



# Montmorillonite nanokil ilave edilmiş düşük yoğunluklu polietilen/polistiren/stiren bütadien stiren polimer kompozitinin fiziksel ve aşınma özelliklerinin incelenmesi

## *Investigation of physical and wear properties of montmorillonite nanoclay added low density polyethylene/polystyrene/styrene butadiene styrene polymer composite*

Gizem Karadirek<sup>1</sup>, Çağla Ceren Aydın<sup>2</sup>, Münir Taşdemir<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, İstanbul, 34722, Türkiye, [gkaradirek14@gmail.com](mailto:gkaradirek14@gmail.com) ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0272-5825>

<sup>2</sup> Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, İstanbul, 34722, Türkiye, [caglacerenaydin@gmail.com](mailto:caglacerenaydin@gmail.com) ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2585-9458>

<sup>3</sup> Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, İstanbul, 34722, Türkiye, [munir@marmara.edu.tr](mailto:munir@marmara.edu.tr) ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8635-7251>

### MAKALE BİLGİLERİ

#### Makale Geçmişi:

Geliş 26 Ocak 2022  
Revizyon 20 Mayıs 2022  
Kabul 20 Mayıs 2022  
Online 28 Haziran 2022

#### Anahtar kelimeler

*Düşük yoğunluklu polietilen,  
polistiren, montmorillonite nano kil,  
fiziksel özellikler, aşınma.*

### ÖZ

Bu çalışmada; düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) içerisine farklı oranlarda polistiren (PS), stiren etilen bütadien stiren termoplastik blok kopolimeri (SBS) ve montmorillonite nanokil katarak bir polimer kompoziti üretilmiştir. Tüm malzemeler çift vidalı ekstrüzyon makinesinde karıştırılarak altı farklı polimer kompoziti üretilmiştir. Daha sonra elde edilen bu polimer kompozitlerinden enjeksiyon kalıplama yöntemi ile kalıplama yapılarak standart test numuneleri basılmıştır. Elde edilen polimer kompozit malzemelerin çeşitli fiziksel ve aşınma özellikleri hakkında bilgi edinmek için; Vicat yumuşama sıcaklığı, nem emme oranı, erime akış indeksi (MFI), ısıl çarpılma sıcaklığı (HDT), sürtünme katsayısı, yoğunluk ve aşınma testleri yapılmıştır. Ayrıca darbe testi numunelerinin kırık yüzeylerinden taramalı elektron mikroskopisi (SEM) ile mikroyapı fotoğrafları çekilmiştir. Yapılan testler sonucunda düşük yoğunluklu polietilen içerisine katılan; PS, SBS ve nano kil oranlarının değişimi ile polimer kompozitinin fiziksel ve aşınma değerlerinde önemli değişimlerin olduğu tespit edilmiştir.

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 26 January 2022  
Received in revised form 20 May 2022  
Accepted 20 May 2022  
Available online 28 June 2022

#### Keywords

Low density polyethylene,  
polystyrene, montmorillonite nano  
clay, physical properties, wear.

### ABSTRACT

In this study; a polymer composite was produced by adding different proportions of polystyrene (PS), styrene ethylene butadiene styrene thermoplastic block copolymer (SBS) and montmorillonite nanoclay into low density polyethylene (LDPE). Six different polymer composites were produced by mixing all materials in a twin screw extruder. Later, standard test samples were molded from the obtained polymer composites by injection molding method. To learn about the various physical and wear properties of polymer composite materials obtained; Vicat softening temperature, moisture content, melt flow index (MFI), thermal deflection temperature (HDT), friction coefficient, density and wear tests were performed. In addition, in order to see the distribution of montmorillonite in the polymer matrix, microstructure photographs were taken with scanning electron microscopy (SEM) by using fracture surfaces of impact test samples. According to the results obtained from the tests carried out, which are included in low density polyethylene matrix; It has been determined that there are significant changes in the physical and abrasion values of the polymer composite with the change of PS, SBS and nano clay ratios.

Doi: 10.24012/dumf.1062412

\* Sorumlu Yazar

## Giriş

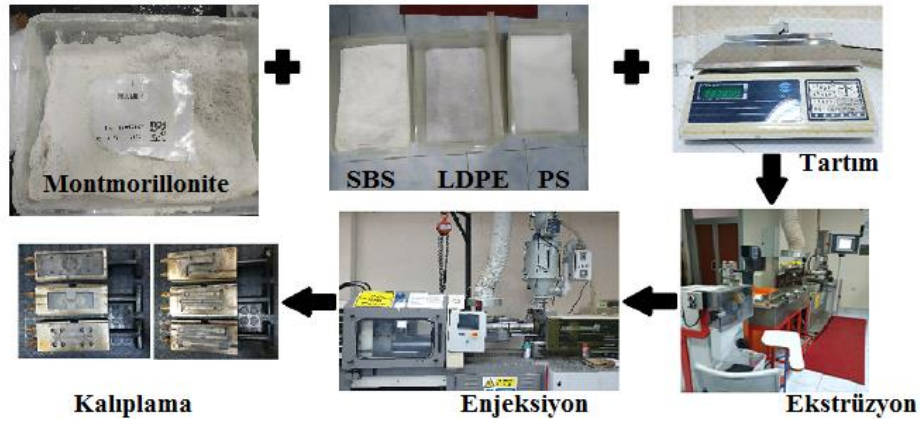
Son yıllarda doğal kaynakların azalması ile birlikte, bu kaynakların uygun şekilde kullanılması zorunlu hale getirmiştir. Bununla paralel şekilde zaman kazanmak için daha hızlı çalışan cihazların üretilmesi, daha uzun süre kullanılması ve bunların yanı sıra daha ucuz üretim gibi etkenler de bu çalışmalara hız kazandırmıştır. Bundan ötürü kompozit malzemelerin geliştirilmesi ve kullanımı ön plana çıkmaktadır. Kompozit yapılar sayesinde daha hafif, daha az enerji tüketen, daha ekonomik ve daha yüksek performanslı yapılar oluşturulmaktadır. Bugün inşaat sektöründe, uzay sanayisinde, spor gereçlerinde müzik aletlerinde, denizcilikte ve otomotiv sektörü gibi yerlerde bu malzemelerin kullanımı artmaktadır [1]. Kompozit malzemeler doğal veya sentetik iki veya daha fazla bileşenin bir araya getirilmesi ile oluşturulan malzeme grubudur [2]. Birbirinden farklı en az malzemenin birleşimi ile oluşan kompozit malzemeler, matris malzemesi ve bu matris malzemesinin performansını artırmak için katılan takviye malzemelerinden oluşmaktadır. Kompozit malzemeler matris malzemesi türüne ve takviye malzemesi türüne göre ikiye ayrılmaktadır [3]. Polimerik malzemeler; özelliklerinin makina tasarımına uyumu, ağırlığa oranla dayanımlarının yüksek olması ve istenilen birçok özelliğin kolay kazandırılması nedenleri ile bazı metallerin yerine de kullanılmaktadır. Hızlı gelişme içinde olan polimerik malzemelerin çeşitliliği arttıkça günlük hayatta makina tasarımlarında, uzay ve havacılık alanlarında kullanımları da artmaktadır [4]. Günümüzde çok farklı polimer matrisli kompozit malzemeler değişik uygulamalarda kullanılmaktadır. Özellikle nanokil ilaveli polimer matrisli kompozit malzemeler; maliyetinin düşük olması ve kolay elde edilmeleri nedeniyle daha çok tercih edilmektedirler [5-8]. Dünyada çoğu ülke nanoteknoloji konusuna ciddi ölçüde yatırımlar yapmaktadırlar. Son on yıldır nanometre ölçekli bilim ve teknolojiye ilgi her geçen gün artmaktadır. Tüm dünyada devlet enstitüleri, kamusal araştırma merkezleri, üniversiteler ve firmalar bu yönde büyük yatırımlarda bulunmaktadır [9-12]. Polimerik nanokompozitler çoğunlukla % 1-3 oranında nanopartikül içermektedir. Bu yapılar tek bileşen ve tek faz gibi davranan malzemelerdir. Polimerik nanokompozitler; saydamlık, düşük yoğunluk, yanıcılığı azaltma, düşük geçirgenlik ve mekanik özelliklerinin gelişimi gibi özellikler içerirler [9]. Polimer-kil nanokompozitler, 2000'li yıllarında önemi anlaşılmış olup, en yeni kompozit türlerinden birini oluşturmaktadır. Bu tür kompozitlerde dağıtıcı faz olarak polimer kullanılır. Killer destek maddesi görevini üstlenirler. Bu tip kompozit malzemeler, sanayide ve günlük hayatta polimerlerin kullanıldığı her alanda kullanılabilir [13]. Bu konuda akademik çalışmalar da mevcuttur. Örneğin, Gümüş bir çalışmada cam küre ve nanokil katkılı yüksek yoğunluklu polietilen polimer kompozitlerinin mekanik özelliklerini incelemiştir. Çalışmada elde ettiği kompozitin yoğunluğunun montmorillonite kil eklendikçe düştüğünü tespit etmiştir [14]. Jianying Yu vd SBS içerisine sodyum montmorillonit (Na-MMT) ve organofilik montmorillonit (OMMT) katarak bir polimer kompoziti elde etmişlerdir. Çalışmalarında elde ettikleri sonuçlarına göre OMMT'li

yapıların pul pul dökülen yapılar oluşturduğunu, Na-MMT'li yapıların ise daha iyi yapışma sağladığını belirlemişlerdir [15]. Başka bir çalışmada Samariha vd yüksek yoğunluklu polietilen içerisine nanokil ve küspe tozu katarak bir polimer kompoziti elde etmiş ve özelliklerini incelemişlerdir. Nano kil oranının artmasıyla çekme mukavemeti ve modülünün arttığını belirlemişlerdir [16]. Bir diğer çalışmada Venkatesan vd yüksek yoğunluklu polietilen içerisine değişik türlerde nano kil katarak bir polimer kompoziti elde etmişlerdir. Kil miktarının artmasıyla çekme mukavemeti ve sertlik değerlerinde artışın olduğunu buna karşılık darbe mukavemeti değerinde ise düşüşün olduğunu tespit etmişlerdir [17]. Adin vd yapmış oldukları bir çalışmada farklı oranlarda alüminyum, mika ve seramik parçacıklarını epoksi reçinesine katarak bir polimer kompoziti elde etmişlerdir. Bu farklı türde parçacıkların oranının artmasıyla elde edilen polimer kompozitinin çekme ve eğilme yüklerinde artışını belirlemişlerdir. Çekme mukavemetindeki en yüksek artış ağırlıkça %4 alüminyum ile elde edilmiş numunelerde, eğime mukavemetindeki en büyük artışın ise %2 alüminyum ile elde edilmiş numunelerde olduğunu tespit etmişlerdir [17]. Başka bir çalışmada Saraç vd  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$  ve  $SiO_2$  nano partiküllerini epoksi ile karıştırıp bir polimer kompoziti elde etmişler partiküllerin oranının ve türünün değişmesiyle statik ve yorulma davranışlarının incelemişlerdir [18]. Bu çalışmada nanokil olarak montmorillonite kullanılmıştır. Buradaki amaç kompozitteki montmorillonite nanokil miktarının LDPE/PS/SBS polimer karışımının yoğunluk, sürtünme katsayısı, ısıl çarpılma sıcaklığı, vicat yumuşama sıcaklığı, nem emme miktarı ve aşınma özellikleri üzerindeki etkisinin araştırılmasıdır.

## Materyal ve metot

**Kompozisyon ve malzemeler:** Düşük yoğunluklu polietilen içerisine katılan polistiren, stiren bütadien stiren ve nanokil oranları değiştirilerek altı farklı grup elde edilmiştir. Hazırlanan LDPE/PS/SBS/nanokil polimer kompozitinin karışım oranları Tablo 1' de verilmiştir. Kullanılan düşük yoğunluklu polietilen H2-8 kodlu Petkim tarafından üretilen polimerdir. Yoğunluğu  $0,918-0,922 \text{ g/cm}^3$  tür. Erime akış hızı ( $2,16 \text{ kg}-190 \text{ }^\circ\text{C}$ )  $1,7-3,0 \text{ g/10 dak.}$  arasındadır. Vicat yumuşama sıcaklığı  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  ve akma gerilme dayanımı ise  $80 \text{ kg/cm}^2$  dir. Kullanılan nanokil yüzey modifiyeli kil (onium ion modifiyeli montmorillonite kil) ağırlıkça % 55-65 montmorillonite kil ve % 35-45 dimethyl dialkyl (C14-18) ammonium' dan ibarettir. Bu kilin yüzey alanı firma ürün katalogunda belirtildiği üzere  $220-270 \text{ m}^2/\text{g}$  aralığındadır. Stiren bütadien stiren (SBS) ise LLC (USA) tarafından üretilen Kraton D-1184 kodlu üründür. Yoğunluğu  $0,938 \text{ g/cm}^3$  ve stiren oranı ise %30' dur.

**Numune Hazırlama:** Düşük yoğunluklu polietilen, polistiren, stiren etilen bütadien stiren termoplastik blok kopolimeri ve montmorillonite nano kili, Yamato ADP-31 tipi fırın içerisinde  $105 \text{ }^\circ\text{C}$ ' de 8 saat boyunca kurutulmuştur. Şekil 1' de bu deneysel çalışmanın aşamaları verilmiştir.



Şekil 1. LDPE/PS/SBS/Montmorillonite nanokil polimer kompozitinin deneysel çalışma aşamaları

Kurutma işlemi sonrasında nanokil tozları ve düşük yoğunluklu polietilen-polistiren-SBS granülleri Patterson marka karıştırıcıda yirmi dakika süresince fiziksel olarak karıştırılmıştır. Literatür incelemesi sonucu bu sürenin uygun bir süre olduğu görülmüştür. Bir sonraki aşamada ise Mikrosan marka çift vidalı ekstrüderde 25-30 bar basınç altında, 25 dev/dak vida dönüş hızı ve 180-210 °C arasında bulunan sıcaklıklarda eritilerek karışımları gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. LDPE/PS/SBS/Montmorillonite nanokil polimer kompozitinin karışım oranları (ağırlıkça)

Gruplar	LDPE (%)	PS (%)	SBS (%)	Montmorillonite nanokil
1	100	-	-	
2	50	50	-	-
3	45	45	10	-
4	40,5	40,5	9	10
5	36	36	8	20
6	31,5	31,5	7	30

Buradan çıkan granüller enjeksiyonla kalıplama öncesinde tekrar kurutma fırınında 24 saat boyunca 105°C'de kurutulmuşlardır. Son olarak enjeksiyon makinesinde standart test numuneleri basılmıştır. Tablo 2'de ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama parametreleri verilmiştir.

Tablo 2. LDPE/PS/SBS/Montmorillonite Nanokil polimer kompozitinin Ekstrüzyon ve Enjeksiyon Kalıplama Parametreleri

İşlem	Ekstrüzyon	Enjeksiyon
Sıcaklık (°C)	180–210	180–210
Basınç (bar)	25-30	100–110
Kalıpta bek. sür.(sn)	-	15
Vida hızı (dev/dak)	25	25
Kalıp sıcaklığı (°C)	-	35-40

### Karakterizasyon

Elde edilen gruplardan testler için beş adet numune alınmıştır ve ortalamaları verilmiştir. Isıl çarpılma sıcaklığı

(HDT) testi ISO 75' e göre ve Vicat yumuşama sıcaklığı ise ISO 307' e göre Ceast marka test cihazı ile yapılmıştır. Numunelere uygulanan yük aşağıdaki denklem (1) ile belirlenmiştir.

$$F=2.\sigma.b.h^2/3L \quad (1)$$

Burada,  $\sigma$ : Eğilme mukavemeti (MPa), b: Numune genişliği (mm), h: Numune kalınlığı (mm), L: Mesnetler arası mesafe (mm), F: Numuneye uygulanan kuvvet (N)' dir. Bu formüle göre değerler yerine konulduğunda numune üzerine 3 Newton yük uygulanmıştır.

Vicat testi metod A' ya göre yapılmıştır. Burada kullanılan numunelerin boyutu 20x20x4mm olarak alınmıştır.

Erime akış indeksi (MFI) testi ISO 1133 standardına göre Zwick 4100 marka cihaz ile yapılmıştır. Belirli bir süre sonunda akan malzeme tartılmış ve aşağıdaki denklem (2)'de değerler yerine konularak MFI değeri belirlenmiştir. Burada, m: Belirli sürede (T) akan toplam numune ağırlığı (gr) ve t: Belirli süre (sn)' dir.

$$MFI=m.600/t \quad (2)$$

Nem ölçüm tetleri ASTM D6980' e göre Kern marka nem ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Burada kullanılan numune boyutlarının ölçüleri 10x10x4 mm' dir.

Aşınma testleri DIN 53 516 standardına göre Devotrans DA5 marka tambur tipi aşınma test cihazında yapılmıştır. Bu test için numunelerin kalınlığı 7 mm ve çapları ise 15,5 mm alınmıştır. Tamburun dönüş hızı dakikada 40 devir olarak alınmıştır. Numunelere uygulanan yük ( $F_N$ ) 10 N ve aşındırma mesafeleri (L) ise 20-40-60 ve 80 metre olacak şekilde uygulanmıştır. Aşınma sonucunda meydana gelen ağırlık kaybının bulunması için deneyden önceki ve deneyden sonraki numunenin ağırlıkları 0,0001 gr hassasiyetindeki terazi ile ölçülmüş deney öncesi ağırlıktan ( $M_1$ ) deney sonrası ağırlık ( $M_2$ ) çıkarılarak ağırlık kaybı ( $\Delta m$ ) aşağıda verilen denklem (3) ile hesaplanmıştır.

$$\Delta m=M_1-M_2 \quad (3)$$

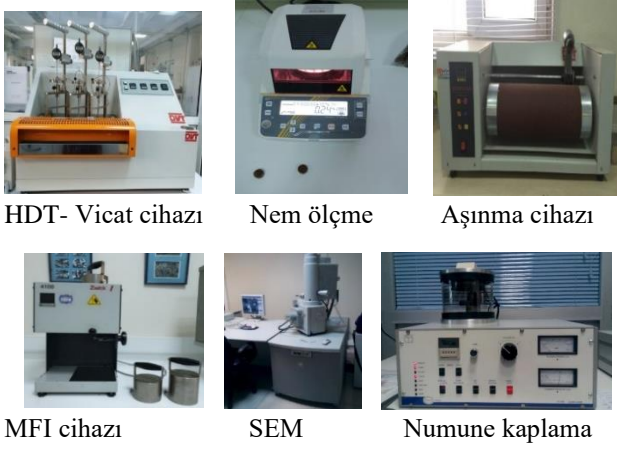
Numunelerin ağırlık kaybı aşındırma işleme sonrasında ölçülerek aşınma oranları ise ( $W_r$ ) aşağıda verilen denklem (4) ile hesaplanmıştır.

$$W_r=\Delta m/\rho.F_N.L \quad (4)$$

Bu formülde  $\Delta m$ : Ağırlık kaybı,  $\rho$ : Yoğunluk,  $F_N$ : Uygulanan yük ve L: Aşındırma mesafesini temsil etmektedir. Aşınma oranlarının belirlenmesinde 3 adet numune test edilmiş ve aritmetik ortalamalar verilmiştir.

Darbe numunelerinden elde edilen kırık yüzeyler Polaron marka kaplama cihazında altın/paladyum alaşımı ile

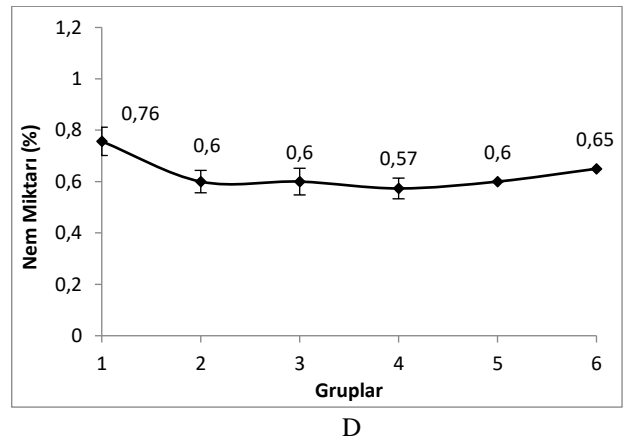
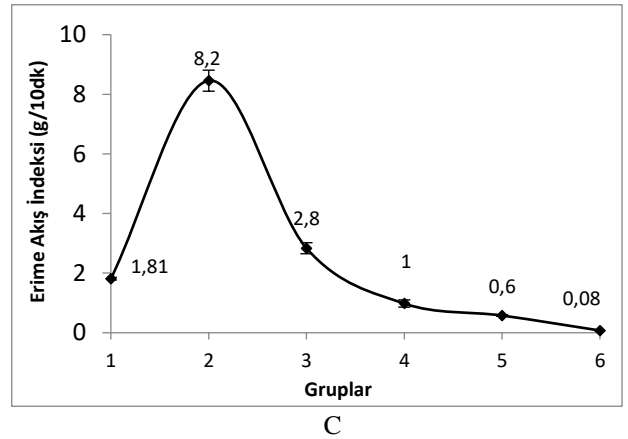
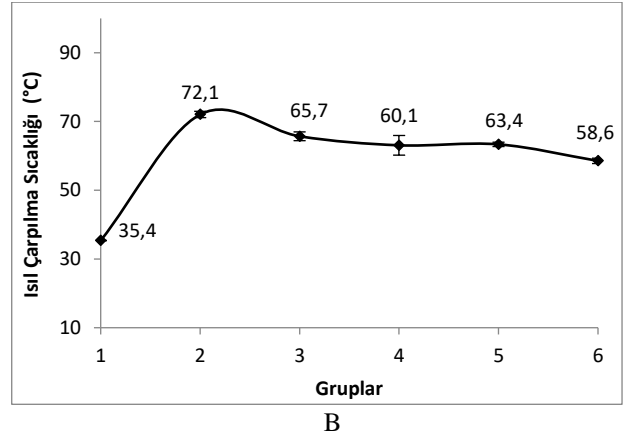
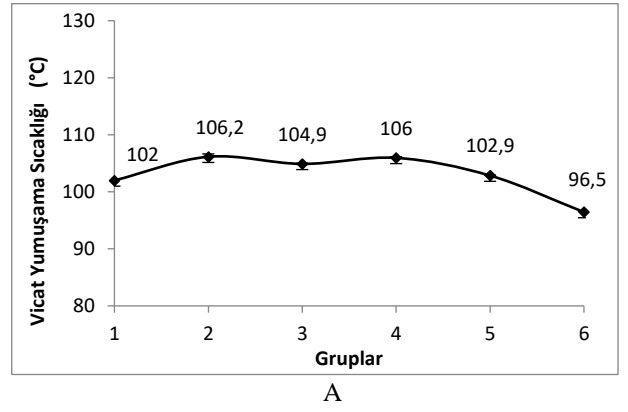
kaplanmıştır. 10 nm kalınlığındaki bu kaplama elektriksel yüklemeyi önlemek için yapılmıştır. Daha sonra numuneler 10 kV altında Jeol marka taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Şekil 2' de bu çalışmada kullanılan test cihazları verilmiştir.



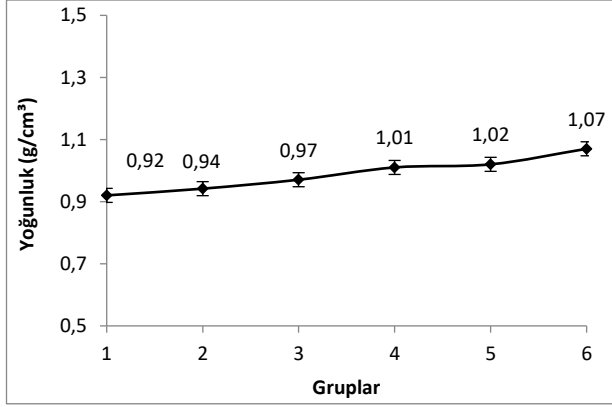
**Şekil 2.** LDPE/PS/SBS/Montmorillonit nanokil polimer kompozitinin özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan test cihazları

## Araştırma Sonuçları

Düşük yoğunluklu polietilene katılan; polistiren, stiren etilen bütadien stiren termoplastik blok kopolimeri ve montmorillonit nanokil ilavesiyle oluşturan polimer kompozitinin fiziksel değerlerinde meydana gelen değişimler Şekil 3' de verilmiştir. Şekil 3A'ya bakıldığında düşük yoğunluklu polietilen içerisine %50 oranında polistiren ilavesi ile Vicat yumuşama sıcaklık değerinin arttığı görülmektedir. Daha sonra karışıma %10 oranında SBS' nin ilavesiyle bu değerde bir miktar düşüş gözlemlenmiştir. Karışım içerisine %10 montmorillonit nanokilin ilavesi ile Vicat yumuşama sıcaklık değeri artmış, fakat Nanokil yüzdesi %20 ve %30'a çıkarıldığında Vicat yumuşama sıcaklığı değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Gümüş [20] yapmış olduğu bir çalışmada yüksek yoğunluklu polietilen içerisine cam küre ve montmorillonit katmıştır. Elde ettiği polimer kompoziti içerisinde kil miktarının artmasıyla Vicat yumuşama sıcaklığı değerlerinin de düştüğünü belirlemiştir. Taşdemir vd [7] bir çalışmada polipropilen içerisine kil ve  $Mg(OH)_2$  katıp süper kritik şartlarda  $CO_2$  gazı emdirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda kil miktarının artışıyla Vicat yumuşama değerinde azalmanın olduğunu belirlemişlerdir.



**Şekil 3.** LDPE/PS/SBS/Montmorillonit nanokil polimer kompozitinin fiziksel özellikleri



**Şekil 4.** LDPE/PS/SBS/Montmorillonit nanokil polimer kompozitinin yoğunluk değerleri

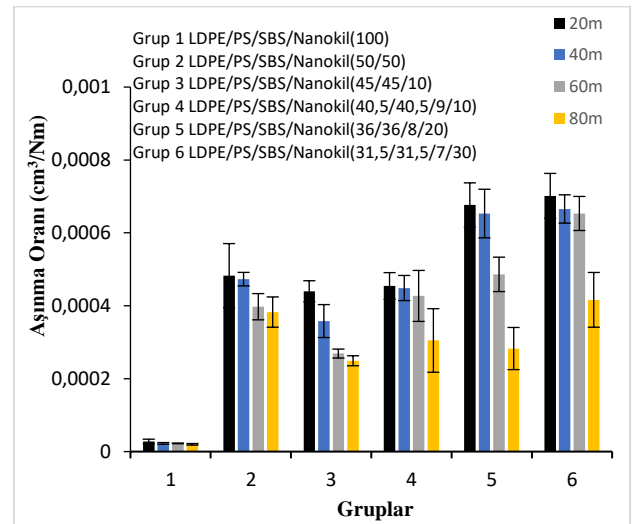
Şekil 3B incelendiğinde saf düşük yoğunluklu polietilenin ısı çarpılma sıcaklığının 35,4 °C olduğu görülmektedir. Karışım içerisine polistirenin eklenmesiyle bu değer %36,7 oranında artarak 72,1 °C'ye çıktığı anlaşılmaktadır. Karışıma %10 SBS ilavesiyle bu değerde azalmaya sebebiyet verdiği tespit edilmiştir. Karışım içerisine montmorillonit nanokil ilavesi HDT değerlerinin daha da düşmesine sebebiyet vermiştir. Fakat yine de saf LDPE'nin HDT değerinden yüksek değerler vermiştir. Gümüş [20] yapmış olduğu bir çalışmada yüksek yoğunluklu polietilen içerisine cam küre ve montmorillonit katmıştır. Elde ettiği polimer kompoziti içerisinde kil miktarının artmasıyla ısı çarpılma sıcaklığı değerlerinin de düştüğünü belirlemiştir. Taşdemir vd [7] bir çalışmasında polipropilen içerisine kil ve Mg(OH)<sub>2</sub> katıp süper kritik şartlarda CO<sub>2</sub> gazı emdirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda kil miktarının artışıyla ısı çarpılma sıcaklığı değerinde azalmanın olduğunu belirlemiştir.

Şekil 3C incelendiğinde saf düşük yoğunluklu polietilenin erime akış indeksi (MFI) değerinin 1,81 g/10 dk olduğu ve Polistiren ilavesiyle bu değer 8,2 g/10 dk'ya çıktığı görülmektedir. %10 miktarda uyumlaştırıcı malzeme olarak eklenen SBS ile erime akış indeksi değerinin düşürülmesi amaçlanmaktadır. Dolayısıyla sisteme SBS ilavesi erime akış indeksi değerini düşürmekte olduğu anlaşılmaktadır. Karışıma nanokil ilavesi ile bu düşüşün sürdüğü şekilde anlaşılmaktadır. %10 nanokil ilaveli 4. Grubun MFI değerinin 1 g/10 dk olduğu ve %30 nanokil ilaveli 6. Grupta ise bu değer 0,08 g/10 dk'ya kadar düştüğü görülmektedir. Sonuç olarak karışıma katılan SBS ve nanokil erime akış indeksinin önemli seviyede düşüşüne sebebiyet vermişlerdir. Gümüş, B. [20] yapmış olduğu bir çalışmada yüksek yoğunluklu polietilen içerisine cam küre ve montmorillonit katmıştır. Elde ettiği polimer kompoziti içerisinde kil miktarının artmasıyla erime akış indeksi değerlerinin de düştüğünü belirlemiştir. Taşdemir vd [7] bir çalışmasında polipropilen içerisine kil ve Mg(OH)<sub>2</sub> katıp süper kritik şartlarda CO<sub>2</sub> gazı emdirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda kil miktarının artışıyla erime akış indeksi değerinde azalmanın olduğunu belirlemiştir.

Şekil 3D' de karışımın nem emme davranışlarını veren grafik görülmektedir. Grafik incelendiğinde saf düşük

yoğunluklu polietilenin nem emme miktarının %0,76 seviyelerinde olduğu görülmektedir. Polietilen içerisine polistirenin ilavesi nem emme miktarını bir miktar düşürmüştü ve %0,6 seviyelerine indirmiştir. 3. Gruptaki SBS ilavesi nem emme değerinde bir değişikliğe sebebiyet vermemiştir. Fakat %30 nanokil ilavesi ile bu değerde az da olsa bir artışa sebebiyet vermiştir. Gümüş [20] yapmış olduğu bir çalışmada yüksek yoğunluklu polietilen içerisine cam küre ve montmorillonit katmıştır. Elde ettiği polimer kompoziti içerisinde kil miktarının artmasıyla nem emme değerlerinin yükseldiğini belirlemiştir.

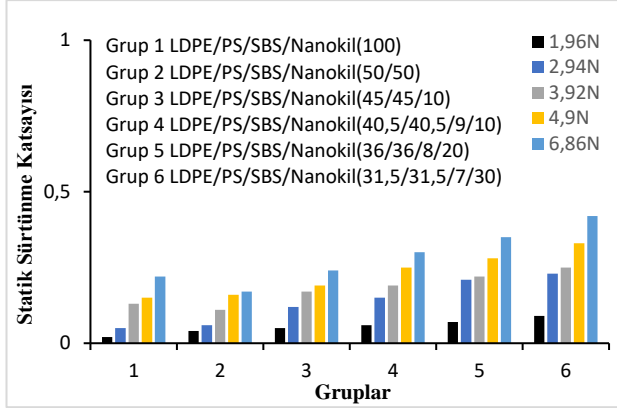
Şekil 4 incelendiğinde saf düşük yoğunluklu polietilenin yoğunluğunun 0,92 g/cm<sup>3</sup> olduğu görülmektedir. Polietilen içerisine ikinci grupta eklenen polistiren ile birlikte yoğunluk değerinin bir miktar artarak 0,94 g/cm<sup>3</sup> değerine geldiği görülmektedir. Bu değerdeki artış polistirenin daha yoğun bir malzeme olmasından kaynaklanmaktadır. Daha sonra karışıma eklene SBS ve nano kil ilavesiyle yoğunluk değerinin 1,07 g/cm<sup>3</sup> lere kadar çıktığı görülmektedir. Bu çıkışın sebebi nanokilin yoğunluğunun polietilenden fazla olmasından kaynaklanmaktadır. LDPE/PS/SBS/Nanokil polimer kompozitinin aşınmaya karşı gösterdiği davranışları incelemek üzere 10N yük altında 0,32m/s hızla dönen zımparalı (#60) tambur üzerinde bütün grupların numuneleri 20m-40m-60m-80m aşındırılmışlardır. Denklem (1) kullanılarak değerler formülde yerine yazılmış ve aşınma oranları hesaplanmıştır. Şekil 5 incelendiğinde LDPE/PS/SBS/Montmorillonit nanokil polimer kompozitinde aşındırma mesafesinin artışıyla birlikte aşınma oranı değerlerinde düşüşün olduğu tespit edilmiştir. Buna karşılık LDPE matris içerisine polistiren ve kalsit oranının artmasıyla da aşınma oranı değerlerinde artış tespit edilmiştir. Kaştan vd PA<sub>6</sub>/HDPE polimer karışımına nano kil katarak kompozitin aşınma oranlarındaki değişimleri incelemişlerdir. Yük miktarının artmasıyla aşınma oranı değerlerinin azaldığını fakat nano kil oranının artmasıyla bu değerlerin bir miktar arttığını belirlemiştir [21].



**Şekil 5.** LDPE/PS/SBS/Montmorillonit nanokil polimer kompozitinin aşınma oranları

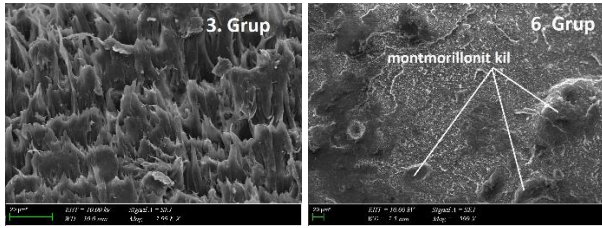
Şekil 6'da LDPE/PS/SBS/Montmorillonit nanokil polimer kompozitinin statik sürtünme katsayı değerleri verilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde LDPE/PS/SBS/Montmorillonit

nanokil polimer kompozitinde 1,96-2,94-3,92-4,9 ve 6,86 N yük ile yapılan testlerde, yükün artışıyla birlikte sürtünme katsayısı değerlerinde de artış olduğu gözlemlenmiştir. Diğer taraftan kompozit içerisinde kalsit oranının artmasıyla da statik sürtünme katsayısı değerlerinde de artış tespit edilmiştir. Kaştan vd PA<sub>6</sub>/HDPE polimer karışımına nano kil katarak kompozitin sürtünme katsayılarındaki değişimleri incelemişlerdir. Nano kil oranının artmasıyla sürtünme katsayısı değerlerinde bir artışın olduğunu belirlemişlerdir [21].



Şekil 6. LDPE/PS/SBS/Montmorillonit nanokil polimer kompozitinin statik sürtünme katsayıları

LDPE/PS/SBS/Nanokil polimer kompozitinin mikroyapı fotoğrafları Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. LDPE/PS/SBS/Montmorillonit nanokil polimer kompozitinin SEM fotoğrafları

Buradaki diğer amaçlar doğada bol miktarda bulunan kilin polimerde dolgu maddesi olarak kullanımı ile daha az polimer tüketimi ve elde edilen polimer kompozitinden çeşitli bahçe mobilyası üretilebilirliği.

## Sonuç

Bu çalışmada düşük yoğunluklu polietilen polimerine farklı oranlarda polistiren, stiren bütadien stiren termoplastik blok kopolimeri ve nanokil eklenmiştir. Elde edilen polimer kompozitinin vicat yumuşama sıcaklığı, ısı çarpılma sıcaklığı, erime akış indeksi, nem emme miktarı ve yoğunluk değerleri belirlenmiştir. Bunlara ek olarak statik sürtünme katsayısı, aşınma oranı ve mikroyapı görüntüleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre;

1) Düşük yoğunluklu polietilen içerisine farklı oranlarda eklenen polistiren, SBS ve nanokil ilavesi ile ısı çarpılma sıcaklığı ve vicat yumuşama sıcaklığı

değerlerinde önce bir miktar artış daha sonra ise düşüş tespit edilmiştir.

- 2) Düşük yoğunluklu polietilen içerisine eklenen polistiren ile erime akış indeksi artmış daha sonra SBS ve nanokil ilavesiyle bu değerde düşüş görülmüştür.
- 3) Düşük yoğunluklu polietilen içerisine farklı oranlarda eklenen polistiren, SBS, nanokil ilavesi ile elde edilen kompozitlerin nem emme miktarında düşüş görülmüştür. Fakat artan nanokil miktarıyla bu değerlerin arttığı anlaşılmaktadır.
- 4) Düşük yoğunluklu polietilen içerisine farklı oranlarda eklenen polistiren, SBS ve nanokil ilavesi ile 20-40-60-80m mesafede yapılan aşınma testlerinde aşınma oranının düştüğü buna karşılık nanokil ilavesi ile bu değerlerin nispeten arttığı tespit edilmiştir.
- 5) Düşük yoğunluklu polietilen içerisine farklı oranlarda eklenen polistiren, SBS ve nanokil ilavesi ile 1,96-2,94-3,92-4,9 ve 6,86 N yük ile yapılan statik sürtünme katsayısı belirleme testlerinde, yükün artışıyla statik sürtünme katsayısı değerlerinde artış olduğu tespit edilmiştir. Özellikle nanokil ilaveli gruplarda bu değerlerin daha da arttığı belirlenmiştir.
- 6) SEM görüntülerinde de anlaşıldığı gibi nano kil matris içerisinde homojen olarak dağılmıştır.

## Kaynaklar

- [1] S. Doğanay, Y. Ulçay, “Farklı oranlarda takviye edilmiş cam lifi polyester kompozitlerin deniz suyu etkisi altında yorulma davranışının incelenmesi” *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 12, Sayı 2, sayfa 85-95, 2007.
- [2] S. Sabancı, “Fiber takviyeli polimer matriksli kompozitlerin enjeksiyon yöntemi ile üretimi” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2005.
- [3] H. Akbulut, “Alümina fiber takviyeli al-si metal matriksli kompozitlerin üretimi ve mikroyapı özellik ilişkilerinin incelenmesi” Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 1995.
- [4] Ö.T. Savaşçı, N. Uyanık, “Plastikler ve plastik teknolojisi”, Çanay Kitabevi, İstanbul, 1998.
- [5] N. Bala, İ. Kamaruddin, M. Napiyah, M.H. Sutanto, “Polymer nanocomposite. Modified asphalt: characterisation and optimisation using response surface methodology”, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44, 4233–4243, 2019.
- [6] J. Oner, “Examination of storage stability behaviour of polymer modified bitumen involving nanoclay”, *Eurasian Journal of Civil Engineering and Architecture EJCAR*, 3, 49-55, 2019.
- [7] M. Taşdemir, G.T. Caneba, R. Tiwari, B. Wang, “Characterization of PP/Mg(OH)<sub>2</sub> and PP/nanoclay composites with supercritical CO<sub>2</sub> (scCO<sub>2</sub>)”, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 50(10), 1064-1070, 2011.
- [8] M. Tasdemir, S. Ersoy, “Mechanical, morphological and thermal properties of HDPE polymer composites filled with talc, calcium carbonate and glass spheres”, *Romanian Journal of Materials*, 45(2), 147-154, 2015.

- [9] S. Çıracı, E. Özbay, O. Gülseren, H.V. Demir, M. Bayındır, A. Oral, T. Senger, A. Aydın, A. Dana, "Türkiye’de nanoteknoloji", *Bilim ve Teknik Dergisi*, Ağustos Sayısı, 4-23, 2005.
- [10] Y. Saçaklı, "Değişik partikül boyutlarındaki Mg(OH)<sub>2</sub> katkılı polipropilen (PP) nanokompozitinin özelliklerinin incelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Marmara Üniversitesi, 2011.
- [11] M. Salerno, P. Landoni, R., Verganti, "Designing foresight studies for nanoscience and nanotechnology future developments", *Technological Forecasting & Social Change*, 75:1202-1223, 2008.
- [12] E. Erdoğan, "Fonksiyonel nano malzemelerin sentezi", Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, 2011.
- [13] <https://dspace.ankara.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/20.500.12575/68460/5958.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [14] B.E. Gümüş, "Cam küre ve nanokil katkılı yüksek yoğunluklu polietilen polimer kompozitlerinin mekanik özellikleri", *13. Kimya Mühendisliği Kongresi*, Van, Türkiye, 03 Eylül 2018, ss. 20-28, 2018.
- [15] J. Yu, L. Wang, S. Wu, B. Li, "Effect of montmorillonite on properties of styrene-butadiene-styrene copolymer modified bitumen", *Polymer Engineering and science*, 47(9), 1280-1295, 2007.
- [16] A. Samariha, A.H. Hemmasi, I. Ghasemi, B. Bazyar, M. Nematı, "Effect of nanoclay contents on properties, of bagasse flour/reprocessed high density polyethylene/nanoclay composites, Maderas" *Ciencia y tecnología* 17(3): 637 – 646, 2015.
- [17] N. Venkatesan, G.B. Bhaskar, "Study on mechanical testing of various nanoclay reinforced with high density polyethylene nanocomposites", *International Journal of Applied Engineering Research* 16(3), 220-227, 2021.
- [18] H. Adin, M.Ş..Adin, 'Effect of particles on tensile and bending properties of jute epoxy composites' *Materials Testing*, 64 (3), 401-411, 2022.
- [19] İ. Saraç, H. Adin, Ş. Temiz,' Experimental determination of the static and fatigue strength of the adhesive joints bonded by epoxy adhesive including different particles' *Composites Part B: Engineering*, 155, 92-103, 2018.
- [20] B.E. Gümüş, "Effect of montmorillonite clay on physical properties of HDPE/ HGS composites", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21, 735-744, 2021.
- [21] A. Kaştan, Y. Yalçın, H. Ünal, "Wear behavior of polyamide 6/high density polyethylene/nanoclay composites", *Romanian Journal of Materials*, 47(2), 237-243, 2017.

### Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur.

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### Yazar Katkıları

Taşdemir: Veri toplama, Verilerin analizi ve yorumlanması, Taslağın oluşturulması

Karadirek: Veri toplama, Verilerin analizi ve yorumlanması, Taslağın oluşturulması

Aydın: Veri toplama, Verilerin analizi ve yorumlanması, Taslağın oluşturulması