



INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF MONTMORILLONITE NANOCCLAY ADDED LOW DENSITY POLYETHYLENE/POLYSTYRENE/STYRENE BUTADIENE STYRENE POLYMER COMPOSITE

Çağla Ceren Aydın¹ , Gizem Karadirek¹ , Münir Taşdemir^{*1} 

¹Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, İstanbul, 34722, Türkiye

Abstract

Original scientific paper

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 mechanical properties of polymer composite materials obtained; tensile, three point bending, hardness, impact tests were conducted to obtain information about the various mechanical properties of the composite. In addition, in order to see the distribution of nanoclay powders in the matrix, photographs of the broken surfaces obtained from the impact tests were taken with scanning electron microscopy (SEM). According to the results of the tests, with the increase of nanoclay powder ratio in the matrix; elasticity modulus, tensile strength, flexural modulus, maximum bending strength and hardness values were increased but % elongation, impact strength and bending elongation values were found to decrease.

Keywords: Low density polyethylene, nanoclay, mechanical properties, composite material, hardness, impact strength, tensile strength.

MONTMORİLLONİT NANOKİL İLAVE EDİLMİŞ DÜŞÜK YOĞUNLUKLU POLİETİLEN/POLİSTİREN/STİREN BÜTADİEN STİREN POLİMER KOMPOZİTİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Özet

Orijinal bilimsel makale

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 elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen bu polimer kompozitlerinden enjeksiyon kalıplama yöntemi ile kalıplama yaparak standart test numuneleri basılmıştır. Kompozitin çeşitli mekanik özellikleri hakkında bilgi edinmek için çekme testi, üç nokta eğme testi, sertlik testi ve darbe testleri yapılmıştır. Ayrıca nanokil tozlarının matris içerisinde dağılımlarını görmek için darbe testleri sonucundan elde edilen kırık yüzeylerden taramalı elektron mikroskopisi (SEM) ile fotoğrafları çekilmiştir. Yapılan testlerin sonuçlarına göre, matris içerisinde nanokil toz oranının artmasıyla; elastiklik modülü, çekme mukavemeti, kopma mukavemeti, eğilme modülü, maksimum eğilme mukavemeti ve sertlik değerlerinin arttığı buna karşılık kopma uzaması, darbe mukavemeti ve eğilme uzaması değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Düşük yoğunluklu polietilen, nanokil, mekanik özellikler, kompozit malzeme, sertlik, darbe mukavemeti, çekme mukavemeti.

1 Giriş

Doğal veya yapay iki (veya daha fazla) malzemenin birleşmesiyle elde edilen malzemeye kompozit denir [1]. Günümüzde çok çeşitli polimer kompozitleri elde edilebilmektedir. Polimerlere çeşitli kil ilavesi ile elde edilen polimerik kompozitler günümüzde birçok

uygulamalarda kullanılmaktadır. Maliyetlerinin düşük olması ve kolay elde edilebilmeleri bu uygulamalarda en önemli sebeplerdir [2-3].

Literatür incelendiğinde bu konuda bir çok çalışma olduğu görülmektedir. Örneğin, İskender ve arkadaşları Nanokil/polimer/bitüm nanokompozit hazırlama yönteminin asfalt karışım performansı üzerindeki

* Corresponding author.

E-mail address: munir@marmara.edu.tr (M. Taşdemir)

Received 29 March 2022; Received in revised form 27 October 2022; Accepted 23 November 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1095318>

etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmada, polimer modifiye asfalt nanokompozit üretiminde polimer ve nanokil eklenme sıralarının nihai asfalt karışımın performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Stren bütadien stiren ve etilen vinil asetat polimerleri nanokil ile birlikte katılma sıraları değiştirilerek yüksek sıcaklıkta karıştırma tekniği ile bitüme ilave edilmiştir. Deneyler sonucunda polimer içerisine nanokil ilavesi ile su hasar direncinin ve ısı çatlama direncinin arttığını belirlemişlerdir [4]. Kaştan ve arkadaşları ise PA₆/YYPE/nanokil kompozitlerinin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Kompozit malzemelerin çekme mukavemeti değeri üzerine uyumlaştırıcının çok iyi etkisinin olduğunu yapılan çalışma ile ortaya konmuşlardır. Bunu yanı sıra matris katılan nanokilin çekme mukavemeti üzerinde olumlu etkisinin olduğunu da gözlemlemişlerdir. Özellikle kompozit içerisindeki nanokil oranının artması ile kompozitin çekme mukavemeti değerinin arttığını belirlemişlerdir [5]. Başka bir çalışmada Uzun, düşük yoğunluklu polietilen içerisine kil katarak bir polimer kompoziti üretmiş ve elde ettiği kompozit malzemenin mekanik özelliklerini incelemiştir. Düşük yoğunluklu polietilen içerisindeki kil miktarının artması ile elastiklik modül değerinin arttığını belirlemiştir. Bunun yanı sıra kompozitin akma mukavemeti, çekme mukavemeti, eğilme mukavemeti ve sertlik değerlerinde de artışın olduğunu belirlemiştir [6]. Taşdemir ve arkadaşları ise yapmış oldukları bir çalışmada polistiren ile yüksek yoğunluklu polietileni, stiren bütadien stiren kopolimeri ile uyumlaştırmaya çalışmışlardır. Polistiren/yüksek yoğunluklu polietilen karışımının mekanik değerleri polistiren/yüksek yoğunluklu polietilen/stiren bütadien stiren polimer alaşımının mekanik değerleri ile karşılaştırıldığında stiren bütadien stiren ilavesi ile elastiklik modülü, akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve sertlik değerlerinde bir azalmanın meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Buna karşılık stiren bütadien stiren ilavesi ile % uzama ve darbe mukavemeti değerlerinde de artış tespit etmişlerdir [7]. Gümüş çalışmasında cam küre ve nanokil katkılı yüksek yoğunluklu polietilen polimer kompozitlerinin mekanik özelliklerini incelemiştir. Yüksek yoğunluklu polietilen içerisine nanokil olarak montmorillonite katmıştır. Çalışmasında %20 oranında içi boş cam küre ve %1-5-10 ve 15 oranlarında kil kullanmıştır. Kil oranının artmasıyla elastiklik modül değerinin arttığını buna karşılık çekme mukavemeti, kopma mukavemeti, sertlik ve % uzama değerlerinin düştüğünü belirlemiştir [8]. Zahang ve arkadaşları; polipropylene kırmızı çamur ekleyerek bir polimer kompoziti elde etmişlerdir. Polipropilen içerisinde kırmızı çamur tozunun artmasıyla gerilme ve eğilme mukavemet değerlerinin arttığını tespit etmişlerdir [9].

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. Kompozitin çeşitli mekanik özellikleri hakkında bilgi edinmek için çekme testi, üç nokta eğme testi, sertlik testi ve darbe testleri yapılmıştır. Yapılan testlerin sonuçlarına göre, matris içerisinde nanokil toz oranının artmasıyla; elastiklik modülü, çekme mukavemeti, kopma mukavemeti, eğilme modülü, maksimum eğilme mukavemeti ve sertlik değerlerinin

arttığı buna karşılık kopma uzaması, darbe mukavemeti ve eğilme uzaması değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir.

2 Materyal ve Metot

2.1 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. Bu tablodaki oranların belirlenmesi için literatürler incelenmiş ve optimum oranlar oluşturularak gruplar belirlenmiştir. Kullanılan düşük yoğunluklu polietilen H2-8 kodlu Petkim tarafından üretilen polimerdir. Yoğunluğu 0,918-0,922 g/cm³ tür. Erime akış hızı (2,16 kg-190 °C) 1,7-3,0 g/10 dak arasındadır. Vicat yumuşama sıcaklığı 80 °C ve akma gerilme dayanımı ise 80 kg/cm²’ 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 oluşmaktadır. Stiren bütadien stiren ise LLC (USA) tarafından üretilen Kraton D-1184 kodlu üründür. Yoğunluğu 0,938 g/cm³ ve stiren oranı ise %30’ dur.

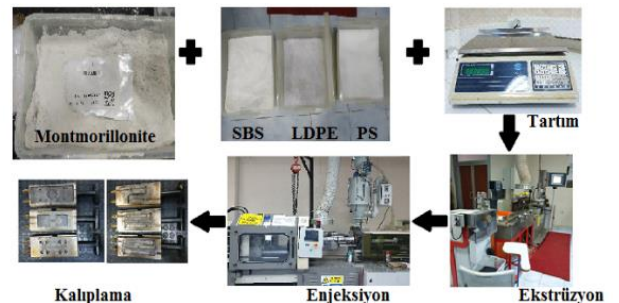
2.2 Numune Hazırlama

Düşük yoğunluklu polietilen, polistiren, stiren etilen bütadien stiren termoplastik blok kopolimeri ve montmorillonite nano kili, Yamato ADP-31 tipi fırın içerisinde 105 °C’ de 8 saat boyunca kurutulmuştur. Şekil 1’ de bu deneysel çalışmanın aşamaları verilmiştir.

Nanokil tozları ve düşük yoğunluklu PE, PS ve SBS granülleri Patterson marka karıştırıcıda yirmi dakika süresince fiziksel olarak karıştırılmıştır. Bir sonraki aşamada ise Mikrosan marka çift vidalı ekstrüderde 25-30

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

Grup	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



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

bar basınç altında, 25 dev/dak vida dönüş hızı ve 180-210 °C arasında bulunan sıcaklıklarda eritilerek karışımları gerçekleştirilmiştir. Buradan çıkan granüller enjeksiyonla kalıplama öncesinde tekrar kurutma fırınında 24 saat boyunca 105°C’de kurutulmuştur. Son olarak enjeksiyon

makinesinde standart test numuneleri basılmıştır. Tablo 2’de ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama parametreleri verilmiştir.

Tablo 2. LDPE/PS/SBS/montmorillonit nanokil polimer kompozitinin ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama parametreleri.

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

2.3 Karakterizasyon

Mekanik özellikleri belirlemek için her grup için beş adet numune test edilmiş ve aritmetik ortalamaları verilmiştir. Çekme testleri Zwick Z010 test makinesi kullanılarak ASTM D638 standartlarına göre 50 mm/dak. çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Üç nokta eğme testi yine Zwick Z010 test makinesi kullanılarak ASTM D 790 ‘a göre yapılmıştır. Sertlik testi Zwick sertlik ölçüm cihazı ile ASTM D2240 yöntemine göre yapılmıştır. Çentikli Izod darbe testleri Zwick marka darbe test cihazı ile ASTM D256 yöntemine göre oda sıcaklığında yapılmıştır. Numunelerin yoğunlukları ISO 1183-1 (yöntem A) test yöntemine göre yapılmıştır. Darbe numunelerinden elde edilen kırık yüzeyler Polaron marka kaplama cihazında altın/paladyum alaşımı ile kaplanmıştır. 10 nm kalınlığındaki bu kaplama elektriksiz yüklemeyi önlemek için yapılmıştır. Daha sonra numuneler 15 kV altında Jeol marka taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Şekil 2’ de bu çalışmada kullanılan test cihazları verilmiştir. Şekil 3’de ise test öncesi ve sonrası numuneler ve ölçüleri verilmiştir.



Çekme cihazı

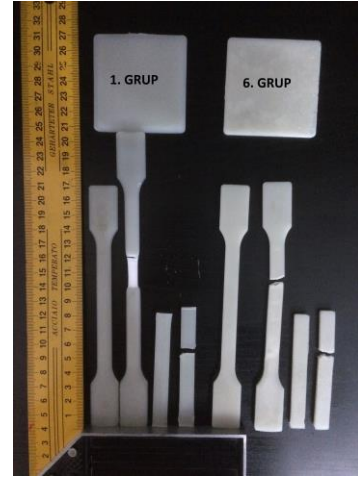
Sertlik cihazı

SEM



Darbe cihazı

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



Şekil 3. Test öncesi ve sonrası numuneler ve ölçüleri (Darbe ve eğilme numunesi ölçüleri:80x10x4 mm, çekme ve sertlik test numune kalınlığı 4 mm’dir.).

3 Bulgular ve Tartışma

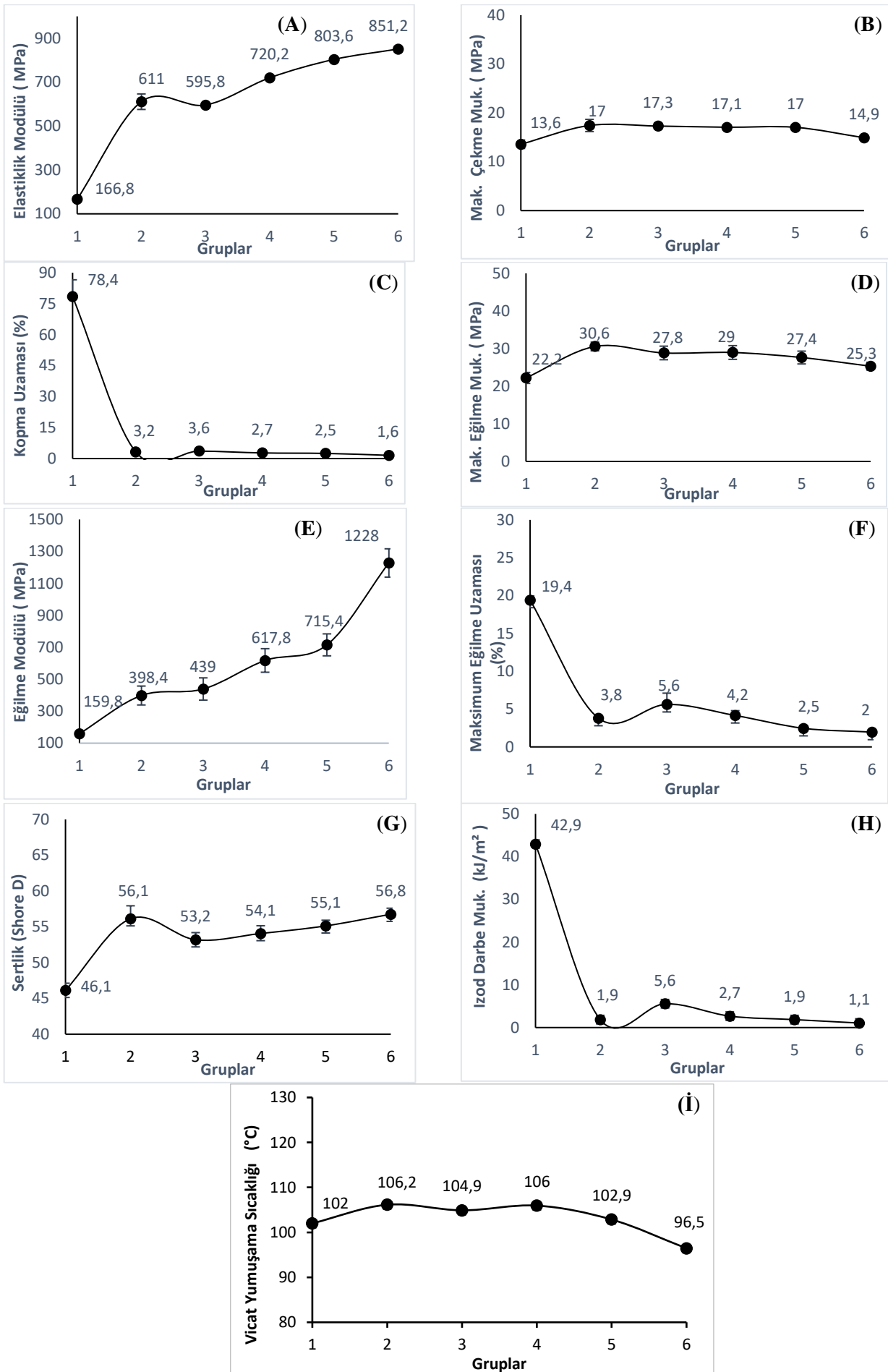
3.1 Mekanik Özellikler

Düşük yoğunluklu polietilenin içerisine farklı oranlarda polistiren, stiren bütadien stiren ve montmorillonite nano kili katılmasıyla elde edilen polimer kompozitinin çekme testi sonucu elde edilen elastiklik modül değerleri şekil 4A’ da verilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı gibi matris içerisine PS, SBS ve nanokil ilavesiyle kompozitin elastiklik modül değerinin arttığı görülmektedir. Saf düşük yoğunluklu polietilenin elastiklik modül değeri 166,8 MPa olarak ölçülmüşken matrise ağırlıkça %50 oranında PS katıldığında bu değer artarak yaklaşık 611 MPa’ a çıktığı tespit edilmiştir. Bu durumun PS’nin rijit karakterde olmasından kaynaklanmaktadır. %10 oranında SBS ilave edildiğinde ise bu değer 595,8 MPa olduğu görülmektedir. % 30 montmorillonite eklendiğinde ise bu değer artarak 851,2 MPa’ a çıktığı tespit edilmiştir. Kaştan ve arkadaşları [5] yapmış oldukları bir çalışmada poliamid-6 (PA6) ile yüksek yoğunluklu polietileni (YYPE) karıştırmışlardır. Bu iki polimer uyumsuz olduklarından uyumlaştırıcı olarak melaik anhidrit ile aşılansız polietilen (PE-g-MA) kullanmıştır. Bunlara ek montmorillonit nanokili karışıma ilave edilmiş ve hazırlanan kompozitlerin içerisindeki uyumlaştırıcının ve montmorillonit nanokilinin kompozitin özelliklerine olan etkileri incelenmiştir. Kompozitlere elastiklik modülü, çekme mukavemeti, eğilme mukavemeti, sertlik gibi mekanik testler uygulanmıştır. %5 montmorillonit nanokil ilavesi ile PA₆/YYPE/PE-g-MA(80/20/5) malzemesi için elastiklik modül değeri %77 oranında artış göstermiştir. Sonuçlar Kusmono ve ark. [10] ile Touchaleaume ve arkadaşlarının [11] yapmış oldukları çalışmalarla da benzerlik göstermektedir. LDPE içerisine PS, SBS ve montmorillonite oranlarının artmasıyla elde edilen kompozitin maksimum çekme mukavemeti değerleri Şekil 4B’ de verilmiştir. Saf düşük yoğunluklu polietilenin mak. çekme mukavemeti değerinin 13,6 MPa olduğu görülmektedir. Kompozitin içerisine %50 oranında polistirenin ilavesi bu değeri 17 MPa’ la çıkartmıştır. Bu beklenen bir durumdur. Çünkü polistiren, düşük yoğunluklu polietilene kıyasla daha rijit

karakterdedir. Düşük yoğunluklu polietilen matris içerisinde montmorillonite oranının %30 oranında olması çekme mukavemeti değerinde az da olsa bir azalmanın olmasına yol açmıştır. Kaştan ve arkadaşları [5] yapmış oldukları bir çalışmada PA₆/YYPE/PE-g-MA(80/20/5) karışımına %5 montmorillonit nanokil ilavesi ile çekme mukavemeti değerinin %15 oranında arttığını belirlemişlerdir. Başka bir çalışmada Taşdemir ve arkadaşları [12] akrilonitril bütadien stiren içerisine bir kil olan kırmızı çamur tozlarını katarak bir polimer kompoziti elde etmişler ve kompozitin mekanik, termal ve morfolojik özelliklerini incelemişlerdir. Kırmızı çamur tozunun oranının artmasıyla elastik modülü ve çekme mukavemeti değerlerinin de arttığı belirlenmiştir.

LDPE içerisine PS, SBS ve montmorillonite oranlarının artmasıyla elde edilen kompozitin kopma uzaması değerleri Şekil 4C' de verilmiştir. Saf düşük yoğunluklu polietilenin kopma uzama değerinin %78,4 olduğu görülmektedir. Kompozitin içerisine %50 oranında polistiren ilavesi bu değer %3,2' ye düşmüştür. Polistiren, düşük yoğunluklu polietilene nazaran daha sert ve rijit karakterde olması nedeniyle kopma uzaması değerinde azalma meydana gelmiştir. Kompozite montmorillonite ilavesiyle bu değer bir miktar daha düşmüş ve son grupta %1,6 değerine gelmiştir. Kısacası LDPE içerisine PS ve montmorillonite ilavesi kopma uzama değerini ciddi derecede düşürmüştür. Literatürde de benzer sonuçlar bulunmaktadır. Kaştan [5] yapmış olduğu bir çalışmada kompozite eklenen %1 oranındaki nanokilin ilavesiyle kopma uzama değerinin %13,3 oranında azaldığını belirlemiştir. Başka bir çalışmada Taşdemir [12] ABS'ye ilave edilen kırmızı çamur tozunun oranının artmasıyla kopma uzama değerinin azaldığını belirlemiştir. Scarrafo ve ark. [13] yapmış oldukları çalışmada benzer sonuçları bulmuştur. LDPE içerisine PS, SBS ve montmorillonite oranlarının artmasıyla elde edilen kompozitin eğilme mukavemeti değerleri Şekil 4D' de verilmiştir. Saf düşük yoğunluklu polietilenin eğilme mukavemeti değerinin 22,2 MPa olduğu görülmektedir. Kompozitin içerisine %50 oranında polistiren ilavesi ile bu değer 30,6 MPa 'ya çıkmıştır. Kompozitin içerisindeki montmorillonite oranlarının artmasıyla bu değerde bir miktar daha düşme olmuştur. %30 montmorillonite ilavesinde bu değer 25,3 MPa olarak ölçülmüştür. LDPE içerisine PS, SBS ve montmorillonite oranlarının artmasıyla elde edilen kompozitin eğilme modül değerleri Şekil 4E' de verilmiştir. Saf düşük yoğunluklu polietilenin eğilme modül değerinin 159,8 MPa olduğu görülmektedir. Kompozitin içerisine %50 oranında polistiren ilavesi bu değeri 398,4 MPa 'ya çıkarmıştır. Kompozit içerisindeki montmorillonite oranlarının %30 artmasıyla bu değer ciddi oranda artarak 1228 MPa 'la çıkmıştır. Dayma ve arkadaşlarının [14] yapmış oldukları çalışma ile burada elde edilen sonuçlar benzerlik göstermektedir. Bu durumu yapıya ilave edilen nanokilin polimer zincirlerinin hareketlerini kısıtlaması ile açıklamışlardır. LDPE içerisine PS, SBS ve montmorillonite oranlarının artmasıyla elde edilen kompozitin eğilme uzama değerleri Şekil 3F' de verilmiştir. Saf düşük yoğunluklu polietilenin eğilme uzama değerinin %19,4 olduğu görülmektedir. Kompozitin içerisine %50 oranında polistiren ilavesi bu

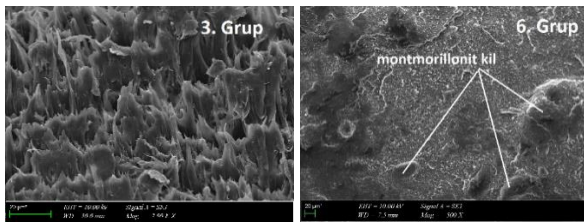
değeri %3,8' e düşmüştür. 3. Grupta SBS oranının artmasıyla eğilme uzama değeri bir miktar artarak %5,6 'ya çıkmıştır. Fakat kompozitin içerisindeki montmorillonite oranının artışıyla darbe eğilme mukavemeti değeri tekrar düşüş göstererek son grupta %2 seviyesine inmiştir. LDPE içerisine PS, SBS ve montmorillonite oranlarının artmasıyla elde edilen kompozitin sertlik değerleri Şekil 4G' de verilmiştir. Saf düşük yoğunluklu polietilenin sertlik değerinin 46,1 Shore D olduğu görülmektedir. Kompozitin içerisine %50 oranında polistiren ilavesi bu değeri 56,1 Shore D değerine çıkarmıştır. 3. Grupta SBS oranının artmasıyla Shore D değeri 53,2 'ye düşmüştür. Çünkü SBS ilavesiyle yapı burada daha yumuşak bir hal almıştır. Fakat kompozitin içerisindeki montmorillonite oranının artışıyla sertlik değeri tekrar yükseliş göstererek son grupta 56,8 değerine çıkmıştır. Bulgular Kumar ve arkadaşları [15] ile Srinath ve arkadaşlarının [16] yapmış oldukları çalışmalar ile uyumluluk göstermektedir. LDPE içerisine PS, SBS ve montmorillonite oranlarının artmasıyla elde edilen kompozitin Izod darbe mukavemeti değerleri Şekil 4H' de verilmiştir. Grafik incelendiğinde saf düşük yoğunluklu polietilenin darbe mukavemeti değerinin 42,9 kJ/m² olduğu görülmektedir. Kompozitin içerisine %50 oranında polistiren ilavesi bu değer 1,9 kJ/m² 'ye düşmüştür. Bu da polistirenin rijit karakterde olmasından kaynaklanmaktadır. 3. Grupta SBS oranının artmasıyla Izod darbe mukavemeti değeri bir miktar artarak 5,6 kJ/m² 'ye çıkmıştır. Fakat kompozitin içerisindeki montmorillonite oranının artışıyla darbe mukavemeti değeri tekrar düşüş göstermiştir. Taşdemir [12] yapmış olduğu bir çalışmada da benzer sonuç bulunmuştur. Akrilonitril bütadien stiren içerisindeki kırmızı çamurun oranının artmasıyla Izod darbe mukavemeti değerlerinin düştüğünü belirlemiştir. Han ve arkadaşları [17] yüksek yoğunluklu polietilen içerisine bambu ve değişik miktarlarda montmorillonite nanokil ekleyerek mekanik özelliklerdeki değişimi ve kil dağılımını incelemişler. Kil oranı arttıkça darbe mukavemetinin azalmasını kilin kompozit içinde kümeleşmesine ve boşlukların varlığına dayandırmışlardır. Şekil 4I'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, B.[18] 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, M., ve arkadaşları [19] bir çalışmada polipropilen içerisine kil ve Mg(OH)₂ katıp süper kritik şartlarda CO₂ gazı emdirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda kil miktarının artışıyla Vicat yumuşama değerinde azalmanın olduğunu belirlemişlerdir.



Şekil 4. LDPE/PS/SBS/Montmorillonit nanokil polimer kompozitinin mekaniksel özellikleri.

3.2 Morfolojik Özellikler

LDPE/PS/SBS/nanokil polimer kompozitinin SEM görüntüleri Şekil 5’de verilmiştir. SEM fotoğraflarına bakıldığında matris ve montmorillonit nanokil partikülleri net olarak gözükmemektedir. Montmorillonit kil partiküllerinin matris içerisinde homojen olarak dağıldığı da görülmektedir. Buna ek olarak matris ve kil partikülleri arasındaki ara yüzeylere bakıldığında bir adezyonun olduğu da söylenebilir. Bunun sebebinin uyumlaştırıcı olarak kullanılan stiren bütadien stiren kopolimerinden kaynaklandığını düşünmekteyiz. Mikroyapı fotoğrafları mekanik testler sonucu elde edilen değerlerin (modül ve sertlik) doğruluğunu da kanıtlamış oldu. Literatürde mikroyapı fotoğrafları ile elde edilen değerler arasında bir bağlantının olduğuna dair birçok çalışma mevcuttur [20-21].



Şekil 5. LDPE/PS/SBS/Montmorillonit nanokil polimer kompozitinin SEM fotoğrafları.

4 Sonuçlar

Bu çalışmada düşük yoğunluklu polietilen polimerine farklı oranlarda polistiren, stiren bütadien stiren termoplastik blok kopolimeri ve nanokil eklenmiştir. Elde edilen polimer kompozitinin elastiklik modülü, çekme mukavemeti, kopma uzaması, eğilme mukavemeti, eğilme modülü, eğilme uzaması, sertlik, Izod darbe mukavemeti ve Vicat yumuşama sıcaklık değerleri belirlenmiştir. Bunlara ek olarak mikroyapı görüntüleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; LDPE/PS/SBS polimer alaşımına montmorillonit nanokil ilavesi ile elde edilen polimer kompozitinde montmorillonit nanokil ilavesinin artmasıyla elastiklik modül değerinin yükseldiği tespit edilmiştir. Elastiklik modül değerindeki yükselmenin bir sebebi polistirenin rijit karakterde olması diğer sebebi ise kompozit içerisinde yine nispeten rijit karakterde olan kil oranının artmasından kaynaklıdır. Bu durum % uzama değerlerinde ise düşüşe neden olmuştur. Eğilme testi sonuçlarına göre eğilme modülü değerinde artışın olduğu buna karşılık eğilme uzaması değerlerinde ise düşüşün olduğu tespit edilmiştir. Polistirenin ve kilin rijit karakterde olması eğilme modül değerini yükseltirken eğilme uzaması değerini ise düşürmüştür. Montmorillonit nanokil ilavesi elde edilen polimer kompozitini bir miktar sertleştirdiğinden ve dolayısıyla enerjiyi fazla absorbe edemediğinden darbe mukavemeti değerinde ise düşüşe sebebiyet vermiştir. SEM analizi sonucu elde edilen mikroyapılar incelendiğinde montmorillonit nanokilin homojen bir şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir. Bu durum malzeme özellikleri hakkında güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır.

Bilgilendirme

Bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur. Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- [1] Sabancı, S. (2005). *Fiber takviyeli polimer matrisli kompozitlerin enjeksiyon yöntemi ile üretimi*. (Master’s dissertation, Yıldız Technical University).
- [2] Bala, N., Kamaruddin, İ., Napiah, M., & Sutanto, M. H. (2019). Polymer nanocomposite - modified asphalt: characterisation and optimisation using response surface methodology. *Arabian Journal for Science and Engineering* 44, 4233–4243.
- [3] Oner, J. (2019). Examination of storage stability behaviour of polymer modified bitumen involving nanoclay. *Eurasian Journal of Civil Engineering and Architecture*, 3, 49-55.
- [4] İskender, E., & Aksoy, A. (2021). Nanokil/polimer/bitüm nanokompozit hazırlama yönteminin asfalt karışım performansı üzerindeki etkilerinin araştırılması’, *Teknik Dergi*, 32(3), sf:10885-10906.
- [5] Kaştan, A., Yalçın, Y., Ünal, H., & Talaş Ş. (2015). PA6/YYPE/nanokil kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15, 9-20.
- [6] Uzun, M.T. (2017). *Kil takviyeli alçak yoğunluklu polietilen kompozit üretimi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi*. (Master’s dissertation, Sakarya University).
- [7] Taşdemir M., & Yıldırım, H. (2002). Effect of styrene-sutadiene-Styrene addition on polystyrene/high-density polyethylene blends’, *Journal of Applied Polymer Science*, 83, 2967–2975.
- [8] Gümüş, B. E. (2018). Cam küre ve nanokil katkılı yüksek yoğunluklu polietilen polimer kompozitlerinin mekanik özellikleri’, *13. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, Van, Türkiye*, ss. 20-28.
- [9] Zhang, Y., Zhang, A., Zhen, Z., Lv, F., Chu, P.K., & Ji, J. (2011). Red mud/polypropylene composite with mechanical and thermal properties. *Journal of Composite Materials*, 45(26), 2811–2816.
- [10] Kusmono, Z.A., Mohd, I., Chow., W.S., Takeichi, T., & 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.
- [11] Touchaleaume, F., Soulestin, F., Sclavons, M., Devaux, J., Lacrampe, M.F., & 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.
- [12] Taşdemir, M., & Kurt, M. (2016). Acrylonitrile butadiene styrene/red mud polymer composites: Ultraviolet Annealing, *Advanced Science, Engineering and Medicine*, 8, 804–809.
- [13] Scaffaro, R., Mistretta, M.C., & La Mantia, F. P. (2008). Compatibilize polyamide 6/polyethylene blend– clay nanocomposites: Effect of the degradation and stabilization of the clay modifier. *Polymer Degradation and Stability* 93, 1267–1274.
- [14] Dayma, N., & Satapathy, B. K. (2010). Morphological interpretations an micromechanical properties of polyamide-6/polypropylene-grafted-maleic anhydride/nanoclay ternary nanocomposites, *Materials and Design*, 31, 4693– 4703.

- [15] 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.
- [16] Srinath, G., Gnanamoorthy, R. (2007). Sliding wear performance of polyamide 6–clay nanocomposites in water. *Composites Science and Technology* 67, 399–405.
- [17] Han, G., Lei, Y., Wu, Q., Kojima, Y., & Suzuki, S. (2008). Bamboo-fiber filled high density polyethylene composites: Effect of coupling treatment and nanoclay. *Journal of Polymers and the Environment*, 16, 123-130.
- [18] Gümüş, B.E. (2021). Effect of montmorillonite clay on physical properties of HDPE/ HGS composites, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21:735-744.
- [19] Taşdemir, M., Caneba, G.T., Tiwari, R., & Wang, B. (2011). Characterization of PP/Mg(OH)₂ and PP/nanoclay composites with supercritical CO₂ (scCO₂), *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 50(10): 1064-1070.
- [20] Naeemian, N., (2008). *Evaluating the properties of hybrid composition made of wood flour, hemp fibers/polypropylene*. (Doctoral dissertation, Islamic Azad University).
- [21] Yeh, S. K., & Gupta, K., (2010). Nanoclay-reinforced, polypropylene-based wood–plastic composites’, *Polym Eng Sci* 50(10): 2013-2020.