38.6% and 63% with the nanoclay additions of 1%, 3% and 5%, respectively

Key words

PA 6; HPE; Nanoclay;
compatibilizer

1.Giriş

Son yıllarda doğal kaynakların azalması, bu kaynakların uygun şekilde kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir. Bununla paralel olarak zaman

kazanmak için daha hızlı çalışan cihazların üretilmesi, daha uzun süre kullanılması ve bunların yanında daha ucuz üretim gibi etkenlerde bu çalışmalara ivme kazandırmıştır. Bundan dolayı kompozit malzemeler ön plana çıkmaktadır. Kompozit yapılar sayesinde daha hafif, daha az enerji tüketen, daha ekonomik ve daha performanslı yapılar oluşturulmaktadır. Bugün için inşaat sektöründen uzay sanayine, spor gereçlerinden müzik aletlerine, denizcilikte kullanılan malzemelerden otomotiv sektörüne, çeşitli üretim makinelerin yapılarına kadar kompozit malzeme yerini almakta ve almaya devam etmektedir (1). Kompozit terimi geniş anlamda doğal veya sentetik iki veya daha fazla bileşenin bir araya getirilmesi ile oluşturulan malzeme olarak tanımlanabilir(2). Polimerik malzemeler; özelliklerinin makina konstrüksiyonuna uyumu, ağırlığa oranla dayanımlarının yüksek olması ve istenilen bir çok özelliğin kolay kazandırılması nedeniyle, bazı metallerin yerine tercihen kullanılmaktadır. Hızlı bir gelişme içinde olan polimer malzemelerin çeşitliliği arttıkça günlük hayatta, makina konstrüksiyonlarında, uzay ve havacılık alanlarında kullanımları da yaygınlaşmaktadır (3). "Nano" sözcük olarak, bir fiziksel büyüklüğün bir milyarda biri anlamına gelir. Bir nanometreyse, metrenin bir milyarda birine eşit uzunluk birimidir. İnsan saç telinin çapının yaklaşık 100.000 nanometre olduğu düşünülürse ne kadar küçük bir ölçekten bahsedildiği daha kolay anlaşılır. Yaklaşık 100–1000 atom bir araya

gelerek nano ölçeklerde bir nesneyi oluşturur. Buna nano yapı denir (4-5). Nanobilim ve nanoteknoloji, gelecek yıllar için bilim ve teknolojiye geleceği en parlak alan olarak düşünülmektedir. Bunun sonucu olarak, dünyada hemen hemen her ülke bu konuya ciddi ölçüde yatırımlar yapmaktadırlar. Son on yıldır nanometre ölçekli bilim ve teknolojiye ilgi her geçen gün artmaktadır. Bütün dünyada devlet enstitüleri, kamusal araştırma merkezleri, üniversiteler ve firmalar bu yönde ciddi yatırımlarda bulunmaktadır (6-7). Polimerik nanokompozitler (PNC) genelde % 1–3 oranında nanopartikül içermektedir ve tek bileşen ve tek faz gibi davranan materyallerdir. PNC'ler saydamlık, düşük yoğunluk, yanıcılığı azaltma, düşük geçirgenlik, mekanik özelliklerinin gelişimi gibi özellikler içerir (5). Poliamid türlerinin içinde, mekanik ve fiziksel özellikleri açısından en önemlileri poliamid 6 ve PA 66'dır. Çünkü sertlik, sağlamlık ve ısı mukavemetleri diğer bütün poliamid tiplerine nazaran daha iyidir (8). Poliamid 6 molekül Ağırlığı 80000-100000 arasında değişen, yüksek kristallığe sahip, nem aktivitesi düşük, döküm yöntemi ile de imal edilebilen sentetik bir termoplastik olup, naylon türlerinin içinde mekanik ve fiziksel özellikleri açısından en iyi olanıdır. Bundan dolayı darbe dayanımı yüksek, nem aktivitesi düşük ve işlenebilme kolaylığı gereken uygulamalarda tercih edilir. PA 6' nın yoğunluğu 1.12-1.14 gr/cm³ arasında değişirken erime noktası 220 °C ve Camsı geçiş sıcaklığı ise 50 °C'dir. YYPE yüksek kristallenmeye sahip bir termoplastiktir. -80 °C ile 80 °C arası sıcaklıklarda kullanılabilir. YYPE'nin mikroyapısında amorf ve kristal olmak üzere iki faz bulunur. Oda sıcaklığında kauçuk gibi olan amorf faz, herhangi bir ayrılma olmaksızın kristal fazın belli miktarlarda hareket etmesine ve değişmesine müsaade eder. Bu deformasyon biçimi plastik olarak isimlendirilir. Büyük miktarda toplanabilir olan bu davranış moleküler zincirde herhangi bir kopma meydana gelmeden oluşur.

Bu özellik yarı kristal polimerlerin yüksek tokluğa sahip olmasını sağlar (10).

Daha önce yapılan çalışmada Dayma ve ark. (2012) yapmış oldukları çalışmada PA 6' ya maleic anhidridle aşılınmış alçak yoğunluklu polietilen ve nanokil katarak mikro yapı ile mekanik özellikler arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. (PA-6/LDPE-g-MA; (80:20) ve nanokil (Cloisite 30B) oranı % 0'dan % 6'ya kadar ilave etmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda % 5-15 maleic anhidridle aşılınmış alçak yoğunluklu polietilen ile üretilen üçlü malzemenin elastik modülünde % 20 ve çekme mukavemetinde % 11 azalma olduğunu tespit etmişlerdir. Ancak darbe dayanımında %300'den daha fazla artış olduğunu hesaplamışlardır. Ağırlık oranının % 20'ye çıkarılması ile çekme dayanımında % 25'e kadar düşme görülürken, darbe dayanımı % 700'e kadar artmıştır. Bu malzemeye nanokil ilavesi ile akma mukavemetinde % 9, çekme mukavemetinde % 200 oranında artış olduğunu saptamışlardır. Scaffaro ve ark. (2008) yılında; Poliamid 6, yüksek yoğunluklu polietilen ve nanokil kompozite uyumlaştırıcı katarak hazırladıkları malzemelerin karakterizasyon çalışmalarını yapmışlardır. Bu çalışmada PA 6/YYPE ve organik olarak modifiye edilmiş montmorillonit (OMM) karışımına, etilen-co-akrilik asit kopolimeri (EAA) ve -fenilen-bis 2-oksazolin (PBO) gibi değişik uyumlaştırıcılar ilave etmişlerdir. OMM ilavesi ile elastik modülün arttığını tespit etmişlerdir. Filippone ve ark. (2010) yılındaki çalışmalarında YYPE, PA 6 ve organik modifiyeli montmorillonit kullanmışlardır. Malzemedeki kil oranı arttıkça PA 6 fazının özelliklerinde değişik etkiler görmüşlerdir. Bundan dolayı düşük kil oranlarında bile PE'nin faz içerisindeki dağılımında ani olarak azalma tespit etmişler. Kilin tabakalı yapısının

malzemelerin eritilmesi sırasında damlacıkların karışmasına fiziksel bir engel olduğunu ve bu durumun iki sonucu olduğunu saptamışlardır. Düşük kil oranlarında yapıda karışımın olmadığı, mikro kompozit oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Ancak PE matris içerisinde nanokil katkılı PA 6 oranının artması ile düzenli bir yapının elde edildiği gözlenmiştir. Bu çalışmada PA 6 matris içerisine değişik oranlarda katılan YYPE, PE-g-MA NC'nin üretilen kompozitlerin mekanik özelliklerine olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada matris malzemesi olarak PA 6 (DSM AKULON F 223 D), organokil olarak belirlendi. Çekme test numuneleri ISO 294-1'e (ISO 2006) standardına uygun olarak üretildi.

montmorillonit (Nanocor I30) %1, %3 ve %5 oranlarında, yüksek yoğunluklu polietilen (PETKİM) %20 oranında kullanıldı. Uyumlaştırıcı(C) olarak ta Maleic anhidride aşılınmış Polietilen (POLYBOND HKMA 04) %5 ve %10 kullanıldı. Granüller halindeki malzemeler 80 °C'de 12 saat kurutulduktan sonra kuru olarak karıştırıldı. Malzemeler, vida çapı 25mm, L/D oranı 48:1 olan çift vidalı ekstrüderde 500 rpm karıştırma hızında üretildi. Üretim sırasında ekstrüder sıcaklığı besleme bölgesinden bitiş bölgesine kadar sırası ile 200 °C, 230 °C ve 240 °C seçildi. Üretilen granüller enjeksiyon kalıbına basılmadan önce 12 saat 80 °C kurutuldu. Enjeksiyon sıcaklıkları 1 bölge 200 °C, 2 bölge 240 °C, ve 3 bölge 260 °C seçilerek enjeksiyon işlemi yapıldı. Çalışmada kullanılmak üzere üretilen kompozitlerin detayları Çizelge 1'de görülmektedir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan malzemeler

Çalışmada Kullanılan Malzemeler	% Karışım Oranı				Malzeme ismi (kısaltmalar)
	PA 6	YYPE	PE-g-MA(U) Uyumlaştırıcı	Nanokil(NK)	
PA 6	100	-	-	-	P
YYPE	100	-	-	-	Y
PA 6/YYPE	80	20	-	-	PY
PA 6/YYPE/PE-g-MA	80	20	5	-	PYU5
PA 6/YYPE/PE-g-MA/Nanokil	80	20	5	1	PYU5NK1
PA 6/YYPE/PE-g-MA/Nanokil	80	20	5	3	PYU5NK3
PA 6/YYPE/PE-g-MA/Nanokil	80	20	5	5	PYU5NK5
PA 6/YYPE/PE-g-MA/Nanokil	80	20	10	1	PYU10NK1
PA 6/YYPE/PE-g-MA/Nanokil	80	20	10	3	PYU10NK3
PA 6/YYPE/PE-g-MA/Nanokil	80	20	10	5	PYU10NK5

Numuneler Anadolu Üniversitesi Bitki İlaç ve Bilimsel Araştırma Merkezinde CryoLeica EM UC7 marka Ultramicrotome ile oda sıcaklığında 80 nm kalınlığında kesildi. Malzeme içerisine katılan nanokilin dağılımının nasıl olduğunun belirlenmesi için Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakültesi'nde TEM incelemesi yapıldı. İncelemelerde ZEISS LEO 906 Almanya patentli TEM cihazı kullanıldı. Çalışma voltajı olarak 80 kV

Çekme testleri, Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi laboratuvarında bulunan Zwick 0440 marka çekme cihazıyla ISO 527.2'ye (ISO 1996) uygun olarak çekme hızı 10 mm/dk olacak şekilde, 23 °C ortam şartlarında yapıldı. Çekme deneyleri sonucunda kompozitlerin çekme mukavemeti ve % uzama değerleri tespit edildi. Eğilme deneyleri ISO 178 standardına göre Marmara Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarında oda sıcaklığında yapıldı. Deneylerde Zwick Z010 üniversal çekme cihazı

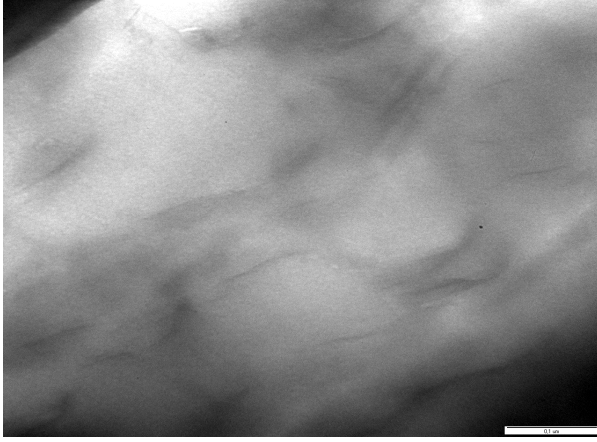
kullanıldı. Eğilme deneyleri için 80x10x4mm ölçülerindeki numuneler kullanıldı. Destek açıklığı 1/16 (64 mm) olarak ayarlandı. Eğme hızı 2mm/dak. olarak seçildi. %5 eğilmenin gerçekleştiği nokta belirlendi. Sertlik testleri Zwick marka Shore D sertlik test cihazıyla ISO 868'e (ISO 2003) uygun olarak gerçekleştirildi. Sertlik testi için çekme numuneleri kullanıldı. Sertlik testleri için her numunenin beş yerinden ve beş ayrı numuneden ölçüm yapılarak aritmetik ortalamaları alındı.

3.Bulgular

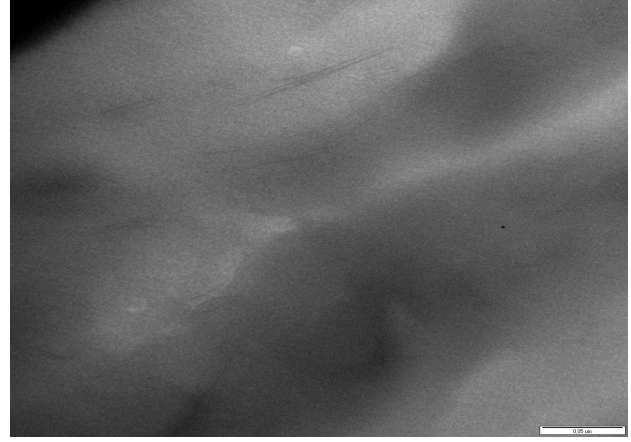
Kompozit malzemelerde mekanik özellikler sadece katkı malzemelerinin oranına ve şekline bağlı değildir. Aynı zamanda malzeme içerisine ilave edilen katkıların dağılımına da bağlıdır. Özellikle nano katkı malzemelerde portiküllerin matris içerisindeki dağılımı ve bu dağılımın şekli önemlidir. Bu dağılımın belirlenmesi amacı ile TEM incelemesi yapıldı. Şekil 1 incelendiğinde nano kilin matris içerisinde homojen bir şekilde dağıldığı, genellikle intercalated kısımda exfoliated yapının olduğu görülmektedir. Ayrıca nano partiküllerin enjeksiyon sırasında belirli bir

şekilde yönlendiği görülmektedir. Buradan hareketle nanokilin PA 6 matris içerisinde

dağılımının sağlandığı söylenebilir.



a

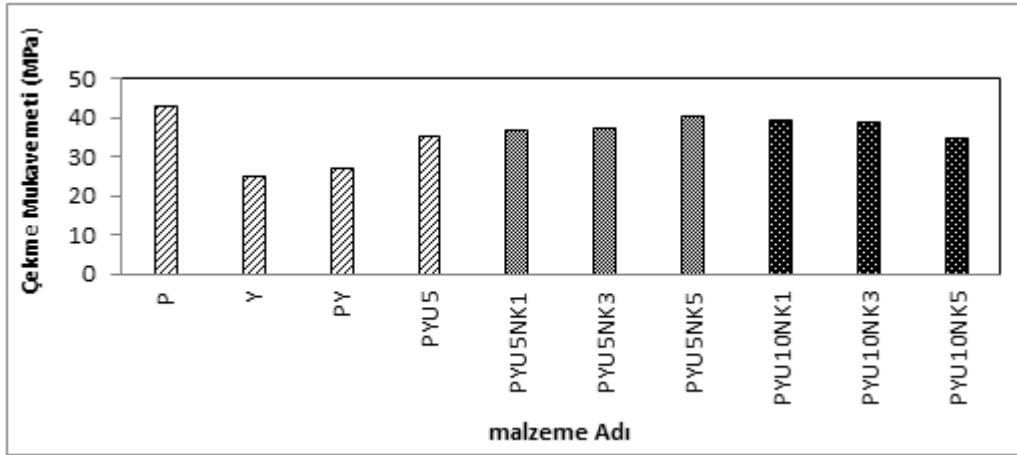


b

Şekil 1. PA 6(%80)/YYPE(%20)/ PE-g-M(%10)/NC (%5) kompozitin **a)** 100000X **b)** 167000X büyütmedeki TEM görüntüsü

Çekme mukavemetindeki değişimin, oluşturulan malzemelerin katkısız, uyumlaştırıcı, nanokil ilaveli ve bu katkıların oranlarının değişmesi ile nasıl etkilendiği araştırılmıştır. Şekil 2'de görüldüğü gibi katkısız PA 6'nın çekme mukavemetinin 43 MPa, katkısız YYPE'nin 25,1 MPa olduğu tespit edilmiştir. PA 6/YYPE(80/20) oranında üretilen malzemenin çekme mukavemeti 27,1 MPa'dır. Yapıya ilave edilen % 5 uyumlaştırıcı (PE-g-MA) ile çekme mukavemetinde % 30 artış meydana gelerek 35,3 MPa değerine ulaşmıştır. Uyumlaştırıcı, çekme

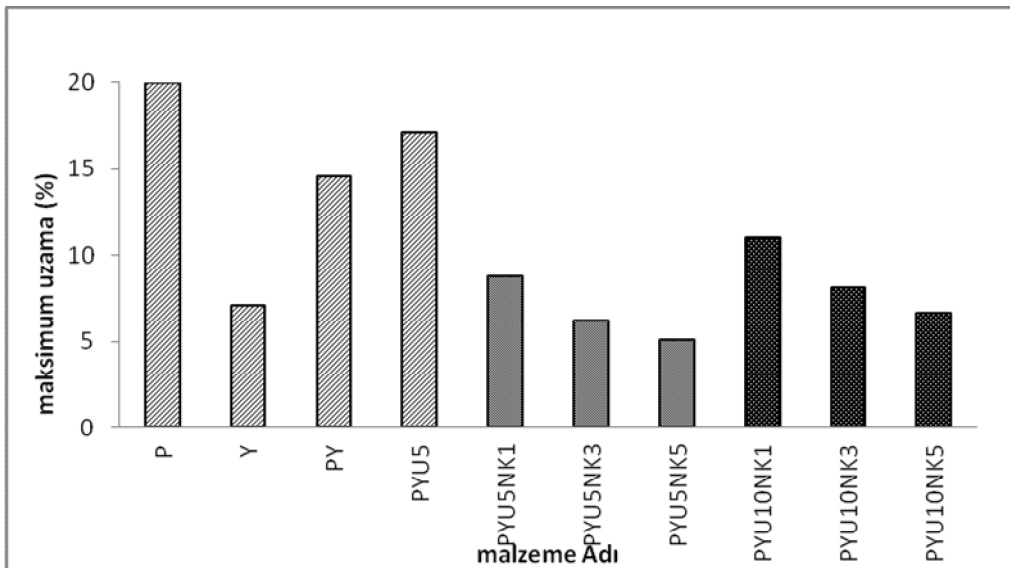
mukavemetinde ciddi bir artış meydana getirmiştir denilebilir. % 1 nanokil ilave edilerek PA 6/YYPE/PE-g-MA/Nanokil (80/20/5/1) oranında kompozit üretilmiştir. % 1 nanokil çekme mukavemetini 37 MPa değerine çıkarmıştır. Bu artış çekme mukavemetinde % 5'e tekabül eder. Kompozitteki nanokil oranı %2'ye çıkarılınca çekme mukavemeti 37,8 MPa, % 5'e çıkarılınca ise 40,6 MPa olmuştur. Buradan hareketle yapıya ilave edilen % 5 nanokilin çekme mukavemetinde % 15 civarında artış meydana getirdiği söylenebilir.



Şekil 2. Çekme mukavemeti grafiği

PA 6/YYPE/PE-g-MA/Nanokil (80/20/5/1) oranındaki malzemenin içerisindeki uyumlaştırıcının % 10'a artırılması ile çekme mukavemeti 39,8 MPa değerine gerilemiştir. Yapıdaki nanokil oranı % 3 iken bu değer 39,3MPa, % 5 iken ise 34,8 MPa olarak ölçülmüştür. Uyumlaştırıcının artırılması çekme mukavemetini düşürmüştür. Şekil 2 incelendiğinde en yüksek çekme mukavemetine sahip olan katkısız PA 6'ya en yakın çekme mukavemeti değerlerinin PA 6/YYPE/PE-g-MA/Nanokil (80/20/5/5) ve PA 6/YYPE/PE-g-

MA/Nanokil (80/20/10/1) olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar itibari ile uyumlaştırıcı ve nanokil ilavesi ile üretilen malzemeler için en yüksek çekme mukavemeti PA 6/YYPE/PE-g-MA/Nanokil (80/20/5/5) kompozisyonundaki malzemede gerçekleşmiştir. Bunun sebebinin uyumlaştırıcının birbirine karışmayan PA 6 ve YYPE arasında yeni bağlar oluşturması, nano partiküller arasına giren polimer zincirlerinin hareketlerinin yavaşlaması olduğu düşünülmektedir. Elde edilen sonuçlar Scaffaro ve ark. (2008) yapmış oldukları çalışma ile örtüşmektedir.



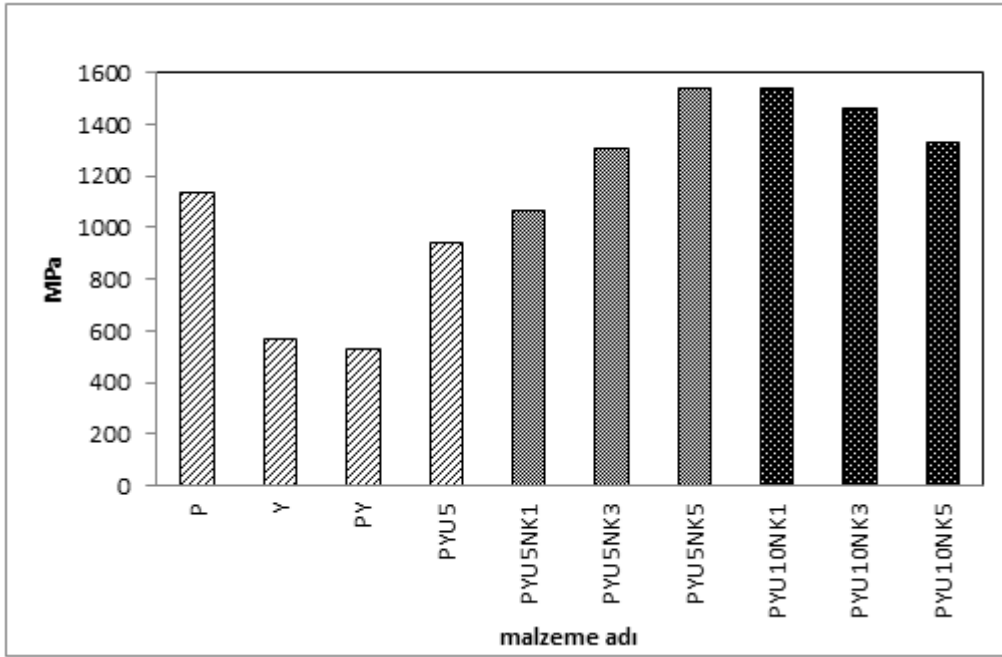
Şekil 3. Maksimum uzama grafiği

Şekil 3'te üretilen malzemelerin maksimum uzama değerleri görülmektedir. En fazla uzamanın olduğu malzeme % 20 ile katkısız PA 6'dır. Yapıya katılan nanokil ve uyumlaştırıcı ile bu oran değişmiştir. PA 6/YYPE(80/20) kompozitinin maksimum uzama değerinin %14,6 iken yapıya ilave edilen uyumlaştırıcı ile bu değer % 17,1'e yükselmiştir. Yani % 5 uyumlaştırıcı ilavesi ile % 17 oranında uzamada artış meydana gelmiştir. Buradan hareketle sünekliğin artmasının olumlu bir gelişme olduğu söylenebilir.

PA 6/YYPE/PE-g-MA(80/20/5) oranlarında üretilen malzemeye nanokil ilavesinin yüzde uzamaya etkisini incelediğimiz zaman, % 1 nanokil ilavesi ile uzama değeri % 13,3 olmuştur. Bu değer nano kil oranı % 3 iken 8,1 ve % 5'e çıkınca da % 6,6 olmuştur. Yapısında PA 6/YYPE/PE-g-MA(80/20/5) bulunan malzemeye % 5 nanokil ilavesi ile süneklikte % 112 azalma olmuştur. Malzeme içerisindeki artan nanokil oranı ile sünekliğin azaldığı sonucuna varılabilir. Bu durumu Kusmono vd. (2008) "malzeme içerisindeki nanokilin tabakalı ve pullanmış yapısına polimer zincirlerinin girerek esnekliği azaltması" olarak açıklamışlardır. Malzeme içerisindeki uyumlaştırıcı % 5'ten %10'a çıkarılarak PA 6/YYPE/PE-g-MA/Nanokil (80/20/10/1) kompoziti üretilmiştir ve bu

malzemenin % uzaması 5,3 olarak ölçülmüştür. Kompozit içerisindeki nanokil oranı % 3'e çıkarılınca bu değer 8,8, % 5 için ise 3,7 olarak gerçekleşmiştir. Yapıdaki uyumlaştırıcı ve nanokil arttıkça malzemenin sünekliği azalmış ve malzeme gevrekleşmiştir. Malzeme içerisine konulan nanokilin kristalliliği azaltmasından dolayı sünekliğin azaldığı düşünülmektedir. Sonuçlar, Scarrafo ve ark. (2008) yapmış oldukları çalışmada ile örtüşmektedir.

Yapılan çalışmada üretilen kompozit malzemelerin elastisite modülü değerleri Şekil 4'te görülmektedir. Katkısız PA 6 ve YYPE ile bu malzemelerin belirli oranlarda karıştırılarak üretilmesi sonucunda elastisite modülünde ne gibi değişimler olduğu incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda katkısız PA 6'nın elastisite modül değeri 1138 MPa, YYPE'nin elastisite modül değeri 572,8 MPa olarak hesaplanmıştır. PA 6/YYPE(80/20) oranında üretilen malzemenin elastisite modülü değeri 530,6 MPa'dır. Yapıya % 5 uyumlaştırıcı ilavesi ile üretilen PA 6/YYPE/PE-g-MA(80/20/5) malzemesinin elastisite modülü 943 MPa olarak hesaplanmıştır. Yani malzeme içerisine % 5 ilave edilen uyumlaştırıcı elastisite modülünü % 77 arttırmıştır. Bu artış malzeme adına gayet olumlu ve önemli bir artıştır.



Şekil 4. Malzemelerin Elastisite modülü grafiği

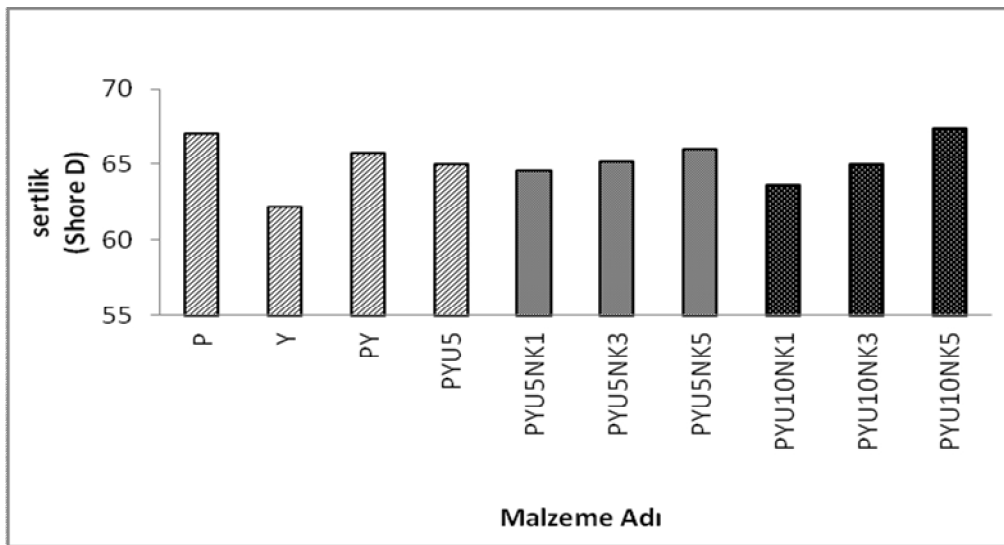
Malzemeye ilave edilen nanokil miktarının elastisite modülü üzerinde ne gibi etkisinin olduğunu belirlemek için deneyler yapıldı. Şekil 4'te de görüldüğü gibi nanokilin malzemenin elastisite modülü değerlerini çok ciddi oranlarda değiştirmiştir. % 1 nanokil ilavesi ile elde edilen PA 6/YYPE/PE-g-MA/Nanokil (80/20/5/1) kompozitinin elastisite modülü değeri 1066 MPa olarak bulundu. Nanokil oranı % 3 iken elastisite modülü değeri 1307 MPa, % 5 iken 1543 MPa değerine ulaştı. Yapısında nanokil olmayan PA 6/YYPE/PE-g-MA(80/20/5) malzemesi ile kıyaslama yaptığımızda, elastisite modülü değerlerinde; % 1 nanokil ilavesi ile % 13, % 3 nanokil ilavesi ile elastisite modül değerlerinde % 38,6 ve % 5 nanokil ilavesi ile elastisite modül değerlerinde % 63 artış meydana gelmiştir. Elastisite modülündeki artışın sebebinin malzeme içerisine ilave edilen nanokilin, polimer molekül zincirlerinin moleküler hareketine silikat tabakasının kısıtlayıcı etkisinden kaynaklandığı sanılmaktadır. Sonuçlar Kusmono ve ark. (2008) ve Touchaleaume ve ark. (2011) yapmış oldukları çalışmalarla benzerdir. Uyumlaştırıcı oranı %

5'ten % 10'a çıkarılarak deneyler tekrarlanmış ve elastisite modülünde meydana gelen değişimler hesaplanmıştır. Yapıdaki uyumlaştırıcının % 10 olması ile elde edilen PA 6/YYPE/PE-g-MA/Nanokil (80/20/10/1) kompozit malzemesinin elastisite modülü 1546 MPa olarak gerçekleşmiştir. İçerisinde % 5 uyumlaştırıcı bulunan PA 6/YYPE/PE-g-MA/Nanokil (80/20/5/1) malzemesinin elastisite modülü değerinin 1066 MPa olduğu göz önünde bulundurulduğunda uyumlaştırıcının % 5 artması ile elastisite modülü değerinde % 45 oranında artış olduğu söylenebilir. Ancak yapıda bulunan nanokil oranı artırılınca elastisite modülü değeri düşmüştür. Uyumlaştırıcı miktarının artması, yapıdaki elastomerik fazın artmasına sebep olmuştur. Böylece malzeme yumuşamış ve elastik modülü değeri azalmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda en sert malzemenin 67 SHORE D ile katkısız PA 6/YYPE/PE-g-MA/Nanokil (80/20/10/5) ve en yumuşak malzemenin 62,2 SHORE D ile katkısız YYPE olduğu tespit edilmiştir. PA 6/YYPE(80/20) oranında karıştırılarak üretilen malzemenin sertlik

değeri 65,8 SHORE D dir. PA 6/YYPE(80/20) kompozitinin içerisine % 5 uyulaştırıcı katılması ile sertliği 65 SHORE D değerine düşmüştür. Bu malzemeye % 1 nanokil katılması ile sertlik değeri 64,6 SHORE D iken % 3 nanokil ilavesi ile 65,2 SHORE D, % 5 nanokil oranında ise 66 SHORE D değerine ulaşmıştır. Bu sonuçlardan malzeme içerisindeki nanokil oranının artması ile sertliğin arttığı tespit edilmiştir. PA 6/YYPE/PE-g-MA/Nanokil (80/20/5/1) malzemesinin içerisindeki uyulaştırıcı % 10'a çıkarılınca sertlik 63,6 SHORE D dir. Kompozitin içerisindeki nanokil

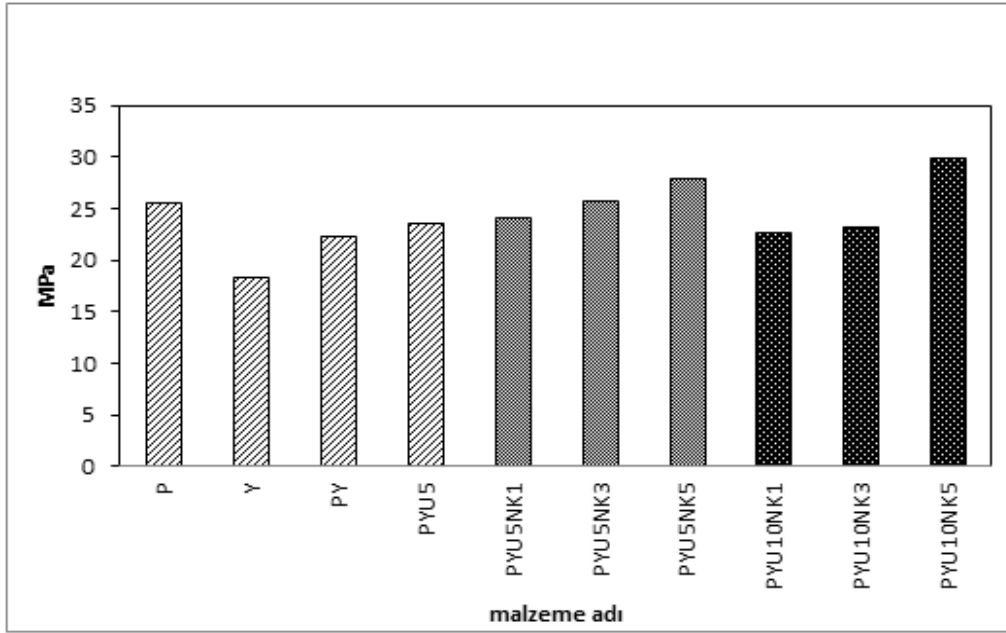
% 3'e arttırılınca sertlik değeri 65 SHORE D ve % 5'e çıkarılınca 67,4 SHORE D'ye ile maksimuma ulaşmıştır. Malzeme içerisine uyulaştırıcı ilavesi ile sertlikte çok az da olsa düşme olmuştur. Bunun sebebinin yapıdaki HDPE'nin artması olduğu sanılmaktadır. Ancak malzemedeki nanokilin artması ile sertlik artmıştır. Bu durumun kil tabakalarının arasına giren polimer zincirlerinin hareketliliğinin azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bulgular Kumar ve ark. (2009), Srinath ve Gnanamoorthy (2006) daha önce yapılan çalışmalar ile uyumludur.



Şekil 5. Malzemelerin sertlik değerleri

Eğilme testinden elde edilen sonuçlar Şekil 6'da verilmiştir. Sonuçlar, oluşturulan kompozit malzemelerin, eğilme değerlerinin nasıl olduğunun anlaşılması açısından önemlidir. Katkısız PA 6'nın eğilme değerinin 25,7 MPa, YYPE'nin ise 18,3 MPa olduğu tespit edildi. İki malzeme PA 6/YYPE(80/20) oranlarında karıştırılarak hazırlanan malzemenin ise eğilme değeri 22,4 MPa'dır. Bu malzemeye % 5 uyulaştırıcı ilavesi ile eğilme mukavemeti 23,7 MPa'ya çıkmıştır. Uyulaştırıcının azda olsa eğilme değerini arttırdığı söylenebilir. PA 6/YYPE/PE-g-MA(80/20/5) karışımındaki

malzemeye % 1 nanokil ilave edilmiş ve sonuç incelenmiştir. % 1 nanokilin eğilme değerini 24,1 MPa'ya çıkardığı bulunmuştur. Malzeme içerisindeki nanokil oranı % 3 iken eğilme değeri 25,8 MPa, % 5 iken 27,9 MPa'ya çıkmıştır. Bir diğer ifade ile malzeme içerisindeki % 5 nanokil eğilme mukavemetini % 17 arttırmıştır. Şekil 6'da da görüldüğü gibi malzeme içerisindeki uyulaştırıcı oranı %5'ten % 10'a çıkarıldığında eğilme mukavemeti değerleri değişmiştir. PA 6/YYPE/PE-g-MA/Nanokil (80/20/10/1) karışım oranı ile üretilen kompozitin eğilme mukavemeti 22,8 MPa olarak ölçülmüştür.



Şekil 6. Eğilme grafiği

Uyumlaştırıcı oranı %10'da sabit tutularak malzeme içerisindeki nanokil oranı % 3'e çıkarılınca eğilme mukavemeti 23,3 MPa, nanokil oranı % 5'te ise 30 MPa olmuştur. Eğilme deneyleri sonucunda en yüksek eğilme mukavemeti PA 6/YYPE/PE-g-MA/Nanokil (80/20/10/5) karışımındaki malzemede, en düşük eğilme mukavemetinin de PA 6/YYPE/PE-g-MA/Nanokil (80/20/10/1) 'de gerçekleştiği söylenebilir. Genel olarak uyumlaştırıcı ve nanokilin eğilme mukavemetine olumlu katkı sağladığı sonucuna varılabilir. Sonuçlar Dayma ve ark. (2010) yapmış oldukları çalışma ile uyumludur. Bu durumu yapıya ilave edilen nanokilin polimer zincirlerinin hareketlerini kısıtlaması ile açıklamışlardır.

4. Sonuçlar

PA 6 + YYPE'e uyumlaştırıcı ve nanokil ilavesinin malzemenin termal ve mekanik özelliklerine etkisinin araştırıldığı bu çalışmada aşağıdaki genel sonuçlara ulaşılmıştır.

1. TEM incelemesi sonucunda matris malzemeye katılan nanokilin düzenli bir şekilde kompozit

içerisinde dağıldığı gözlemlenmiştir. Bu durum malzeme özellikleri hakkında güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır.

2. Yapılan deneyler sonucunda uyumlaştırıcının kompozitlerin çekme mukavemeti üzerinde çok olumlu etkisinin olduğu görülmüştür. Örneğin % 5 uyumlaştırıcı eklenmesi ile malzemenin çekme mukavemetinde % 30 civarında artış meydana gelmiştir.

3. Yapıya ilave edilen nanokilin çekme mukavemeti üzerinde olumlu etkisinin olduğu görülmüştür. Kompozit içerisindeki nanokil oranının artması sonucu malzemelerin çekme mukavemeti de artış göstermiştir. % 5 nanokil ilavesi ile çekme PA 6/YYPE/PE-g-MA(80/20/5) malzemesinde yaklaşık % 15 artış meydana gelmiştir. Ancak uyumlaştırıcının % 10'a çıkarılması durumunda yapıdaki nanokilin artması ile çekme mukavemetinde azalma meydana gelmiştir.

4. Maksimum % uzana değerine uyumlaştırıcının olumlu etkisinin olduğu yapılan deneyler

sonucunda tespit edilmiştir. PA 6/YYPE(80/20) malzemesine % 5 uyumlaştırıcının eklenmesi ile yaklaşık % 17 civarında % uzamada artış meydana gelmiştir.

5. Nanokil ilavesi ile oluşturulan kompozitlerin % uzama değerleri çok ciddi bir şekilde düşmüştür. % 1 nanokilin malzemenin maksimum uzama değerini ortalama % 13,3 azaltmıştır. Benzer şekilde yapıda bulunan nanokil oranının artması ile maksimum uzamada azalmıştır.

6. Yapılan çalışmalar sonucunda uyumlaştırıcının elastisite modülü üzerinde çok olumlu bir etkisinin olduğu saptanmıştır. PA 6/YYPE(80/20) oranında üretilen malzemenin elastisite modülü değeri 530,6 MPa iken; yapıya % 5 uyumlaştırıcı ilavesi ile üretilen PA 6/YYPE/PE-g-MA(80/20/5) malzemesinin elastisite modülü 943 MPa olarak hesaplanmıştır. Yani malzeme içerisine % 5 ilave edilen uyumlaştırıcı elastisite modülü % 77 arttırmıştır. Bu artış malzeme adına gayet olumlu ve önemlidir.

7. Elastisite modülü değerlerinde; PA 6/YYPE/PE-g-MA(80/20/5) numunesi için %1 nanokil ilavesi ile % 13, % 3 nanokil ilavesi ile elastisite modülü değerlerinde % 38,6 ve % 5 nanokil ilavesi ile elastisite modülü değerlerinde % 63 artış meydana gelmiştir.

9. Yapılan sertlik ölçümleri sonucunda en sert malzemenin PA 6/YYPE/PE-g-MA/Nanokil (80/20/10/5), en yumuşak malzemenin YYPE olduğu görülmüştür. Kompozit içerisindeki nanokil oranının artması ile sertlik artmıştır.

9. Üretilen tüm kompozitlerde uyumlaştırıcı ve nanokil üç nokta eğilme testlerinde olumlu sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Yani hem nanaokil hem de uyumlaştırıcı kompozitlerin dayanımını arttırmıştır.

Kaynaklar

- Doğanay, S., Ulcay, Y., 2007. Farklı Oranlarda Takviye Edilmiş Cam Lifi Polyester Kompozitlerin Deniz Suyu Etkisi Altında Yorulma Davranışının İncelenmesi Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 12, Sayı 2.
- Sabancı, S., 2005. Fiber Takviyeli Polimer Matriksli Kompozitlerin Enjeksiyon Yöntemi İle Üretimi Yüksek İsan Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, YTÜ.
- Savaşçı, Ö.T., Uyanık, N., 1998. Plastikler ve Plastik Teknolojisi, Çanay Kitabevi, İstanbul.
- Çıracı, S., Özbay E., Gülseren O., DEMİR H.V., Bayındır M., Oral A., Senger T., Aydınlı A., Dana A., 2005 Türkiye’de Nanoteknoloji, *Bilim ve Teknik Dergisi*, Ağustos Sayısı, 4-23.
- Saçaklı, Y., 2011. Değişik Partikül Boyutlarındaki Mg(OH)₂ Katkılı Polipropilen (Pp) Nanokompozitinin Özelliklerinin İncelenmesi Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Marmara Üniversitesi.
- Salerno, M., Landoni, P., Verganti, R., 2008. Designing foresight studies for nanoscience and nanotechnology (NST) future developments, *Technological Forecasting & Social Change*, 75:1202-1223.
- Erdoğan, E., 2011. Fonksiyonel Nano Malzemelerin Sentezi Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi.
- Billmeyer F., Wiley, F., 1990. *Textbook Of Polymer Science*, Canada, 407-413.
- Keskin, S., 1989. PLASTİK İşleme Teknikleri Ve Kalite Kontrol, Kimyasa Mühendisleri Odası, İstanbul 142-145.

- Shepherd J. E., McDowell D. L., ve Jacob K. I., 2006. Modeling Morphology Evolution and Mechanical Behavior During Thermo-Mechanical Processing of Semi-crystalline Polymers, *Journal of Mechanics and Physics Solids*, 54:467-489.
- Kumar B., Ravi, N., Suresha B., Venkataramareddy M., 2009. Effect of particulate fillers on mechanical and abrasive wear behaviour of polyamide 66/polypropylene nanocomposites, *Materials and Design* 30, 3852–3858.
- Srinath, G., Gnanamoorthy, R., 2007. Sliding wear performance of polyamide 6–clay nanocomposites in water ,*Composites Science and Technology* 67. 399–405.
- Scaffaro, R., Mistretta, M.C., La Mantia F.P., 2008. Compatibilized polyamide 6/polyethylene blend–clay nanocomposites: Effect of the degradation and stabilization of the clay modifier *Polymer Degradation and Stability* 93, 1267–1274.
- Dayma, N., Bhabani K. Satapathy., 2012. Microstructural correlations to micromechanical properties of polyamide-6/low density polyethylene-grafted-maleic anhydride/nanoclay ternary nanocomposites *Materials and Design* 33, 510–522.
- Kusmono, Z.A., Mohd I., W.S. Chow., T. Takeichi, Rochmadi, C., 2008. Compatibilizing effect of SEBS-g-MA on the mechanical properties of different types of OMMT filled polyamide 6/polypropylene nanocomposites *Composites: Part A* 39, 1802–1814.
- Dayma, N., Bhabani K. Satapathy., 2010. Morphological interpretations an micromechanical properties of polyamide-6/polypropylene-grafted-maleic anhydride/ nanoclay ternary nanocomposites *Materials and Design* 31, 4693–4703.
- Touchaleaume, F., Soulestin, F., M. Sclavons, J. Devaux, M.F. Lacrampe, Krawczak, P., 2011. One-step water-assisted melt-compounding of polyamide 6/pristine clay nanocomposites: An efficient way to prevent matrix degradation, *Polymer Degradation and Stability* 96, 1890-1900.
- Filippone, G., Dintcheva, N.Tz., Mantia, F.P. La., Acierno., D., 2010. Using organoclay to promote morphology refinement and co-continuity in high-density polyethylene/polyamide 6 blends Effect of filler content and polymer matrix composition *Polymer* 51 3956_3965.