

2006-41



TÜRKİYE BİLİMSEL VE
TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL
RESEARCH COUNCIL OF TURKEY

**DOLGU MADDESİ EKLENMESİYLE
İLETKEN POLİMER KOMPOZİTLERİNİN
HAZIRLANMASI**

Fo 123

PROJE NO: MİSAG-271

**Makina, Kimyasal Teknolojiler, Malzeme ve İmalat Sistemleri
Araştırma Grubu**

**Mechanical Engineering, Chemical Technologies, Material
Sciences and Manufacturing Systems Research Grant
Committee**

**DOLGU MADDESİ EKLENMESİYLE
İLETKEN POLİMER KOMPOZİTLERİNİN
HAZIRLANMASI**

ZD 123

PROJE NO: MİSAG-271

**Doç.Dr. Göknur Bayram
Sertan Yeşil
Özcan Köysüren**

Ankara 2006

ÖNSÖZ

Bu projede karbon bazlı iletken dolgu maddesi katkısıyla yalıtkan termoplastik polimer malzemelerin elektriksel iletkenlik değerlerinin artırılması amaçlanmıştır. Ayrıca üretilen kompozit malzemelerin mekanik, termal ve morfolojik karakterizasyonları gerçekleştirilmiştir. Proje süresince yapılan bütün çalışmalar Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ.....	1
1.1 Projenin Konusu.....	1
1.2 Konu ile İlgili Literatür Özeti.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	4
3. GEREÇ ve YÖNTEM.....	6
3.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler.....	6
3.2 Deneysel Çalışmalar ve Karakterizasyon.....	7
4. SONUÇLAR.....	11
4.1 Elektriksel İletkenlik Testleri Sonuçları.....	11
4.2 Çekme Testleri Sonuçları.....	18
4.3 Darbe Dayanımı Testleri Sonuçları.....	30
4.4 Termal Özellikler.....	34
4.5 Morfolojik Özellikler.....	35
5. TARTIŞMA.....	40
5.1 Elektriksel İletkenlik Sonuçları.....	40
5.2 Çekme Testi Sonuçları.....	42
5.3 Darbe Testi Sonuçları.....	43
5.4 Termal Test Sonuçları.....	43
5.5 Morfolojik Analiz Sonuçları.....	44
6. ÖNERİLER.....	46
7. REFERANSLAR.....	47

TABLO LİSTESİ

- Tablo 1.** Yüksek yoğunluklu polietilen polimerinin fiziksel özellikleri
- Tablo 2.** Nylon 6 polimerinin fiziksel özellikleri
- Tablo 3.** Polipropilen polimerinin fiziksel özellikleri
- Tablo 4.** Polietilen terftalat polimerinin fiziksel özellikleri
- Tablo 5.** Karbon siyahı parçacıklarının fiziksel özellikleri
- Tablo 6.** Karbon nanotüp parçacıklarının fiziksel özellikleri
- Tablo 7.** Ekstrüder proses parametreleri
- Tablo 8.** Basınçlı kalıplama proses parametreleri
- Tablo 9.** Enjeksiyonlu kalıplama proses parametreleri
- Tablo 10.** Vakumlu etüv kurutma koşulları
- Tablo 11.** Projede kullanılan polimerlerin ΔH_m° değerleri
- Tablo 12.** Hazırlanan kompozitlerin termal özellikleri

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Deneysel çalışmalar sırasında uygulanan prosedür

Şekil 2. PET bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı elektrik akım direnci değişimi

Şekil 3. PET bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı elektrik akım direnci değişimi

Şekil 4. PP bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı elektrik akım direnci değişimi

Şekil 5. PP bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı elektrik akım direnci değişimi

Şekil 6. Nylon6 bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı elektrik akım direnci değişimi

Şekil 7. Nylon6 bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı elektrik akım direnci değişimi

Şekil 8. YYPE bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı elektrik akım direnci değişimi

Şekil 9. YYPE bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı elektrik akım direnci değişimi

Şekil 10. PET bazlı polimer kompozitlerinin dolgu maddesi içeriğine bağlı elektrik akım direnci değişimi

Şekil 11. PP bazlı polimer kompozitlerinin dolgu maddesi içeriğine bağlı elektrik akım direnci değişimi

Şekil 12. Nylon6 bazlı polimer kompozitlerinin dolgu maddesi içeriğine bağlı elektrik akım direnci değişimi

Şekil 13. YYPE bazlı polimer kompozitlerinin dolgu maddesi içeriğine bağlı elektrik akım direnci değişimi

Şekil 14. Nylon 6, YYPE, Polipropilen ve PET bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı elektrik akım direncideğişimleri

Şekil 15. Nylon 6, YYPE, Polipropilen ve PET bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı elektrik akım direnci değişimleri

Şekil 16. PET bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı çekme dayanımı değişimi

Şekil 17. PET bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı çekme modülü değişimi

Şekil 18. PET bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı kopmadaki uzama değişimi

Şekil 19. PET bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı çekme dayanımı değişimi

Şekil 20. PET bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı çekme modülü değişimi

Şekil 21. PET bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı kopmadaki uzama değişimi

Şekil 22. PP bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı çekme dayanımı değişimi

Şekil 23. PP bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı çekme modülü değişimi

Şekil 24. PP bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı kopmadaki uzama değişimi

Şekil 25. PP bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı çekme dayanımı değişimi

Şekil 26. PP bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı çekme modülü değişimi

Şekil 27. PP bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı kopmadaki uzama değişimi

Şekil 28. Nylon6 bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı çekme dayanımı değişimi

Şekil 29. Nylon6 bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı çekme modülü değişimi

Şekil 30. Nylon6 bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı kopmadaki uzama değişimi

Şekil 31. Nylon6 bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı çekme dayanımı değişimi

Şekil 32. Nylon6 bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı çekme modülü değişimi

Şekil 33. Nylon6 bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı kopmadaki uzama değişimi

Şekil 34. YYPE bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı çekme dayanımı değişimi

Şekil 35. YYPE bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı çekme modülü değişimi

Şekil 36. YYPE bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı kopmadaki uzama değişimi

Şekil 37. YYPE bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı çekme dayanımı değişimi

Şekil 38. YYPE bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı çekme modülü değişimi

Şekil 39. YYPE bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı kopmadaki uzama değişimi

Şekil 40. PET bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı darbe dayanımı değişimi

Şekil 41. PET bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı darbe dayanımı değişimi

Şekil 42. PP bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı darbe dayanımı değişimi

Şekil 43. PP bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı darbe dayanımı değişimi

Şekil 44. Nylon6 bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı darbe dayanımı değişimi

Şekil 45. Nylon6 bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı darbe dayanımı değişimi

Şekil 46. YYPE bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı darbe dayanımı değişimi

Şekil 47. YYPE bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı darbe dayanımı değişimi

Şekil 48. PET+ağ.%1 CB kompozitinin SEM mikrografi

Şekil 49. PET+ağ.%4 CB kompozitini SEM mikrografi

Şekil 50. PET+ağ.%0.25 CNT kompozitinin SEM mikrografi

Şekil 51. PET+ağ.%1 CNT kompozitinin SEM mikrografi

Şekil 52. PP+ağ.%1 CB kompozitinin SEM mikrografi

- Şekil 53.** PP+ağ.%4 CB kompozitinin SEM mikrografi
- Şekil 54.** PP+ağ.%0.25 CNT kompozitinin SEM mikrografi
- Şekil 55.** PP+ağ.%1 CNTkompozitinin SEM mikrografi
- Şekil 56.** Nylon6+ağ.%3 CB kompozitinin SEM mikrografi
- Şekil 57.** Nylon6+ağ.%6 CB kompozitinin SEM mikrografi
- Şekil 58.** Nylon6+ağ.%0.25 CNT kompozitinin SEM mikrografi
- Şekil 59.** Nylon6+ağ.%1 CNT kompozitinin SEM mikrografi
- Şekil 60.** YYPE+ağ.%3 CB kompozitinin SEM mikrografi
- Şekil 61.** YYPE+ağ.%6 CB kompozitinin SEM mikrografi
- Şekil 62.** YYPE+ağ.%0.25 CNTkompozitinin SEM mikrografi
- Şekil 63.** YYPE+ağ.%1 CNT kompozitinin SEM mikrografi
- Şekil 64.** Nylon 6+ağ.%3 CB kompozitinin TEM mikrografi (0.2 μ m)
- Şekil 65.** Nylon 6+ağ.%2CNT kompozitinin TEM mikrografi (0.2 μ m)
- Şekil 66.** Nylon 6+ağ.%3 CB kompozitinin TEM mikrografi (0.1 μ m)
- Şekil 67.** Nylon 6+ağ.%2CNT kompozitinin TEM mikrografi (0.1 μ m)

ÖZET

DOLGU MADDESİ EKLENMESİYLE İLETKEN POLİMER KOMPOZİTLERİNİN HAZIRLANMASI

Projenin kapsamında, termoplastik polimerler ile karbon bazlı iletken dolgu maddelerini eriyik halde karıştırarak, düzgün dolgu maddesi dağılımına sahip iletken polimer kompozitleri üretilmiştir. Üretilen kompozitlerin elektriksel, mekanik, termal ve morfolojik karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Proje deneylerinde, Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE), Naylon 6, Polipropilen (PP), Poli(etilen terftalat) (PET) polimer matriksleri ile karbon siyahı ve çok duvarlı karbon nanotüp parçacıkları çift vidalı ekstrüderde karıştırılarak farklı kompozisyonlarda iletken polimer kompozitleri hazırlanmıştır. Test numuneleri basınçlı ve enjeksiyonlu kalıplama cihazları kullanılarak hazırlanmıştır. Numunelerin elektriksel özellikleri iki ve dört nokta temaslı iletkenlik ölçme yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir. Mekanik karakterizasyon işlemleri sırasında kompozitlere çekme ve darbe dayanımı testleri uygulanmıştır. Termal özellikler DSC (differential scanning calorimeter) cihazı kullanılarak incelenmiştir. Morfolojik özellikler SEM (taramalı elektron mikroskopu) kullanılarak araştırılmıştır. Yalıtkan termoplastik polimerlerin elektriksel iletkenlikleri yarı-iletken seviyesine indirilmiştir. En düşük kritik konsantrasyon değeri (ağırılıkça % 0.25 karbon nanotüp) PET-karbon nanotüp kompozit sisteminde elde edilmiştir. Kompozitlerin mekanik özellikleri dolgu maddesi katkısıyla değişiklik göstermiştir. Mekanik özelliklerdeki en iyi iyileşme PP bazlı kompozitlerde gözlenmiştir. Genel olarak kompozitlerin içerisindeki dolgu maddesi miktarı arttıkça kristalleme yüzdesi düşmüştür.

Anahtar kelimeler: İletken polimer kompozitleri, karbon siyahı, karbon nanotüp, elektriksel iletkenlik, mekanik özellikler

ABSTRACT

PREPARATION OF CONDUCTIVE POLYMER COMPOSITES BY ADDITION OF FILLERS

The objective of this project is to produce conductive polymer composites by melt-mixing of thermoplastic polymers and carbon based conductive fillers with well dispersion of the filler in the polymeric matrix. The characterization of produced composites was performed in terms of electrical, mechanical, thermal and morphological properties.

In the project experiments conductive polymer composites at different compositions were initially prepared separately by melt-mixing of High density polyethylene (HDPE), Nylon 6, Polypropylene (PP), Poly(ethylene terephthalate) (PET) polymer matrices with carbon black (CB) and multi-walled carbon nanotube (MWCNT) particles in twin screw co-rotating extruder. The test specimens were prepared by using a compression and injection molding equipment. The electrical properties of the specimens were determined by using two and four probe techniques. During mechanical characterization tensile and impact tests were performed. Thermal properties were investigated by using DSC (Differential Scanning Calorimetry). Morphological properties were determined by using SEM (Scanning Electron Microscopy). The electrical resistivity values of the insulator thermoplastic polymers were decreased into the range of semi conductive materials. The lowest percolation threshold (0.25 wt.% CNT) was obtained for the PET-MWCNT composite system. Mechanical properties of the composites were altered with the addition of the filler. PP based composites were shown the best improvement in the tensile strength and tensile modulus values. Generally the crystallinity of the composites decreased with the increasing filler amount.

Keywords: Conductive polymer composites, carbon black, carbon nanotube, electrical conductivity, mechanical properties

1. GİRİŞ

1.1 Projenin Konusu:

Çalışmanın konusu, termoplastik polimer matriksinin elektriksel ve mekanik özelliklerinin karbon bazlı iletken dolgu maddesi eklenmesiyle geliştirilmesidir. Çalışma süresince incelenen önemli parametreler iletken dolgu maddesi, polimer matriks çeşidi ve dolgu maddesinin polimer matriks içindeki miktarıdır. Ayrıca dolgu maddesinin kompozit içerisindeki dağılımının elektriksel iletkenlik üzerindeki etkileri, kompozitlerin ısıl ve mekanik özellikleri de araştırılmıştır.

1.2 Konu ile İlgili Literatür Özeti:

İletken polimer kompozitlerinin geliştirilmesi, bilimsel ve endüstriyel olarak yirmibirinci yüzyılın ilgi çeken konuları arasında yer almaktadır. Literatürde konu ile ilgili seçilen bazı çalışmalar aşağıda özetlenmektedir.

Pinto ve arkadaşları bir çalışmasında [1] proses değişkenlerinin ve dolgu maddesi konsantrasyonunun, karbon siyahı katkılı naylon 6 kompozitlerin elektriksel iletkenliği üzerine etkisini incelemiştir. Ağırlıkça % 9 oranında karbon siyahı içeren kompozitlerde yüksek elektriksel iletkenlik elde edilmiştir. Bu kompozisyonda iletken zincirlerin olduğu tahmin edilmiştir. Proses sıcaklığında ve süresinde yapılan artış ile kompozitlerin elektriksel iletkenlik değerlerinde azalma gözlenmiştir. Yüksek sıcaklıkta, daha önceden oluşan iletken zincirlerin bozulduğu düşünülmüştür.

Pinto ve arkadaşlarının bir başka çalışmasında [2] alüminyum katkılı naylon 6 kompozitleri hazırlanmış ve karakterize edilmiştir. Kullanılan dolgu maddesi şeklinin, kompozitin elektriksel özelliklerini etkilediği gözlenmiştir. Alüminyum dolgu maddesinin çapı arttırlarak, kompozitin kritik kompozisyon değeri hacimce % 34'den % 23'e çekilmiştir.

Pinto ve arkadaşları bir diğer çalışmasında [3] dolgu maddesi boyutu ve konsantrasyonunun, bakır katkılı naylon 6 kompozitlerin elektriksel iletkenliğine olan etkisini araştırmışlardır. Alüminyum katlı kompozitlerin gösterdiği tepkinin tam tersi, dolgu maddesi olarak kullanılan bakır parçacıklarının boyutu küçültükçe kompozitin kritik kompozisyonunda azalma gözlenmiştir.

Chodak ve arkadaşları bir çalışmasında [4] karbon siyahı katkılı polipropilen kompozitlerin elektriksel ve mekanik özelliklerini çalışmıştır. Karbon siyahı katkısı ile kompozitin çekme modülünde, darbe dayanımında ve kırılganlığında artış gözlenmiştir. Karbon siyahı oranı arttıkça, kompozitin proses edilebilme özelliği

azalmıştır. Karakterizasyon testleri için gerekli numuneler, enjeksiyonlu ve basınçlı kalıplama yöntemleri ile hazırlanmıştır. Basınçlı kalıplama yöntemi ile hazırlanan kompozitlerin iletkenlik değerleri, enjeksiyonlu kalıplama yöntemi ile hazırlanan kompozitlere göre daha yüksektir. Enjeksiyonlu kalıplama işlemi sırasında kompozitlere ekstra kayma kuvveti uygulanmış ve daha önceden oluşan iletken zincirlerin bozulduğu düşünülmüştür.

Knite ve arkadaşları bu çalışmada [5] değişik dolgu maddesi katkısı ile hazırlanan poliizopren kompozitlerin elektriksel özelliklerini incelemiştir. Dolgu maddesi olarak karbon siyahı, grafit tozu, karbon fiber ve metal parçacıkları kullanılmıştır. Kompozitlere basınç uygulayarak, elektriksel iletkenlik değerlerindeki değişim gözlenmiştir. Micron boyuttaki dolgu maddesi ve nano boyuttaki dolgu maddesi ile hazırlanan kompozitlerin basınç ve iletkenlik ilişkileri değişiktir. Bu farklılığın nedeni olarak, nano boyuttaki dolgu maddesi ile polimer matriks arasındaki etkileşimin kuvvetli olması düşünülmüştür.

Bu çalışmada, Yu ve arkadaşları [6] kimyasal işlem uygulanmış karbon siyahı ile hazırlanan polietilen kompozitlerin elektriksel özelliklerini incelemiştir. Karbon siyahı iki farklı kimyasal ile modifiye edilmiştir. Titanat ile modifiye edilen karbon siyahının kompozitin elektriksel iletkenliğini artırdığı görülmüştür. Fakat nitrik asit ile modifiye edilen karbon siyahı ise kompozitin elektriksel iletkenliğini düşürmüştür. Kompozitin elektriksel özelliklerinde görülen değişim, karbon siyahının temas direncindeki değişimden kaynaklandığı düşünülmüştür.

Zhang ve arkadaşları [7] karbon siyahına kimyasal işlem uygulayarak, polietilen kompozitlerin özelliklerini değiştirmek istemiştir. Karbon siyahı, nitrik asit ile modifiye edilmiştir. Modifiye edilen karbon siyahı ile polimer matriks arasındaki etkileşimin güçlendiği gözlenmiştir. Genellikle, nitrik asit karbon siyahının temas direncini artırmaktadır. Fakat, iletkenlik ölçümleri sonucuna göre, modifiye edilmiş ve saf karbon siyahı ile hazırlanan kompozitlerin elektriksel iletkenlik değerlerinin fark gözlenmemiştir.

Meincke ve arkadaşlarının bir çalışmasında [8], ekstrüzyon yöntemi kullanılarak, poliamid polimeri ile karbon nanotüp parçacıkları karıştırılmıştır. Nanotüp parçacıklarının, elektrik akım direncine olan etkisi incelenmiştir. İncelenen kompozitlerin elektriksel iletkenliklerinin ağırlıkça %4 karbon nanotüp ilavesiyle büyük bir değişim gösterdikleri gözlemlenmiştir. Çalışılan ikili sistemlere ek olarak, ABS(Acrylonitrile-Butadiene-Styrene) polimeri ilavesi ile elde edilen üçlü sistemlerin,

elektriksel iletkenliklerindeki büyük değişimin ağırlıkça %2 karbon nanotüp ilavesiyle olduğu görülmüştür. Bu değişim kompozit morfolojisinin elektriksel iletkenlik üzerindeki etkilerini göstermektedir. Üçlü sistemde dolgu maddesinin herhangi bir polimer fazındaki seçici dağılımı polimerin daha az dolgu maddesi yüklemesi ile iletken hale gelebilmesini sağlamaktadır.

Benzer bir çalışmada Pötschke ve arkadaşları [9] ağırlıkça % 15 dolgu maddesi içeren polikarbonat-karbon nanotüp kompoziti ilk olarak polikarbonat kullanılarak mikro ekstruderde seyreltilmiştir. Elde edilen kompozitlerin elektriksel iletkenliklerindeki büyük değişimin ağırlıkça %1.5 karbon nanotüp katısında olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca ağırlıkça %5 nanotüp içeren kompozitlerin elektriksel dirençlerinin 10^1 ohm.cm seviyesinde olduğu görülmüştür. Çalışmanın ikinci kısmında polimer karışımı morfolojisinin iletkenlik üzerindeki etkilerini araştırmak için polikarbonat-nanotüp kompoziti yüksek yoğunluklu polietilen polimeri ile karıştırılarak seyreltilmiştir ve iletkenlikteki büyük değişimin ağırlıkça %0.8 nanotüp yüklemesinde gerçekleştiği görülmüştür.

Li ve arkadaşlarının bir çalışmasında [10], katkılı polimerizasyon yöntemi ile polistiren kompozitler elde edilmiştir. Katkılı polimerizasyon yöntemi kullanılarak, daha düşük dolgu maddesi içerisinde, yüksek iletkenlik değerlerine ulaşılmaktadır. Elde edilen polimer kompozitlerini, organik gaz sensörü olarak kullanabilmek için çalışmalar yapılmıştır. Pluta ve arkadaşlarının bir çalışmasında [11], katkılı polimerizasyon yöntemi ile eriyik karıştırma yöntemi kullanılarak polietilen kompozitler elde dilmişdir. Her iki yöntem ile proses edilen kompozitler, ısıl özellikleri bakımından farklılık göstermektedir. Katkılı polimerizasyon yöntemi ile, dolu maddesinin polimer matriks içerisinde daha iyi dağılımı sağlanmıştır. Ayrıca, bu yöntemle proses edilen kompozitlerin elektriksel özelliklerinde gelişme sağlanmıştır. Diğer bir çalışmada [12], naylon 6/grafit kompoziti, katkılı polimerizasyon yöntemi ile proses edilmiştir. Grafitt parçacıklarının, matriks içerisinde düzgün dağılımı sağlanmıştır. 10^4 ohm.cm elektrik akım direncine ağırlıkça yüzde 4 grafitt kompozisyonunda ulaşılmıştır. Her üç çalışmada da görüldüğü gibi katkılı polimerzasyon yöntemi ile hazırlanan kompozitlerde sağlanan dolgu maddesinin kompozit içerisindeki homojen dağılımı elektriksel iletkenliğin daha az miktarda iletken dolgu maddesi kullanarak arttırlabileceğini göstermiştir.

2. GENEL BİLGİLER

Malzemeleri, elektriksel iletkenlik değerleri açısından ikiye ayıralım. Bunlar yalıtkan ve iletken malzemelerdir. İletkenler ve yarı iletkenler elektrik akımını serbest yük taşıyıcılar vasıtası ile iletirler. Elektrik iletkenliği, serbest yük taşıyıcılarının kompozit içerisindeki oranına ve hareket kabiliyetine bağlıdır [13]. Metalin elektriksel iletkenliği, 10^6 - 10^3 S/cm aralığındadır. Yarı iletkenlerin elektriksel iletkenliği ise, 10^3 - 10^{-7} S/cm aralığındadır. İletkenliği 10^{-12} S/cm değerinden küçük olan malzemeler yalıtkan olarak isimlendirilir [14].

Kompozit malzemeler iki ya da daha fazla bileşenden oluşmaktadır. Çoğu polimer kompozitler, dolgu maddesi ve yalıtkan polimer matriks bileşiminden meydana gelmektedir. Kompozitin özellikleri, kendi bileşenlerinin özelliklerine, şekline, morfolojisine ve yüzey alanlarına bağlıdır [15]. İletken polimer kompozitlerinin mühendislik uygulamalarında önemli bir yeri vardır. Kompoziti oluşturan maddeleri ve oranlarını değiştirecek, kompozitin elektriksel özellikleri değiştirilebilmektedir. Bu özelliği, iletken polimer kompozitine geniş uygulama sahası kazandırmaktadır. Elektromanyetik dalgalara karşı kalkan olarak ve statik koruma aracı olarak kullanılabilmektedir [16].

İletken polimer kompozitin elektriksel iletkenliği belirli bir kompozisyonda büyük oranda artmaktadır. İşte bu kompozisyon kritik kompozisyon denilmektedir. Kritik kompozisyon ile birlikte polimer matriks içerisinde elektrik akımının geçişini sağlayan iletken zincirler oluşmaktadır. İletken polimer kompozitin elektriksel özellikleri, dolgu maddesinin elektriksel iletkenliğine, kompozisyonuna ve matriks içerisindeki dağılımına bağlıdır [17].

Termoplastik malzemeler yüksek darbe dayanımı gibi üstün mekanik özelliklere sahip malzemelerdir. Termoplastik malzemeler, çekme modülü, çekme dayanımı ve sertlik değerleri bakımından endüstride aranılan, en çok kullanılan mühendislik malzemeleri arasındadır. Thermoplastik malzemelerin kolay işlem görebilme ve kalıplanabilme özelliği nedeniyle kullanım alanları genişlemektedir. Fakat, yüksek sıcaklıklara karşı dayanımının eksikliği, malzemenin en belirgin dezavantajı olarak görülebilir [18].

2000 yılı aşkın süredir kullanıldığımda bulunan karbon siyahı bir petrol yan ürünüdür. Karbon siyahı kümeler halinde bulunmaktadır ve yapısı içinde bulunduğu kompozitin özelliklerini etkilemektedir [19]. Grafit benzeri yapıya sahip olan karbon siyahı paralel

plakalardan oluşmaktadır. Bu grafit plakaları zayıf van der Waals kuvvetleri birbirine bağlıdır [17].

Yakın zamanda keşfedilen karbon nanotüp, tüp şeklinde grafit plakalarından oluşmaktadır. Yeni bir malzeme olmasına karşın, son yıllarda çok ilgi gören karbon nanotüp üstün mekanik özelliklere sahiptir. Yapısal farklılıklara bağlı olarak elektriksel iletkenliği değiştirebilen nanotüp özellikle elektronik alanında geniş kullanım alanına sahiptir. Çapı birkaç nanometreden 100 nanometreye kadar değişen nanotüp dolgu maddesi olarak, transistör yapımında, devre elemanı olarak ve hidrojen depolama ünitesinde kullanılabilmektedir [20].

3. GEREÇ ve YÖNTEM

Proje kapsamında dört çeşit polimer matriks; Polietilen terftalat (PET), Polipropilen (PP), Nylon6, Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE) ve iki çeşit karbon bazlı dolgu maddesi; karbon siyahı (CB), karbon nanotüp (CNT) kullanılarak iletken polimer kompozitleri üretilmiştir. Deneylerde incelenen parametreler polimer matriks çeşidi, iletken dolgu maddesi çeşidi ve dolgu maddesinin kompozit içerisindeki miktarıdır. Üretilen kompozitlerin elektriksel, mekanik, ışıl ve morfolojik karakterizasyonları gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler sonuçlar ve tartışma bölgelerinde özetlenmiştir.

3.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler:

Deneysel çalışmalarda dört farklı polimer çeşidi (Yüksek yoğunluklu polietilen, nylong 6, polipropilen, polietilen terftalat) ve iki farklı iletken dolgu maddesi (karbon siyahı, karbon nanotüp) kullanılmıştır. Bu malzemelerin bazı fizikal özellikleri Tablo 1-6'da verilmiştir.

Tablo 1. Yüksek yoğunluklu polietilen polimerinin fizikal özellikleri

Temin edilen firma	Petkim
Ticari marka adı	S0464
Yoğunluk(g/cm³)	0.964
Eriyik akış indeksi(g/10min)	0.25-0.45
Erime sıcaklığı(°C)	180
Elektriksel iletkenliği(ohm.cm)	10 ¹⁸

Tablo 2. Nylon 6 polimerinin fizikal özellikleri

Temin edilen firma	Tekno Polimer Ltd.
Ticari marka adı	Domamid 27
Yoğunluk (g / cm³)	1.14
Erime Sıcaklığı (°C)	221
Renk	Parlak
Nem İçeriği	Maks. 0.06 %

Tablo 3. Polipropilen polimerinin fizikal özellikleri

Temin edilen firma	Petkim
Ticari marka adı	MH418
Eriyik akış indeksi (g/10min)	4-6
Renk B 10 D 65	1.81

Tablo 4. Polietilen terftalat polimerinin fiziksel özelliklerı

Temin edilen firma	Advansa
Yoğunluk (g / cm³)	1.4
Erime sıcaklığı (°C)	255
Elektriksel iletkenliği(ohm.cm)	10 ¹⁴
Dielektrik dayanımı (kV/mm)	60

Tablo 5. Karbon siyahı parçacıklarının fiziksel özelliklerı

Temin edilen firma	Tüpraş
Ticari marka ismi	ISAF N-220
İyot Numarası (mg/g)	119
Dibutylphthalate Abs. (ml/100 g)	114.2
+325 Mesh Eleküstü kalan	0.0016 (% ağırlık)

Tablo 6. Karbon nanotüp parçacıklarının fiziksel özelliklerı

Temin edilen firma	Nanocyl
Ticari marka ismi	Nanocyl 7000
Ortalama çap (nm)	10
Uzunluk (mikron)	0.1-10
Yüzey alanı (m²/g)	250
Karbon miktarı (%)	90

3.2 Deneysel Çalışmalar ve Karakterizasyon

Proje kapsamında yürütülen deneyler sırasında iletken polimer kompozitleri çift vidalı ekstrüder kullanılarak hazırlanmıştır. Karbon siyahı içeren PET ve PP bazlı kompozitler kütlece %1,2,4,6,8 oranında hazırlanırken, Nylon6-karbon siyahı kompozitleri kütlece %1,3,6,10,12 oranlarında, YYPE-karbon siyahı kompozitleri kütlece %3,6,10,15,20 oranlarında hazırlanmıştır. Karbon nanotüp içeren kompozitler kütlece %0.25,0.5,1,2,4 oranlarında üretilmiştir.

Ekstrüzyon sırasında polimer, ana besleyiciden, iletken dolgu maddesi ise yan besleyiciden ekstrüdere verilmiştir. Malzemeler, ekstrüzyon ve kalıplama işlemlerinden önce vakumlu etüvde kurutulmuştur. Elektriksel karakterizasyon için gerekli örnek plakalar, basınçlı kalıplama yöntemi ile hazırlanmıştır. Mekanik testler için gerekli olan numuneler ise enjeksiyonlu kalıplama cihazı kullanılarak elde edilmiştir. Deneysel çalışmalar sırasında uygulanan prosedür Şekil 1'de özetlenmiştir.

Ekstrüzyon, basınçlı kalıplama, enjeksiyonlu kalıplama ve kurutma işlemleri sırasındaki deneysel koşullar Tablo 7-10'de verilmiştir.

Kompozitlerin elektrik iletkenliği iki nokta temas yöntemi ile Keithley 2400 akım kaynağı ve dört nokta temaslı iletkenlik ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Ölçüm yapılan numunelerin temas direncini düşürebilmek için, bakır tel kompozit içeresine basınçlı kalıplama işlemi sırasında konulmuştur.

Mekanik testlerden çekme dayanımı ve bükülme dayanımı testleri Lloyd LR 30 K tipi mekanik test cihazında yapılmıştır. Çekme dayanımı testleri ASTM D638 standardına, darbe dayanımı testleri ise çentiksiz Charpy yöntemine göre ASTM D256 standardına uygun olarak yapılmıştır. Mekanik testlerde, her bir özellik için 5'er adet numune kullanılmıştır ve sonuçlar bu 5'er adet numunenin ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

Çekme dayanımı testinde kullanılan numuneler için çene uzunlukları 25 mm olup, numunelerin boyutlarına uygun olarak 2.5 mm/dak.'lık bir çekme hızı belirlenmiştir. Numuneler için çekme dayanımı, çekme modülü ve kopmadaki uzama değerleri hesaplanmıştır.

Darbe dayanımı testleri için enjeksiyonlu kalıplama ile elde edilen numunelerin ortalama kalınlığı 4 mm'dir. Testler çentiksiz Charpy yöntemi ile, darbe anında maksimum 4 J'lük kuvvet uygulayabilen çekiç kullanılarak yapılmıştır. Numuneler için darbe dayanımı değerleri hesaplanmıştır.

Projede elde dilen kompozitlerin ve karışımının gerekli görülenlerinin termal özellikleri de incelenmiştir. Termal özellikler DSC (differential scanning calorimeter) cihazı kullanılarak incelenmiştir. DSC'de ısıtma oda sıcaklığından 300 °C'ye kadar, sıcaklık dakikada 5 °C artırılacak şekilde ayarlanmıştır. Numunelerin kristalleşme dereceleri aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$X_c = ((\Delta H_m - \Delta H_c) / (\Delta H_m^0 \times w_{poly})) \times 100$$

ΔH_m^0 (J/g) → %100 polimer kristalinin erime enerjisi

ΔH_c (J/g) → Kristallenme Enerjisi

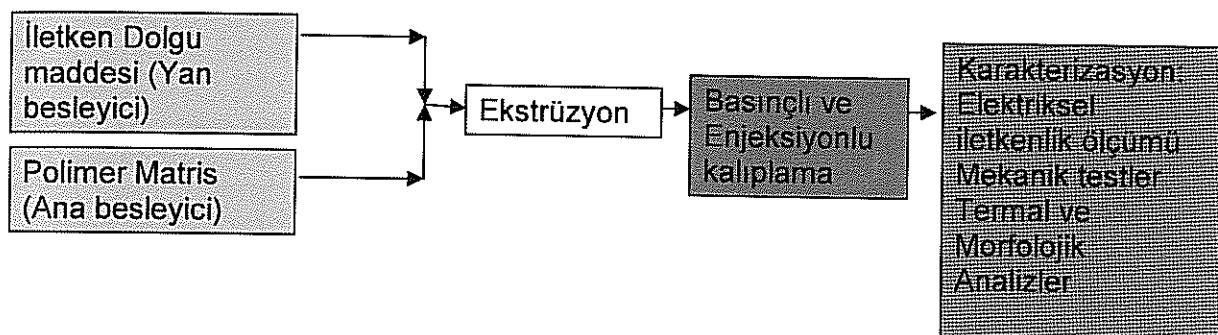
ΔH_m (J/g) → Erime Enerjisi

X_c → Kristallenme Yüzdesi

w_{poly} . → Ağırlıkça Polimer Yüzdesi

Projede kullanılan polimerlerin %100 kristallerinin erime enerjileri Tablo 11'de verilmiştir.

Proje kapsamında gerekli görülen aşamalarda morfolojik özelliklerin belirlenmesi amacıyla, darbe dayanımı testinden sonra kalan numunelerden SEM (Scanning Electron Microscopy, JOEL JSM-6400) ve TEM (Transmission Electron Microscopy, Philips CM 200) analizine göndermek üzere numuneler hazırlanmıştır. SEM numuneleri hazırlanırken kimyasal aşındırma yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde nitrik asit ve triflороasetik asit kütlece 1:1 oranlarında karıştırılarak kompozit yüzeyleri 15 dakika bu karışımında bekletilmiştir. Karışımından çıkarılan numuneler kurutulduktan sonra SEM analizine gönderilmiştir. TEM analizine gönderilen numunelerden -100 °C'de 70 nanometre kalınlığında parçalar kesilerek, bu kısımların morfolojileri incelenmiştir.



Şekil 1. Deneysel çalışmalar sırasında uygulanan prosedür

Tablo 7. Ekstrüder proses parametreleri

Polimer Matris	Ekstrüder sıcaklık profili (°C)					Vida hızı(rpm)
YYPE	160	170	175	180	185	80
PP	170	190	195	200	210	80
NAYLON 6	220	230	235	240	245	80
PET	230	255	260	265	270	80

Tablo 8. Basıncılı kalıplama proses parametreleri

Polimer Matriks	Ön ısıtma Sıcaklığı ve Basıncı	Kalıplama Sıcaklığı ve Basıncı
YYPE	180 °C 50 bar (1.5 dakika)	180 °C 150 bar (1 dakika)
PP	210 °C 50 bar (1.5 dakika)	210 °C 150 bar (1 dakika)
NAYLON 6	240 °C 50 bar (1.5 dakika)	240 °C 150 bar (1 dakika)
PET	285 °C 50 bar (1.5 dakika)	285 °C 150 bar (1 dakika)

Tablo 9. Enjeksiyonlu kalıplama proses parametreleri

Polimer Matriks	Kalıp sıcaklığı (°C)	Kalıplama Sıcaklığı ve Basıncı
YYPE	25	180 °C 8 bar
PP	30	210 °C 8 bar
NAYLON 6	35	240 °C 8 bar
PET	35	285 °C 8 bar

Tablo 10. Vakumlu etüv kurutma koşulları

Polimer Matriks	Fırın sıcaklığı (°C)	Kurutma süresi (saat)
YYPE	60	4
PP	60	4
NAYLON 6	90	24
PET	90	24

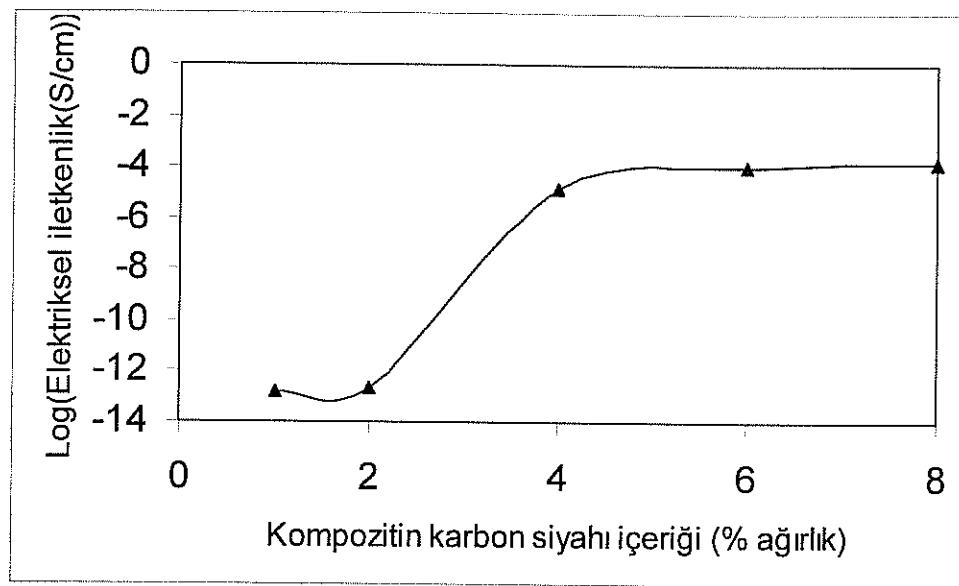
Tablo 11. Projede kullanılan polimerlerin ΔH_m° değerleri

Polimer Matriks	ΔH_m° (J/g)
PET	138
PP	190
Naylon6	287
YYPE	207

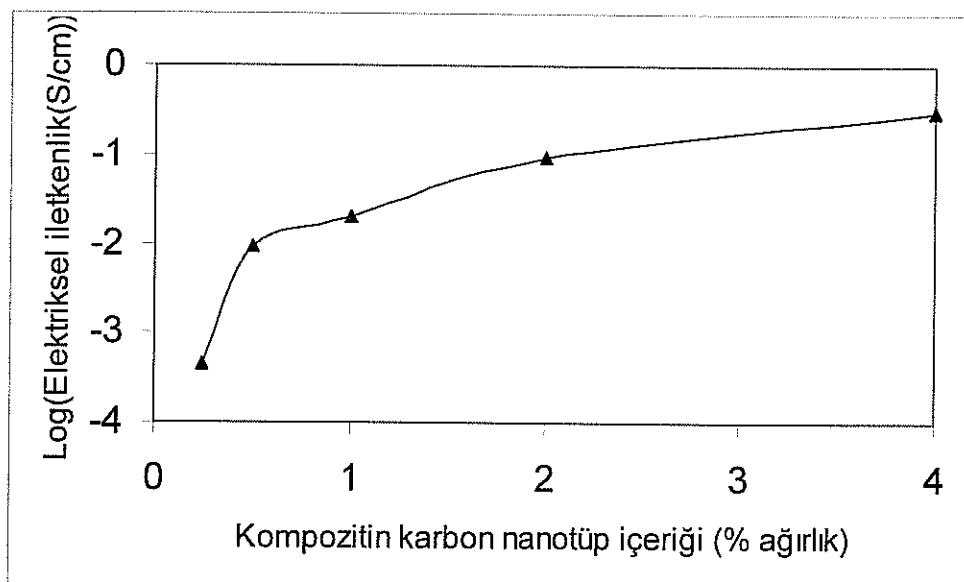
4. SONUÇLAR

4.1 Elektriksel İletkenlik Testleri Sonuçları:

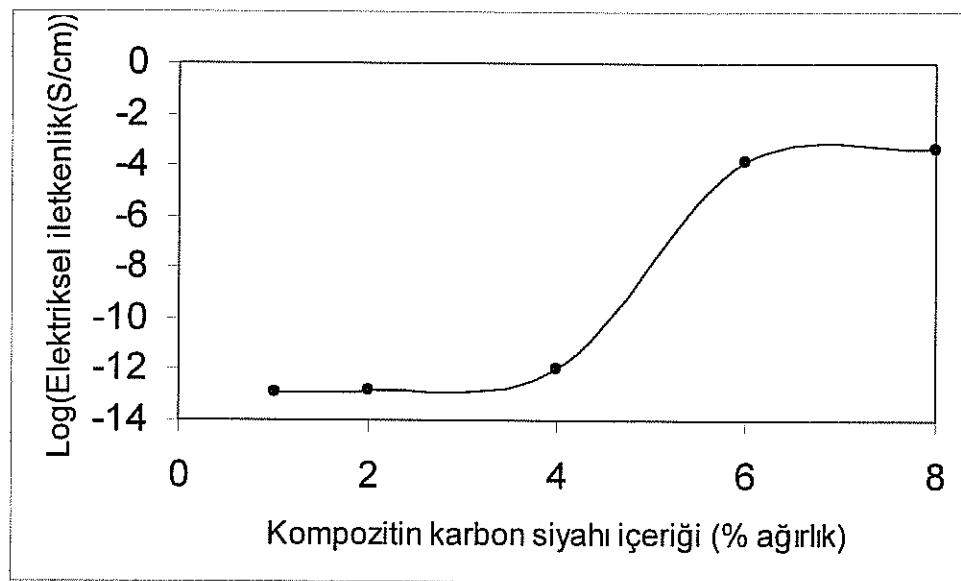
Proje kapsamında hazırlanan polimer kompozitlerinin elektriksel iletkenliklerinin dolgu maddesi çeşidi ve miktarına, ayrıca polimer matriks çeşidine bağlı olarak değişimleri aşağıdaki grafiklerde özetlenmiştir.



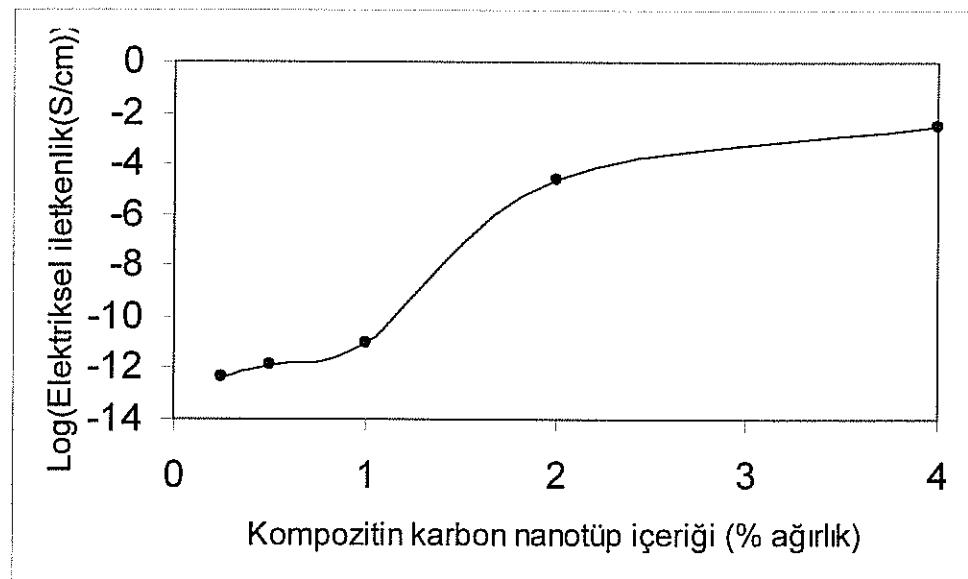
Şekil 2. PET bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı elektrik akım direnci değişimi



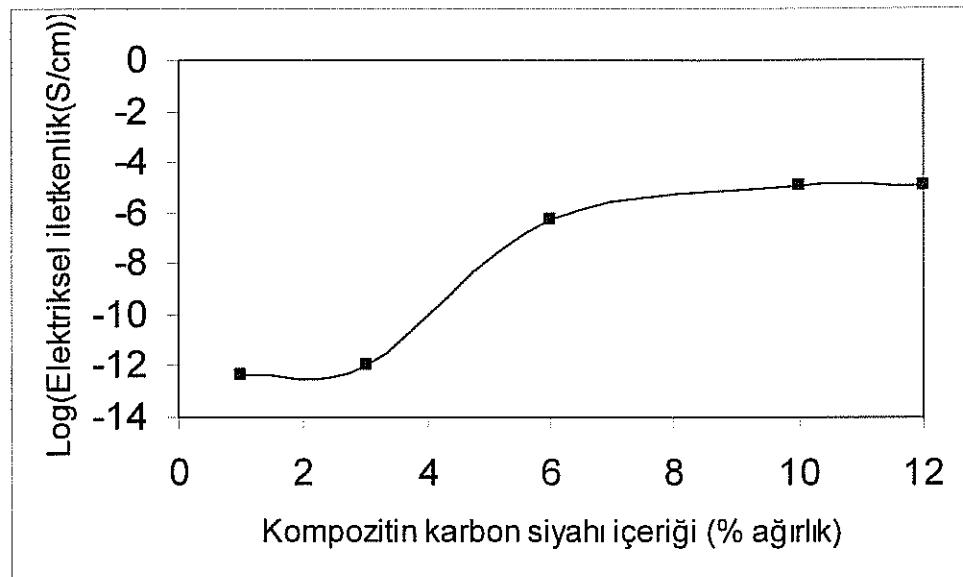
Şekil 3. PET bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı elektrik akım direnci değişimi



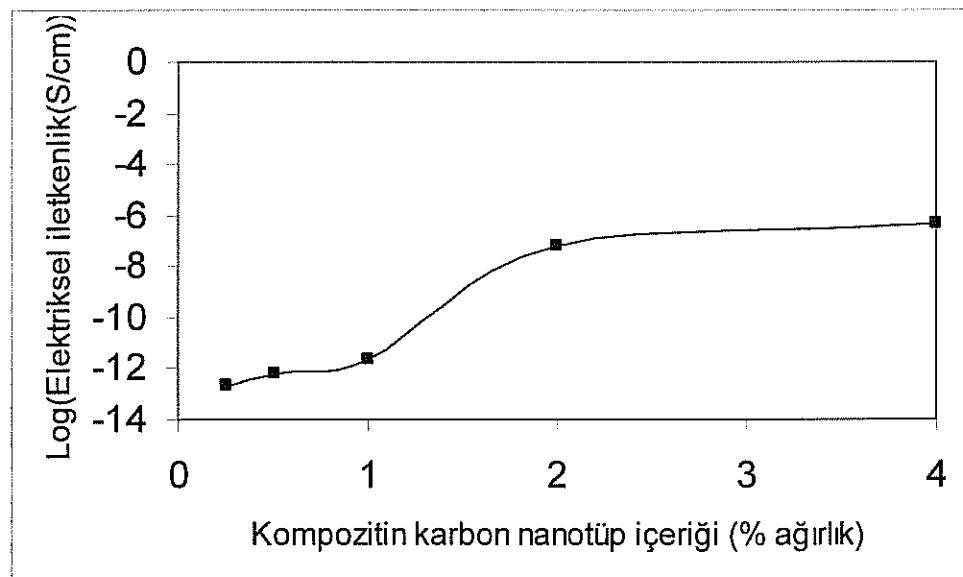
Şekil 4. PP bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı elektrik akım direnci değişimi



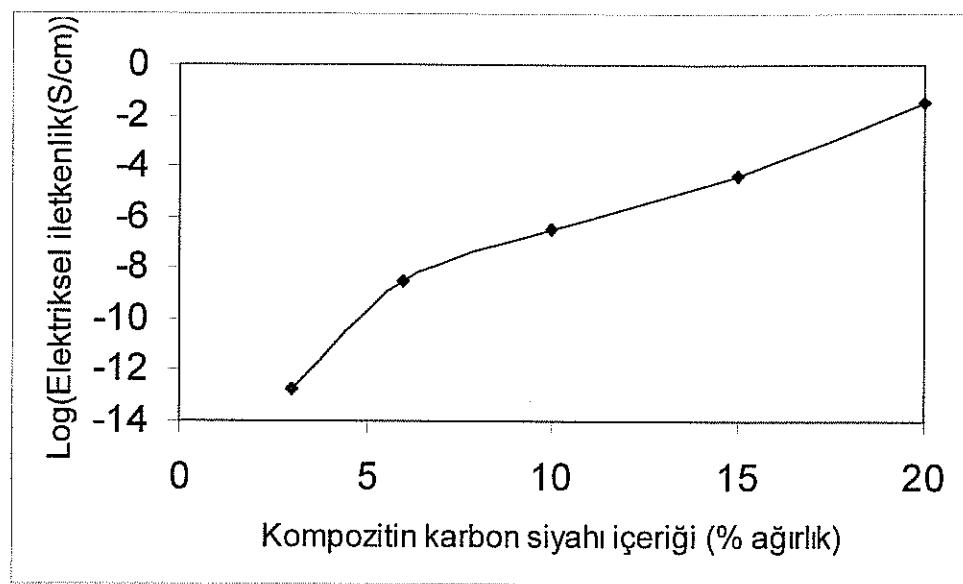
Şekil 5. PP bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı elektrik akım direnci değişimi



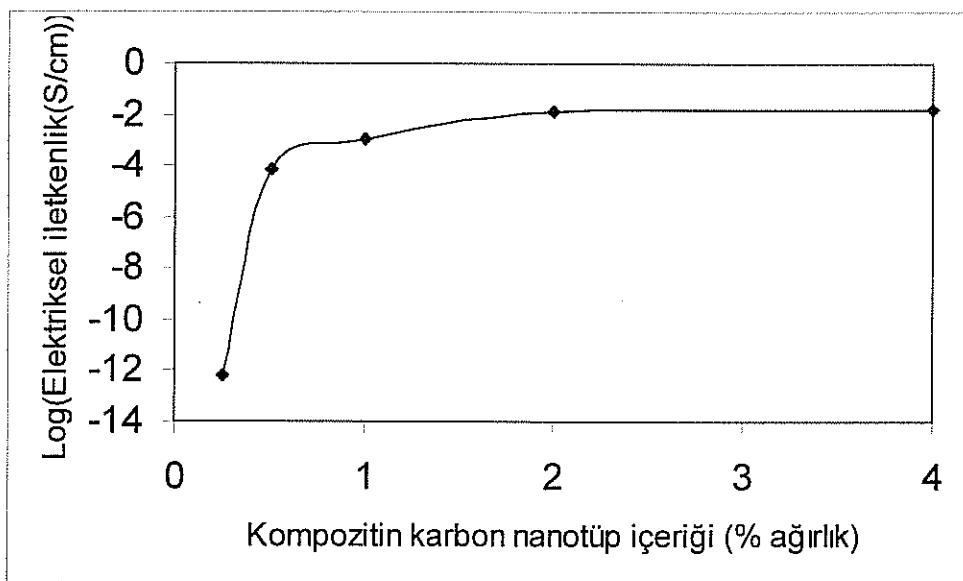
Şekil 6. Nylon6 bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı elektrik akım direnci değişimi



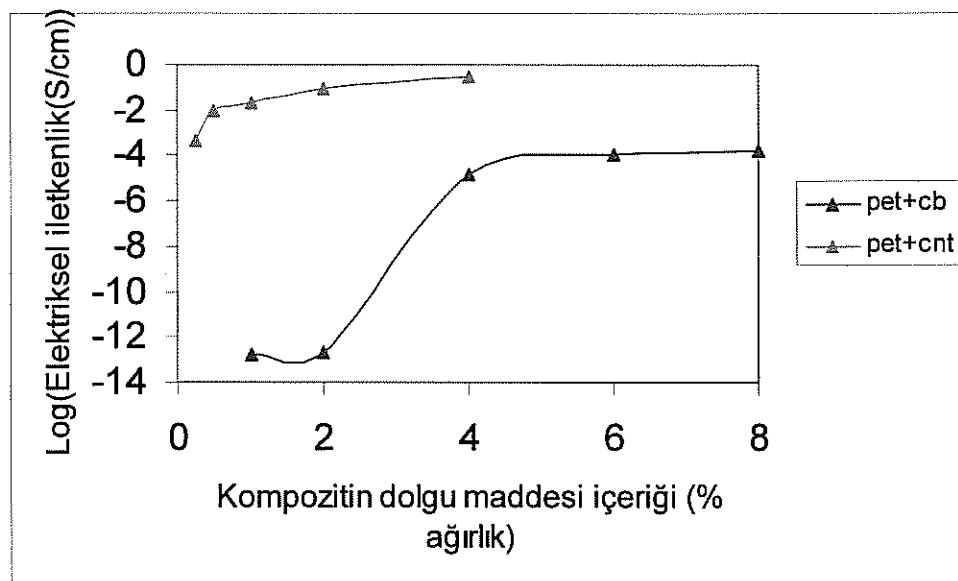
Şekil 7. Nylon6 bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı elektrik akım direnci değişimi



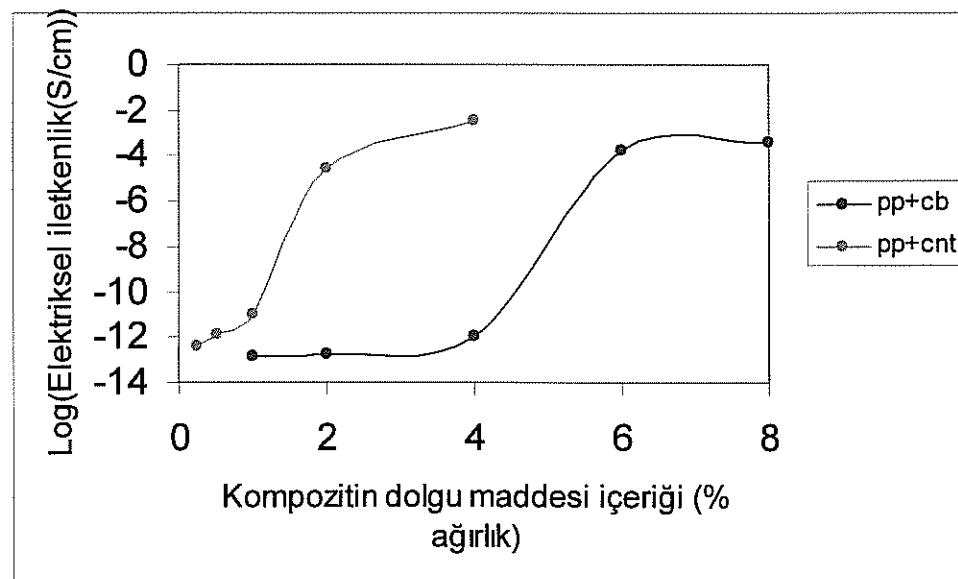
Şekil 8. YYPE bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı elektrik akım direnci değişimi



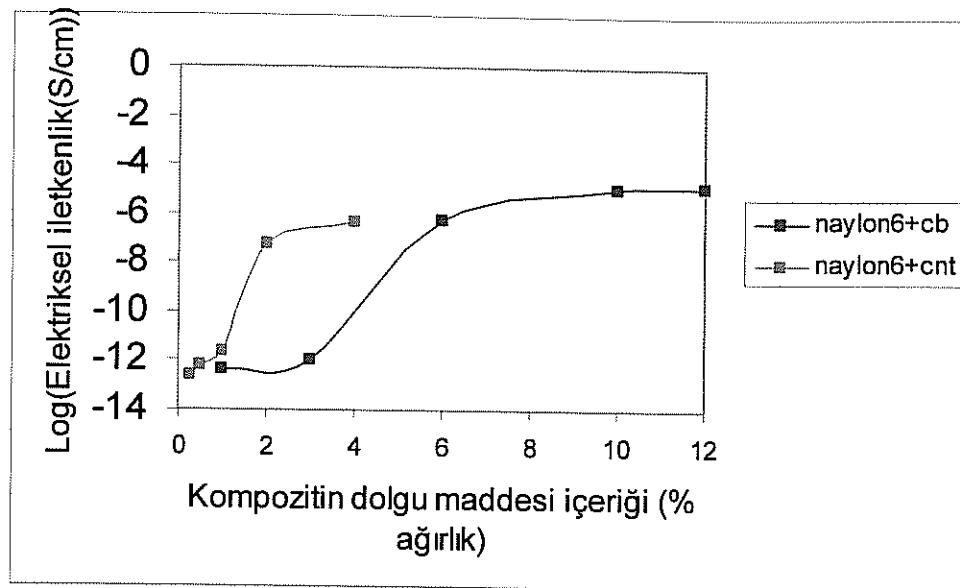
Şekil 9. YYPE bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı elektrik akım direnci değişimi



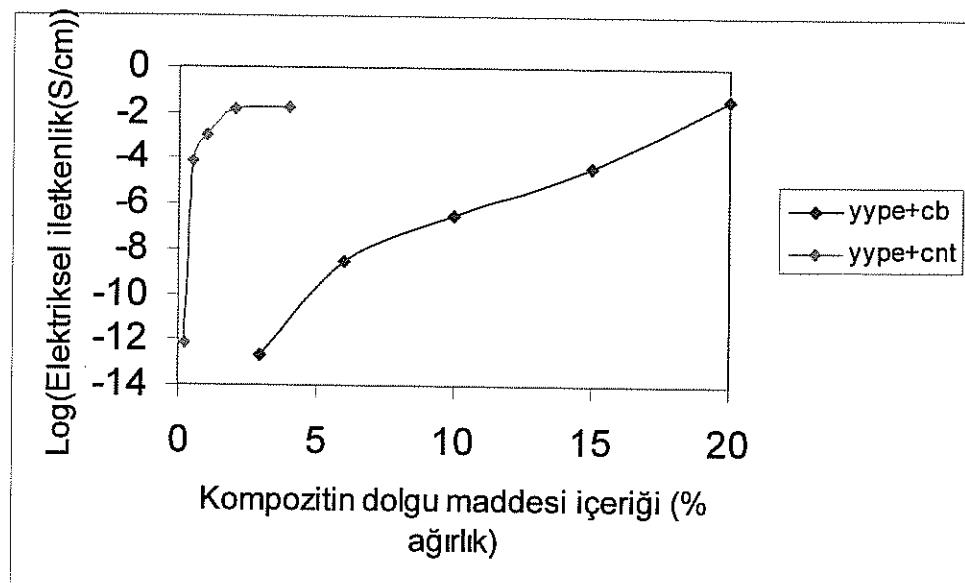
Şekil10. PET bazlı polimer kompozitlerinin dolgu maddesi içeriğine bağlı elektrik akım direnci değişimi



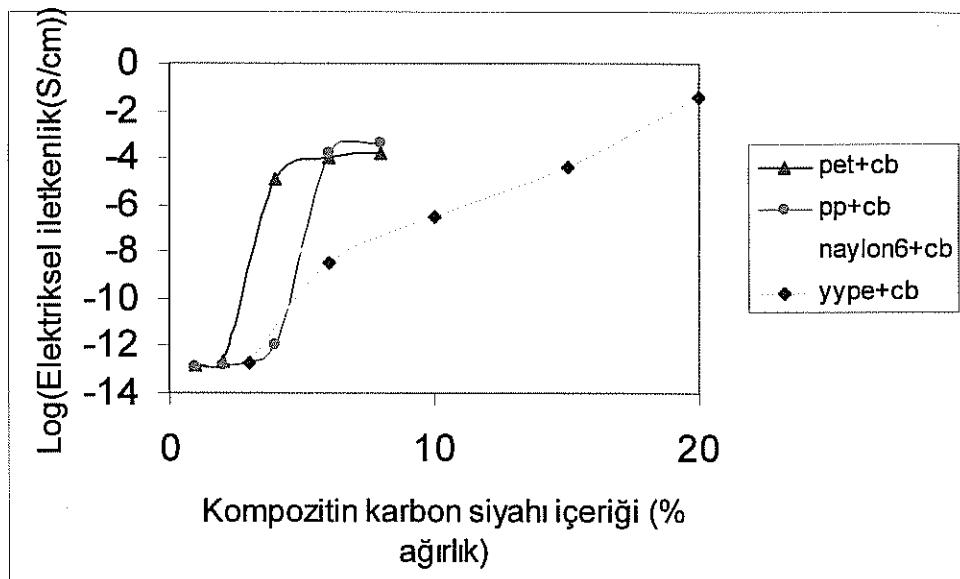
Şekil11. PP bazlı polimer kompozitlerinin dolgu maddesi içeriğine bağlı elektrik akım direnci değişimi



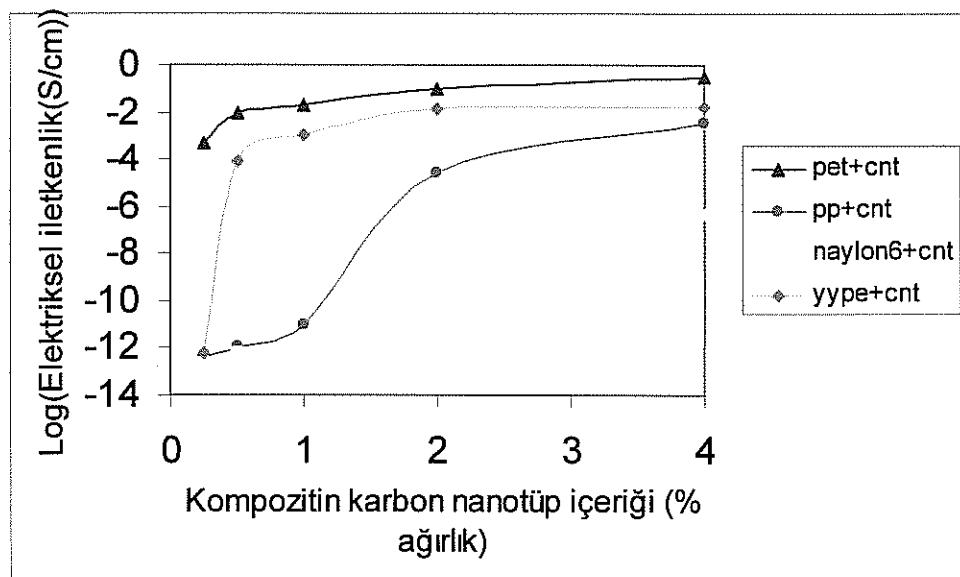
Şekil12. Nylon6 bazlı polimer kompozitlerinin dolgu maddesi içeriğine bağlı elektrik akım direnci değişimi



Şekil13. YYPE bazlı polimer kompozitlerinin dolgu maddesi içeriğine bağlı elektrik akım direnci değişimi



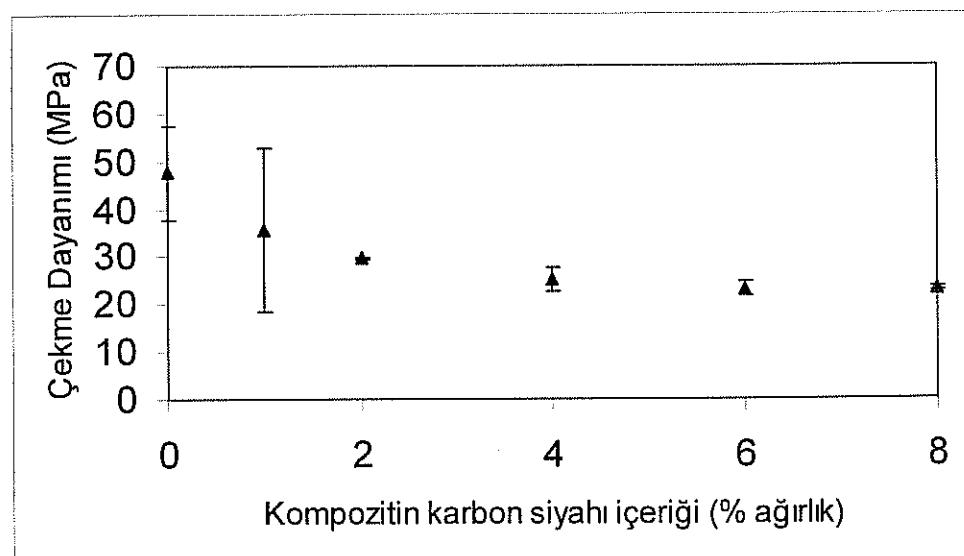
Şekil14. Nylon 6, YYPE, Polipropilen ve PET bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı elektrik akım direncideğişimleri



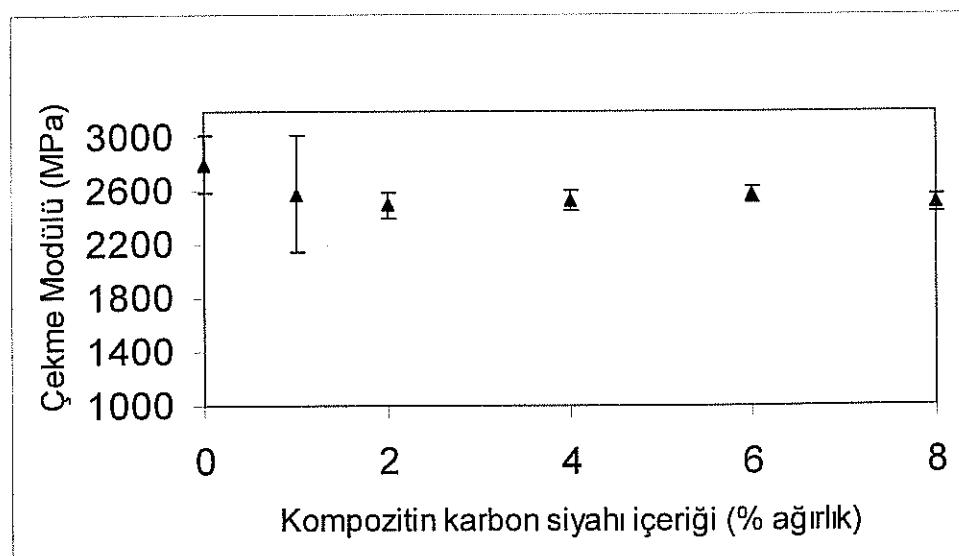
Şekil15. Nylon 6, YYPE, Polipropilen ve PET bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı elektrik akım direnci değişimleri

4.2 Çekme Testleri Sonuçları:

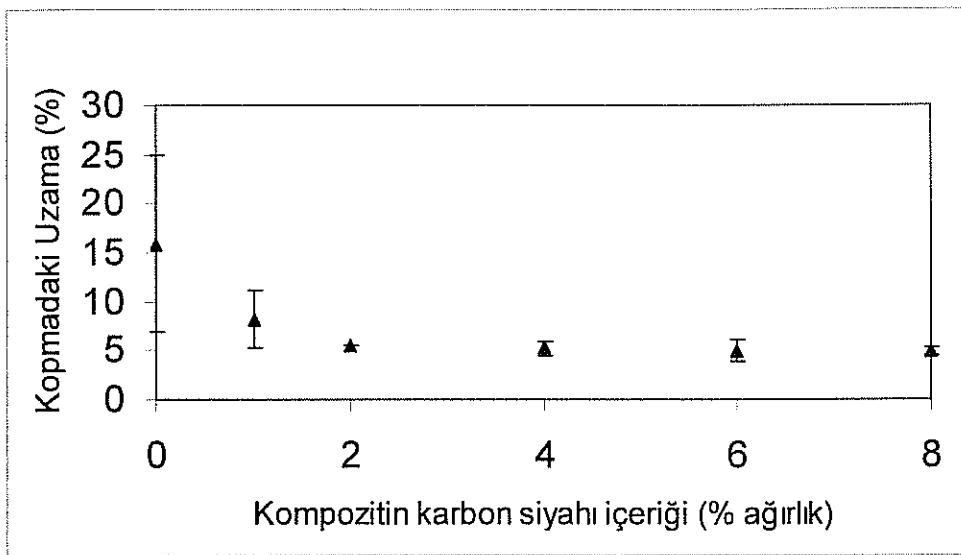
Proje kapsamında hazırlanan karbon siyahı ve karbon nanotüp katkılı kompozitlere uygulanan çekme testi sonuçları aşağıdaki grafiklerde verilmiştir. Sonuçlar her kompozit sistemi için çekme dayanımı, çekme modülü ve kopmadaki uzama olmak üzere üç ayrı grafikte özetlenmiştir.



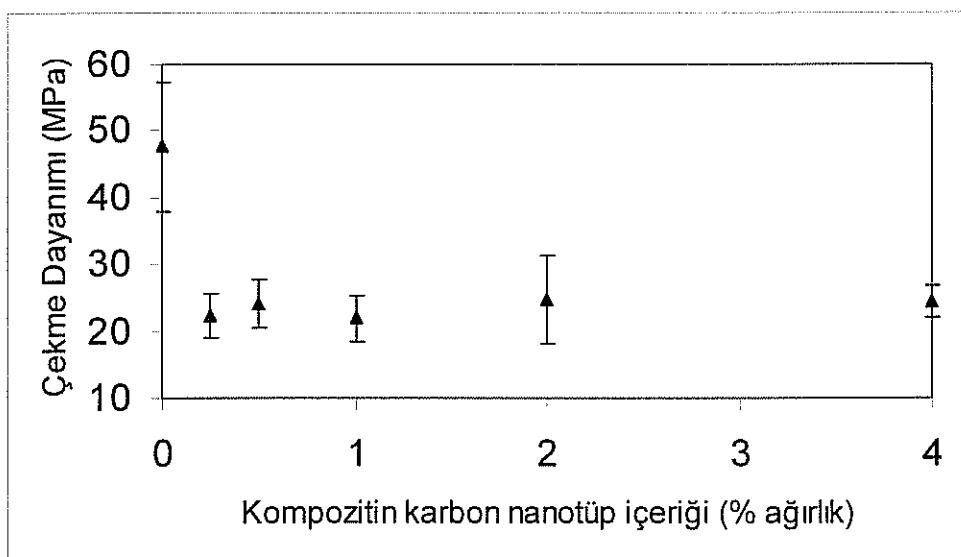
Şekil 16. PET bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı çekme dayanımı değişimi



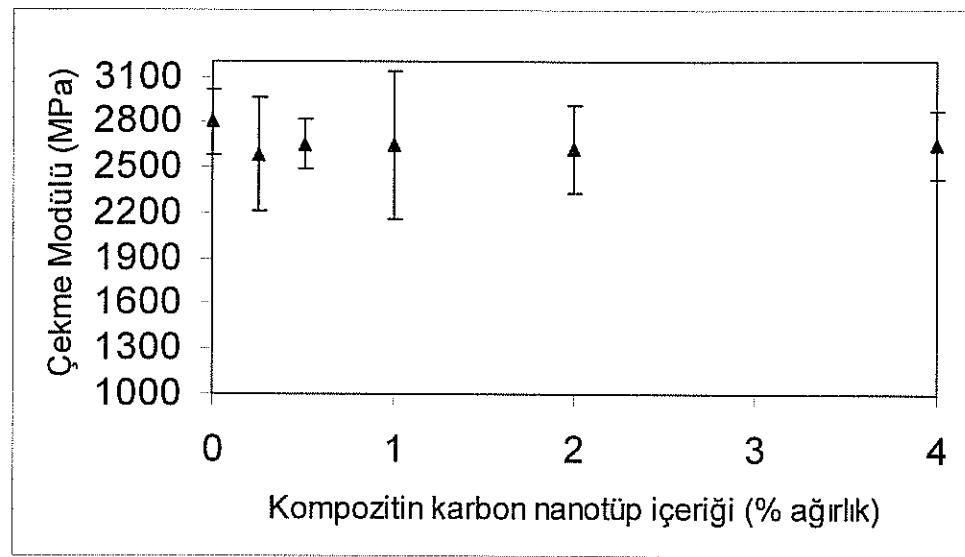
Şekil 17. PET bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı çekme modülü değişimi



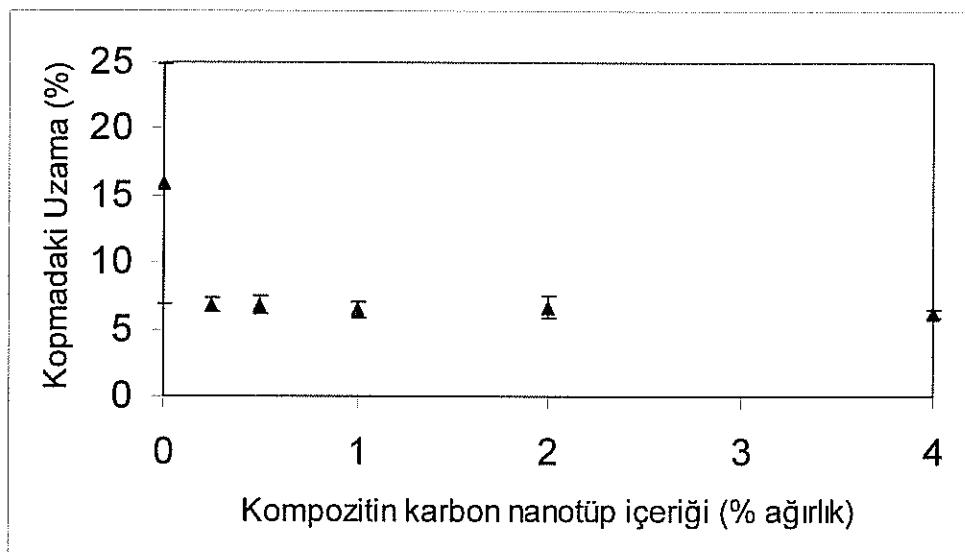
Şekil 18. PET bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı kopmadaki uzama değişimi



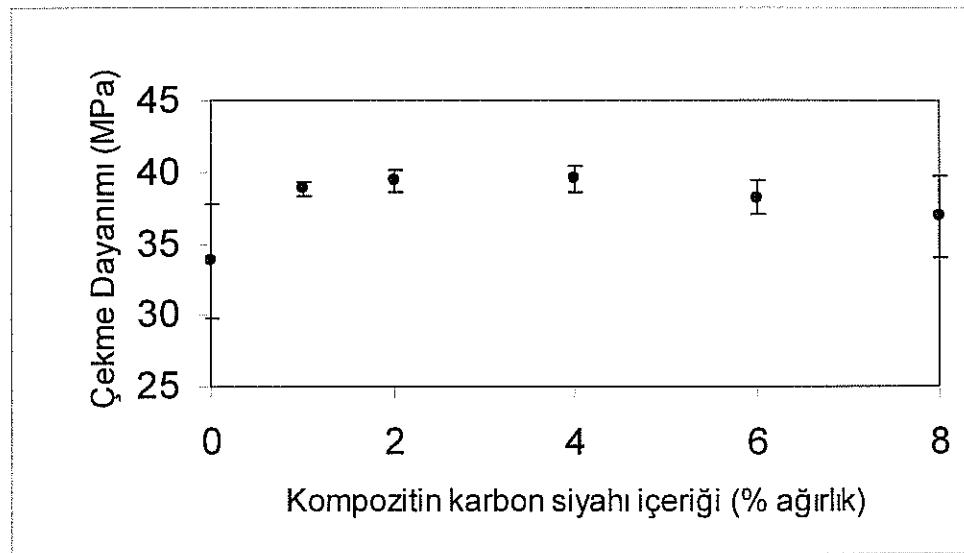
Şekil 19. PET bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı çekme dayanımı değişimi



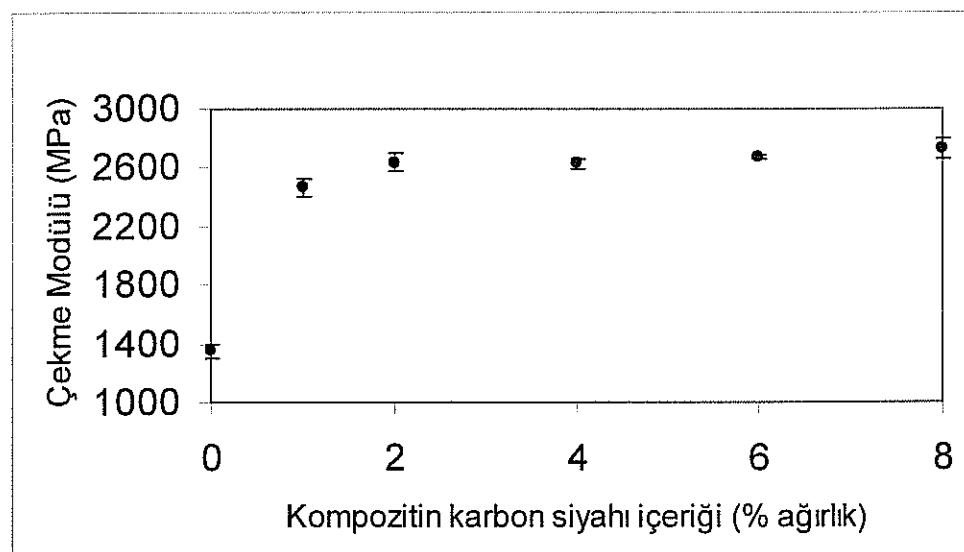
Şekil 20. PET bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı çekme modülü değişimi



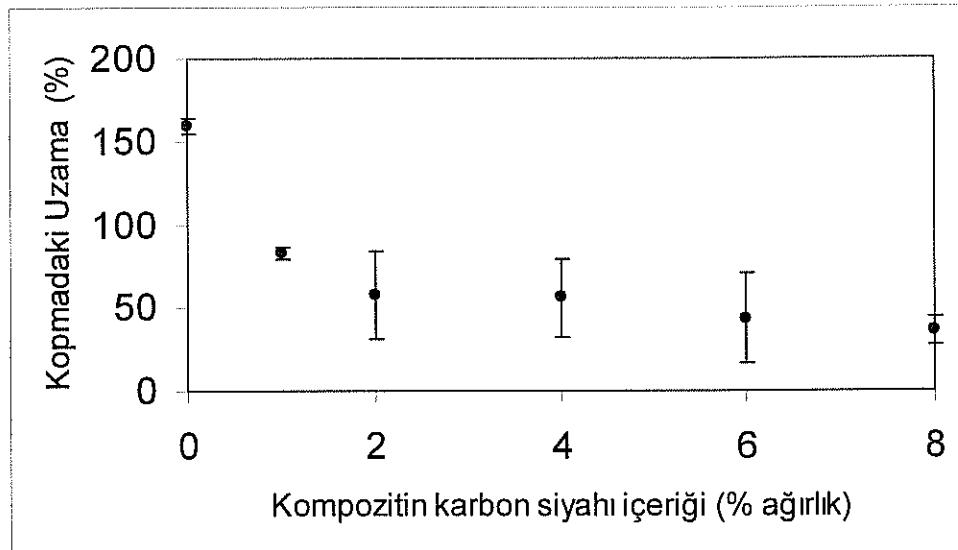
Şekil 21. PET bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı kopmadaki uzama değişimi



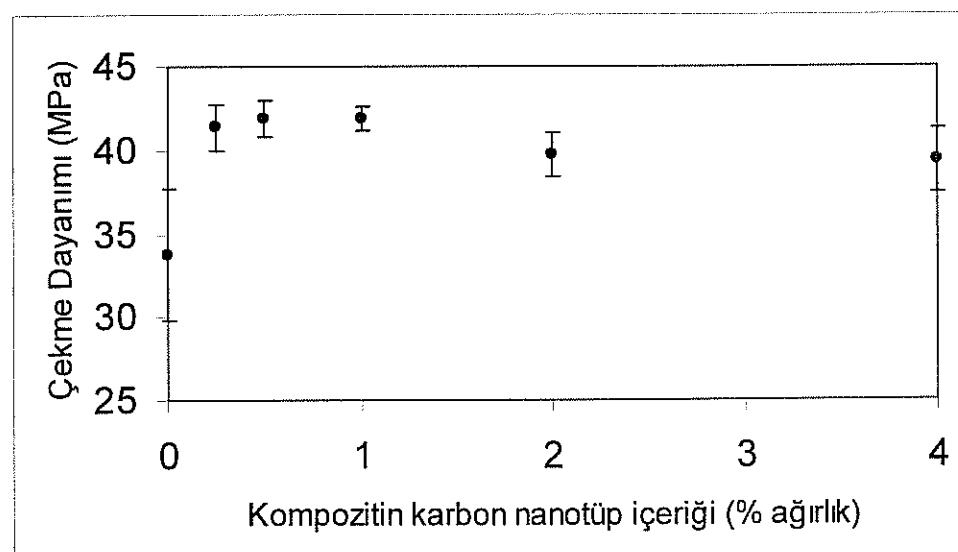
Şekil 22. PP bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı çekme dayanımı değişimi



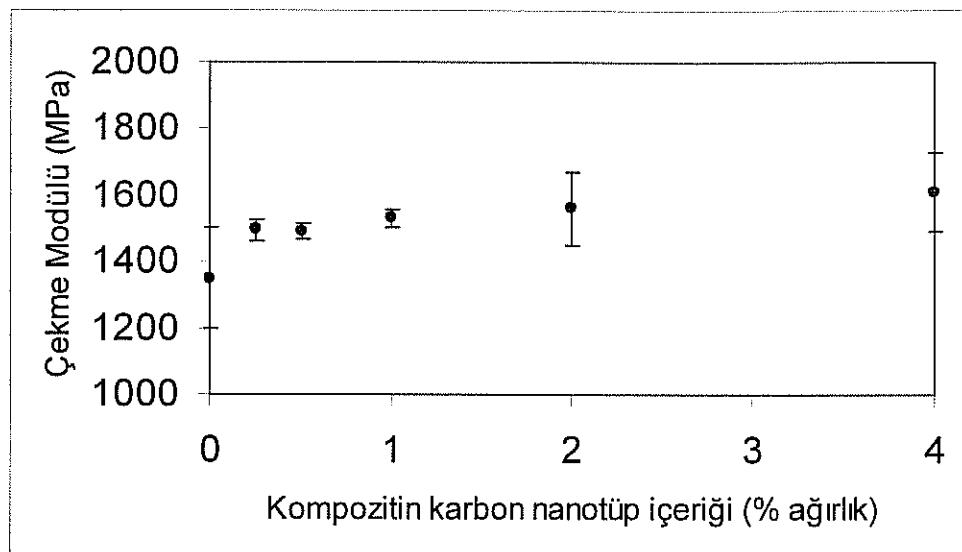
Şekil 23. PP bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı çekme modülü değişimi



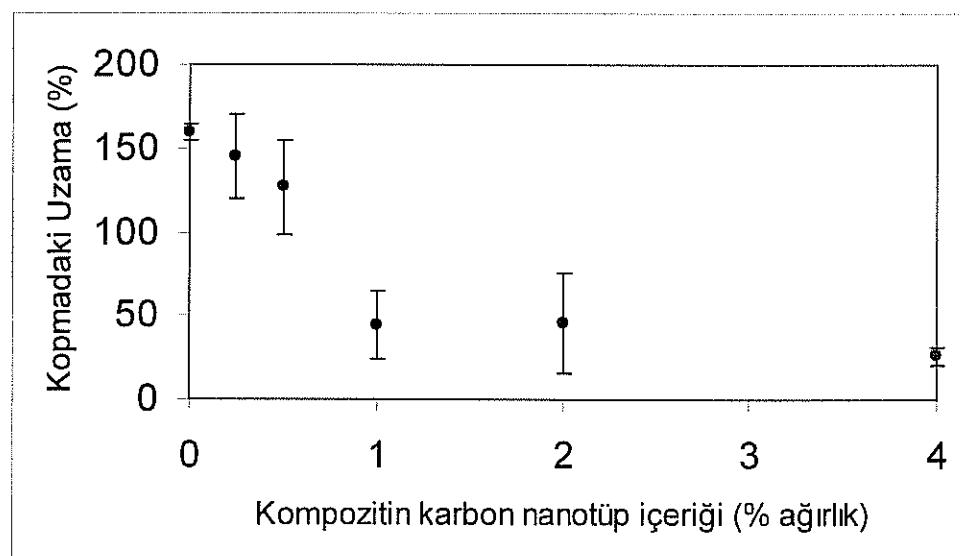
Şekil 24. PP bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı kopmadaki uzama değişimi



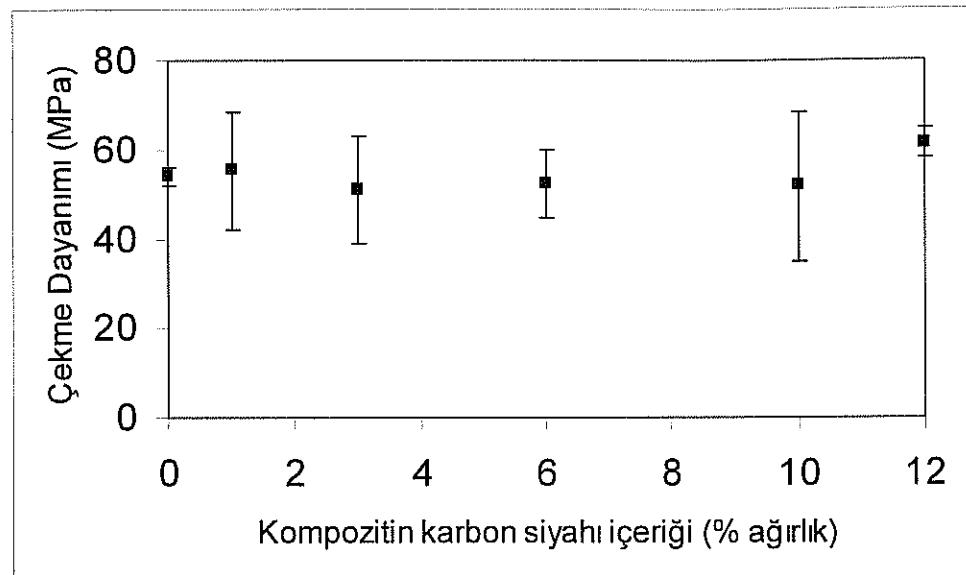
Şekil 25. PP bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı çekme dayanımı değişimi



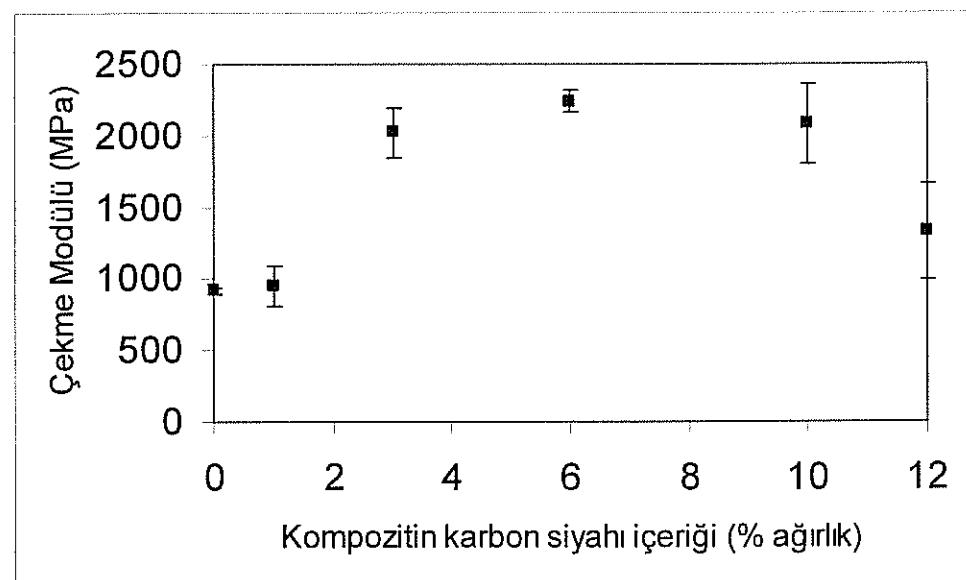
Şekil 26. PP bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı çekme modülü değişimi



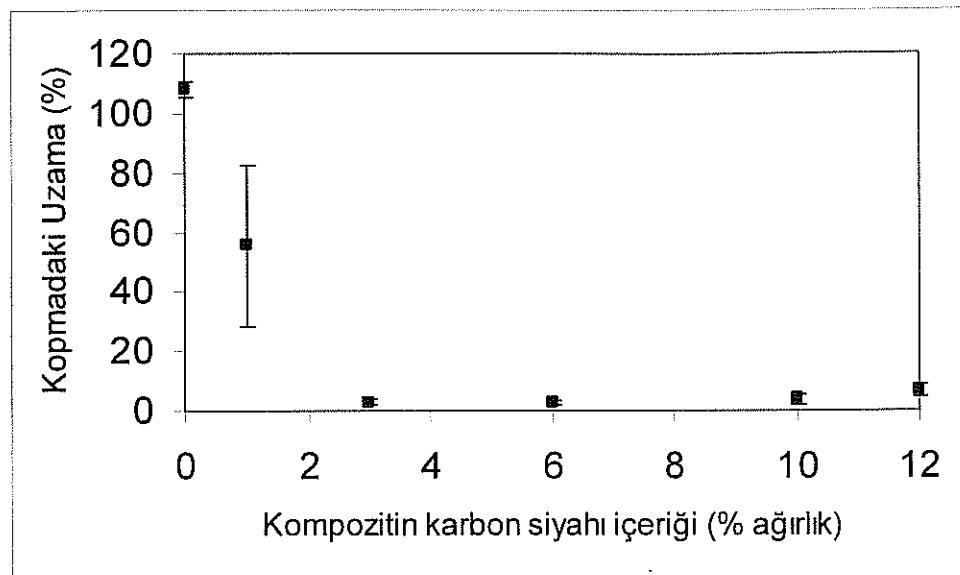
Şekil 27. PP bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı kopmadaki uzama değişimi



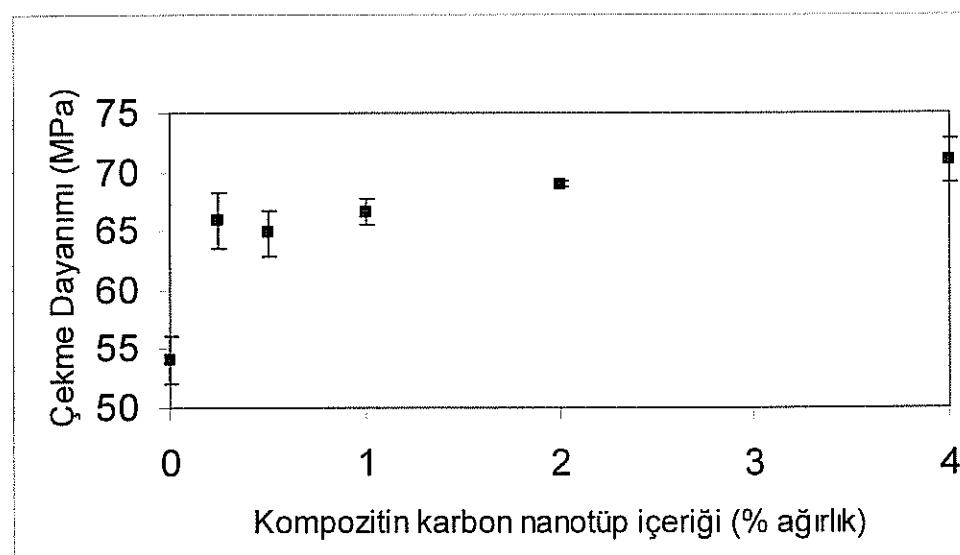
Şekil 28. Nylon6 bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı çekme dayanımı değişimi



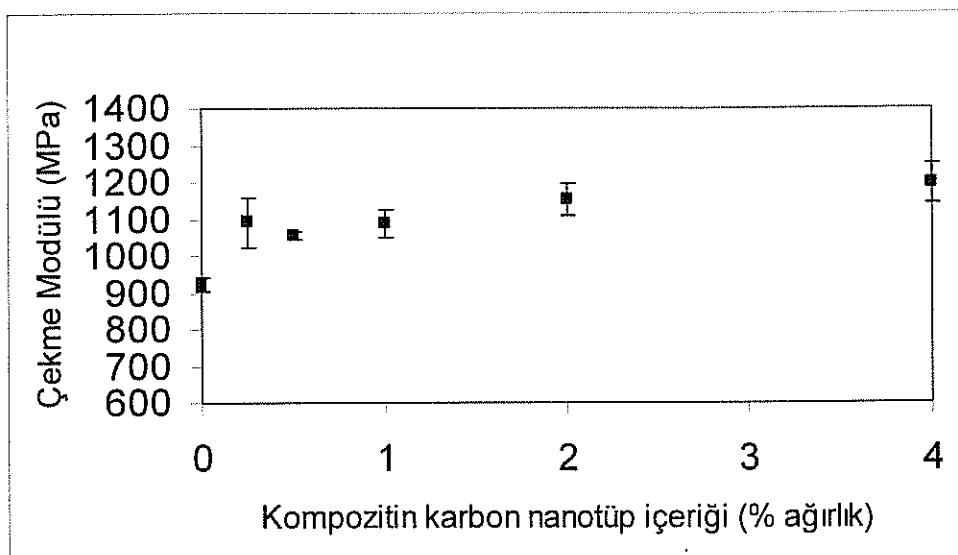
Şekil 29. Nylon6 bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı çekme modülü değişimi



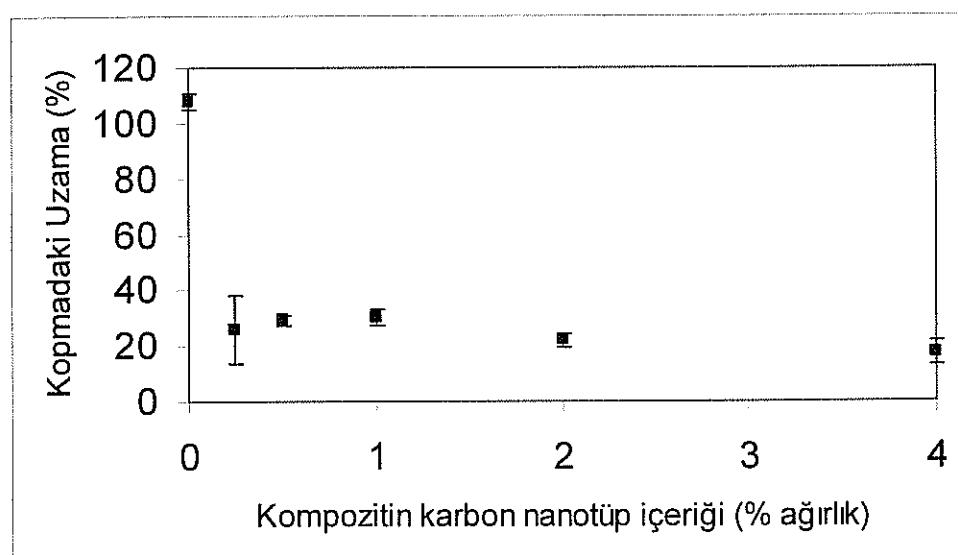
Şekil 30. Nylon6 bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı kopmadaki uzama değişimi



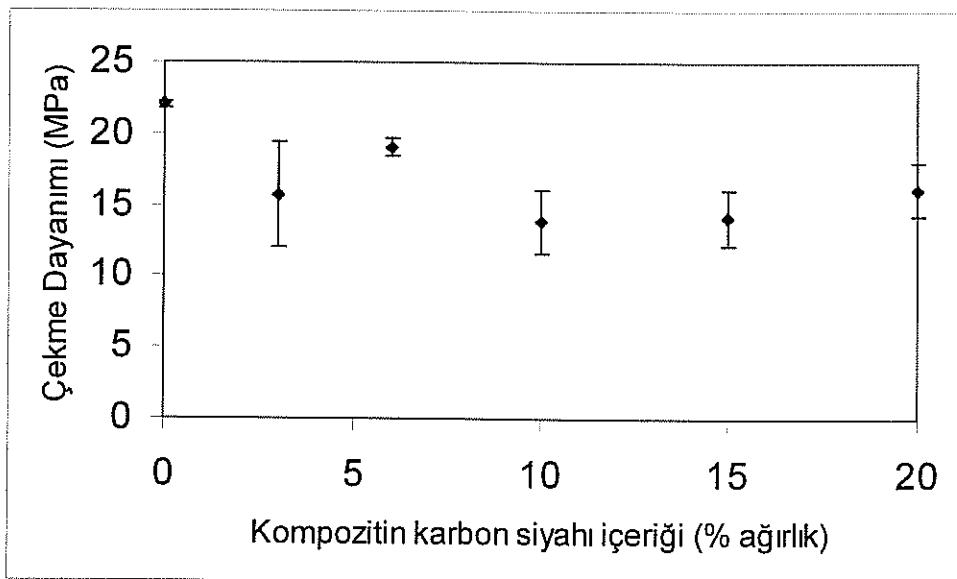
Şekil 31. Nylon6 bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı çekme dayanımı değişimi



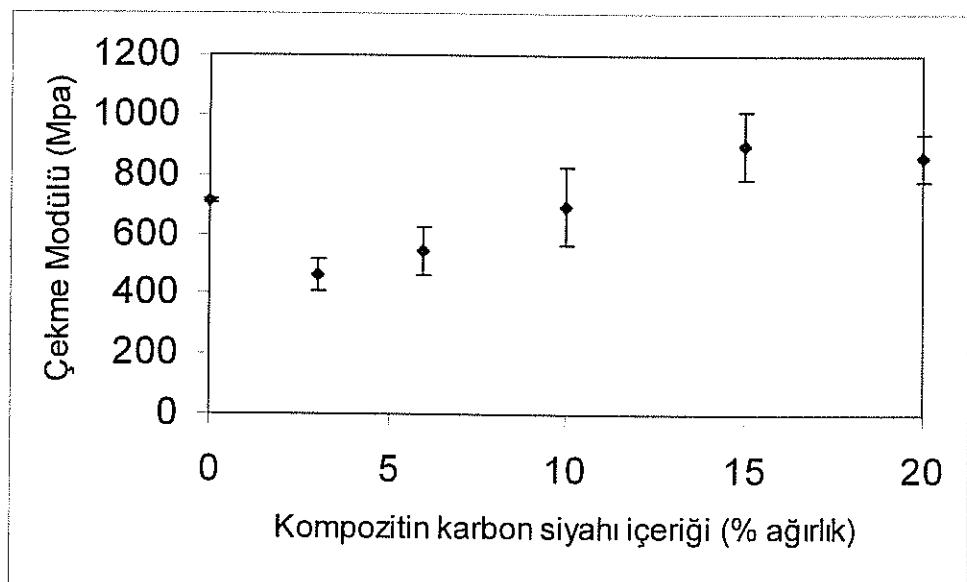
Şekil 32. Nylon6 bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı çekme modülü değişimi



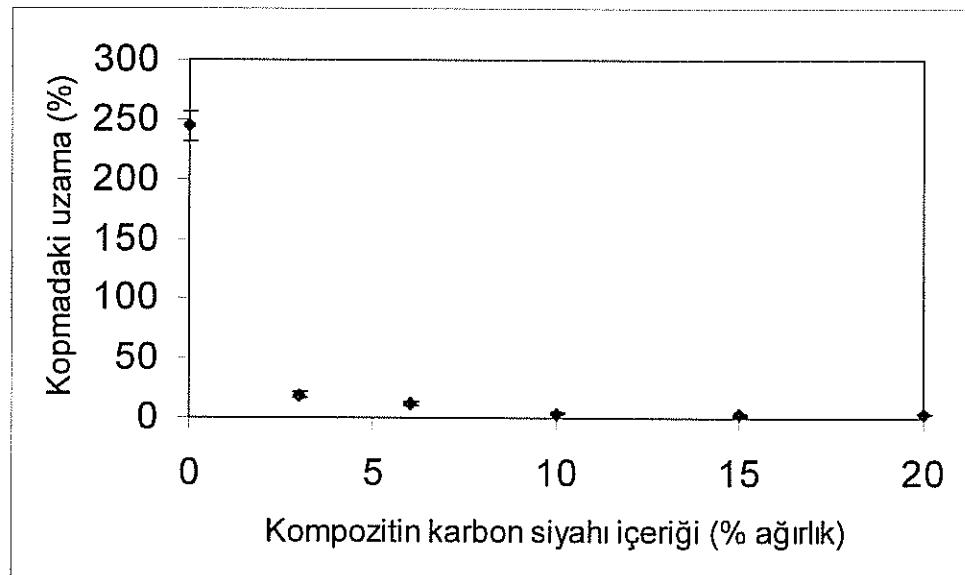
Şekil 33. Nylon6 bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı kopmadaki uzama değişimi



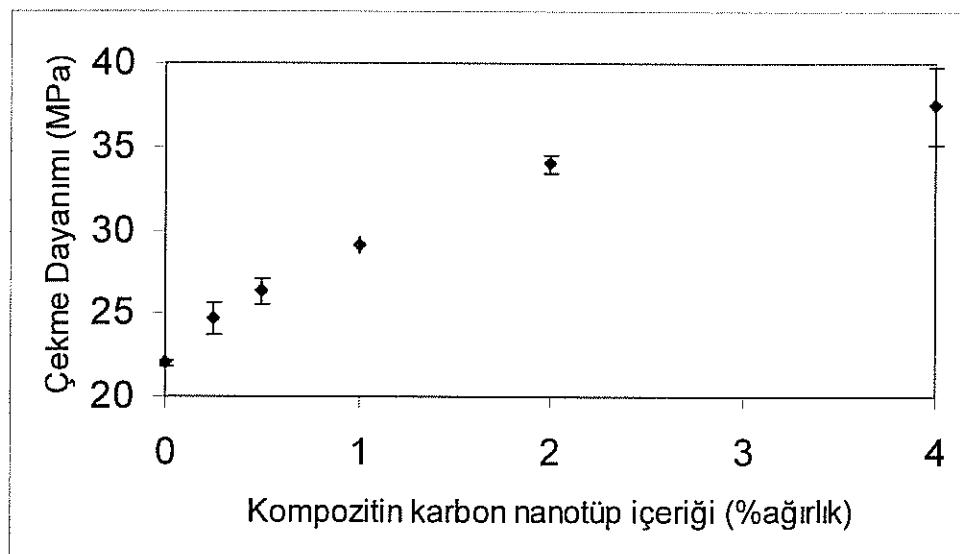
Şekil 34. YYPE bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı çekme dayanımı değişimi



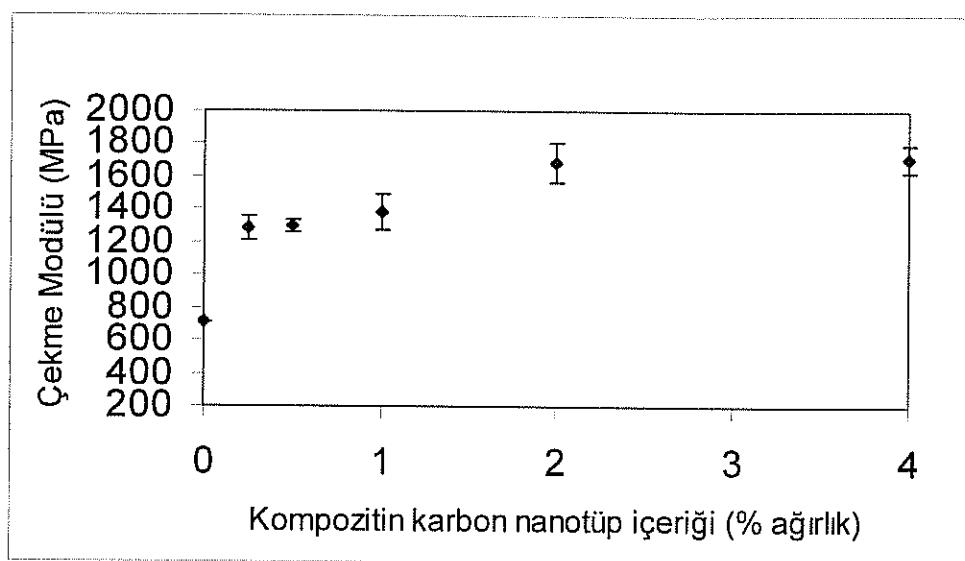
Şekil 35. YYPE bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı çekme modülü değişimi



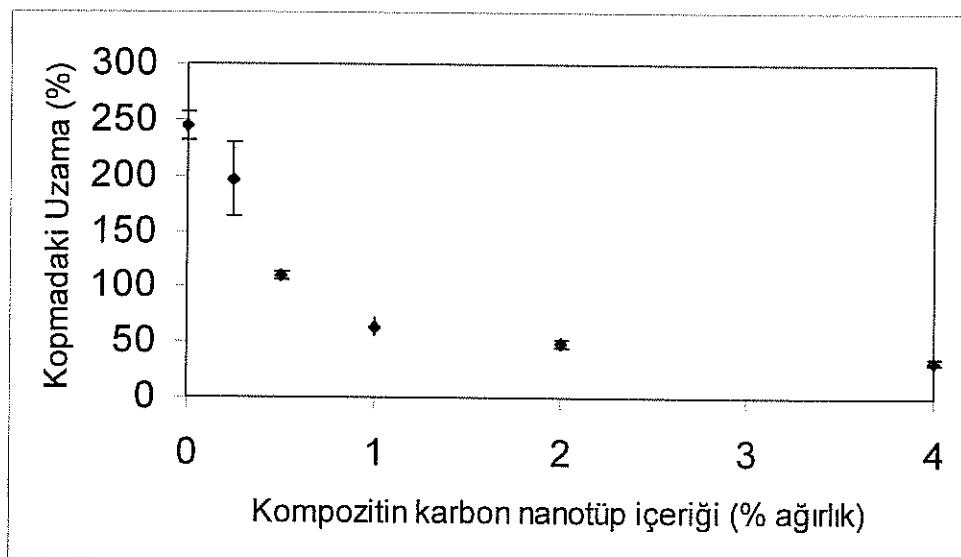
Şekil 36. YYPE bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı kopmadaki uzama değişimi



Şekil 37. YYPE bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı çekme dayanımı değişimi



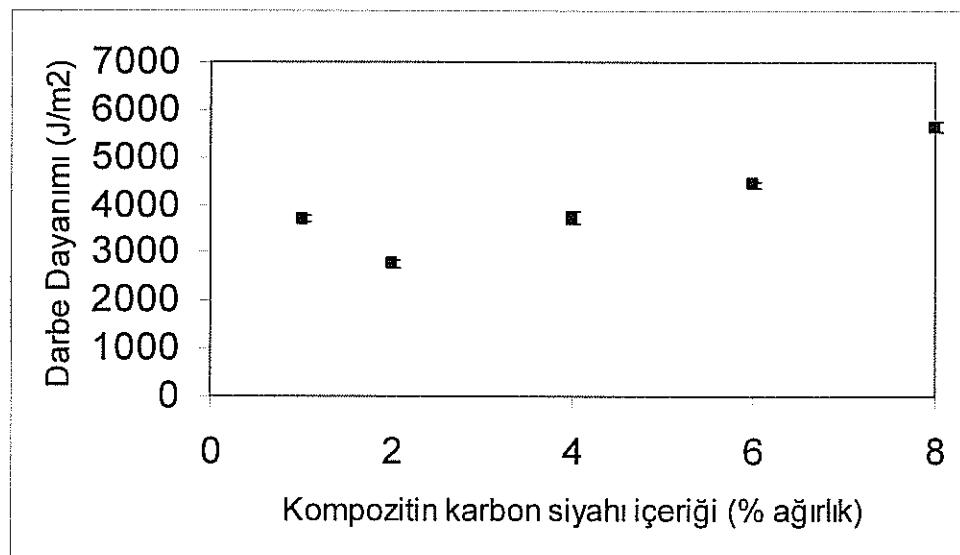
Şekil 38. YYPE bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı çekme modülü değişimi



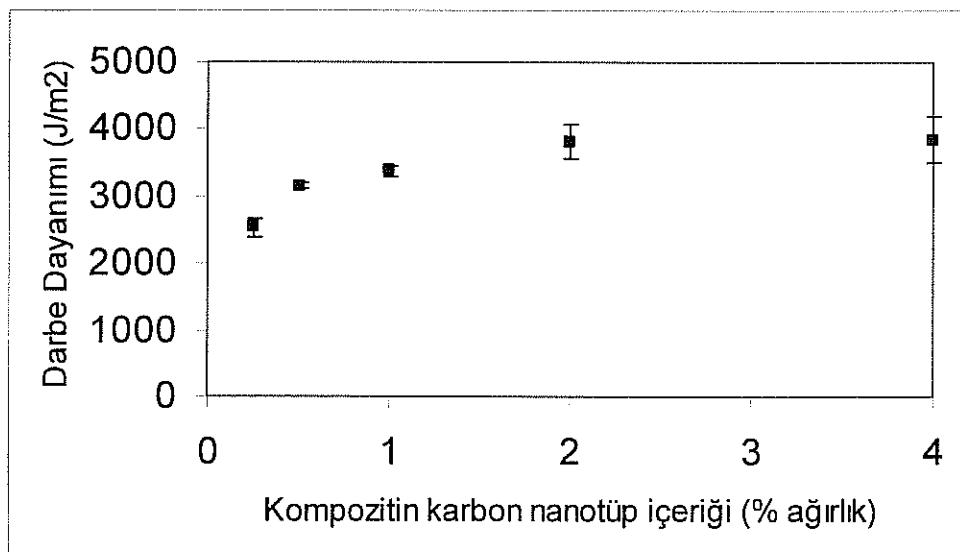
Şekil 39. YYPE bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı kopmadaki uzama değişimi

4.3 Darbe Dayanımı Testleri Sonuçları:

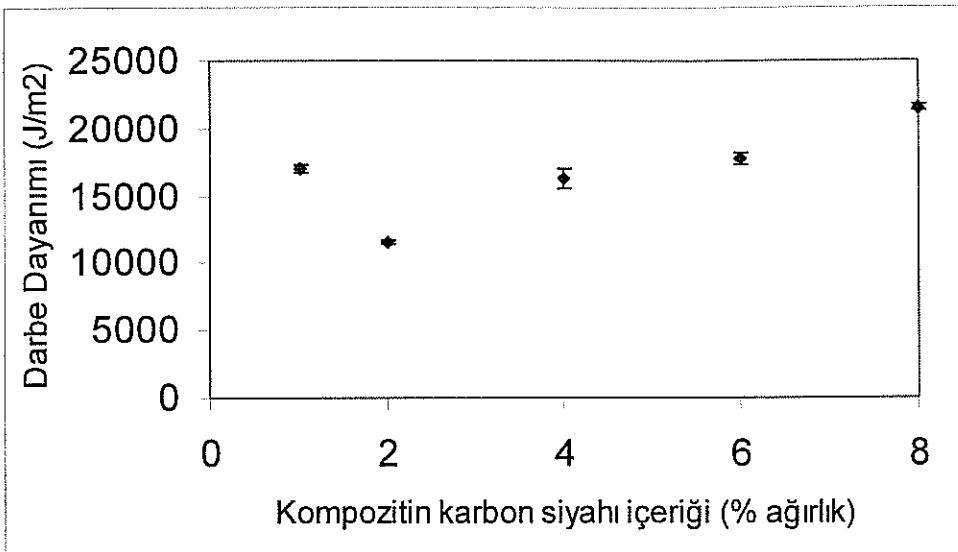
Proje deneylerinde hazırlanan iletken dolgu maddesi katkılı kompozitlere uygulanan darbe dayanımı testleri sonuçları aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.



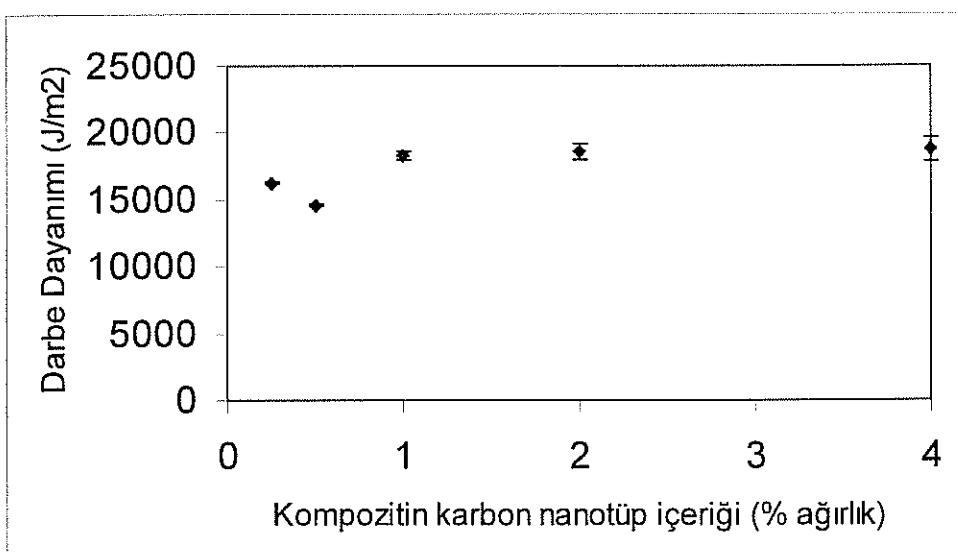
Şekil 40. PET bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı darbe dayanımı değişimi



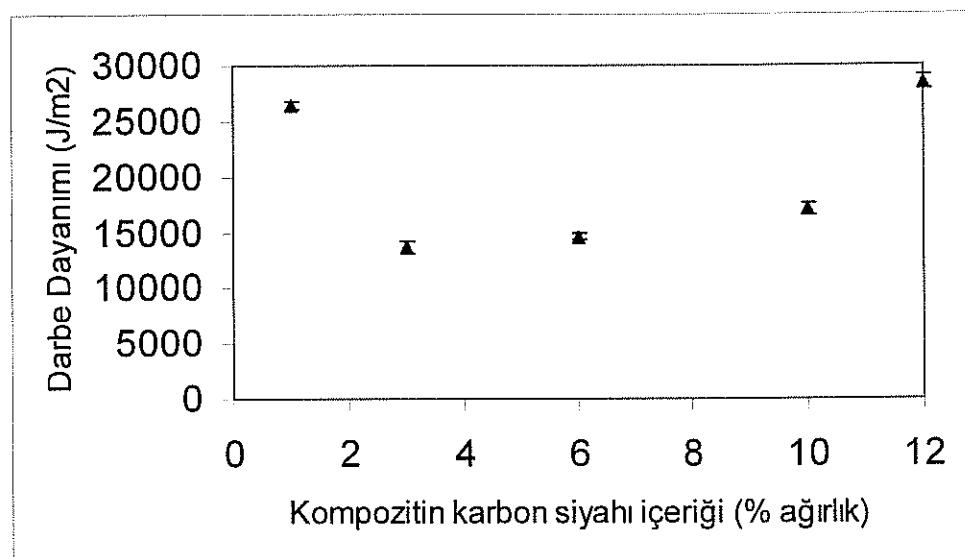
Şekil 41. PET bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı darbe dayanımı değişimi



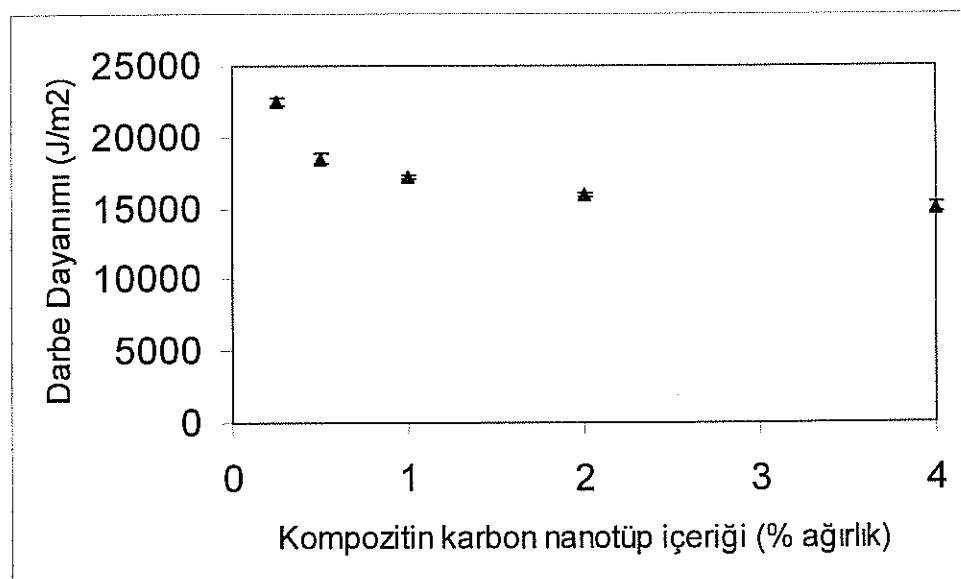
Şekil 42. PP bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı darbe dayanımı değişimi



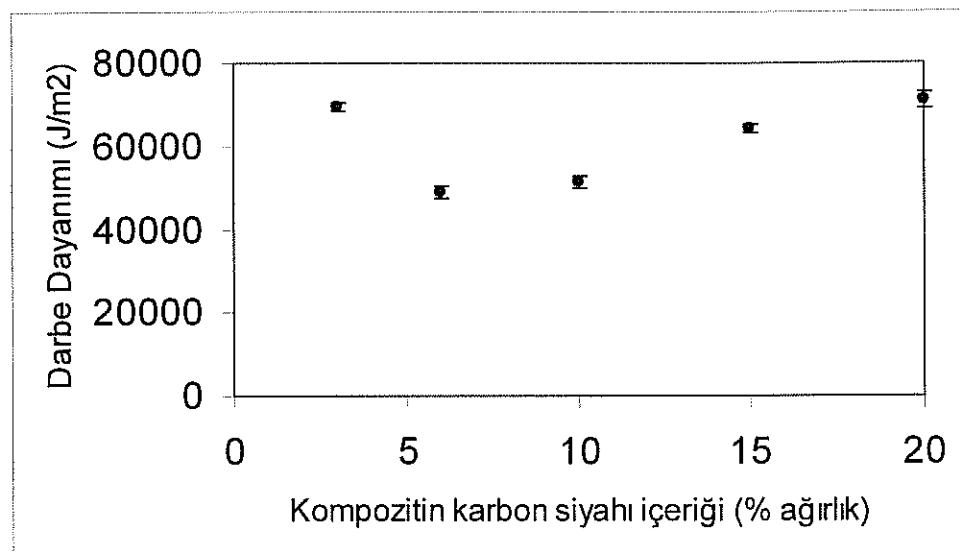
Şekil 43. PP bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı darbe dayanımı değişimi



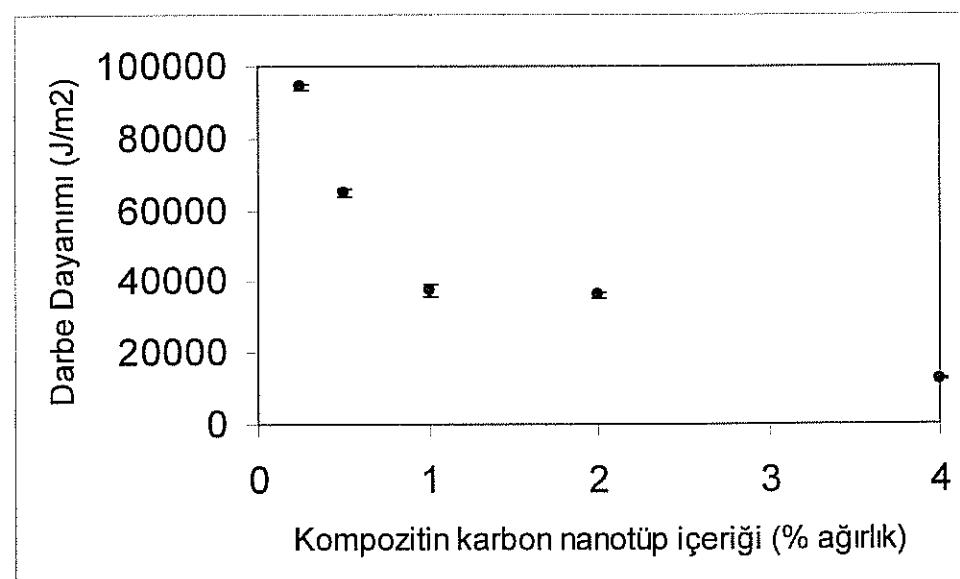
Şekil 44. Nylon6 bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı darbe dayanımı değişimi



Şekil 45. Nylon6 bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı darbe dayanımı değişimi



Şekil 46. YYPE bazlı polimer kompozitlerinin karbon siyahı içeriğine bağlı darbe dayanımı değişimi



Şekil 47. YYPE bazlı polimer kompozitlerinin karbon nanotüp içeriğine bağlı darbe dayanımı değişimi

4.4 Termal Özellikler:

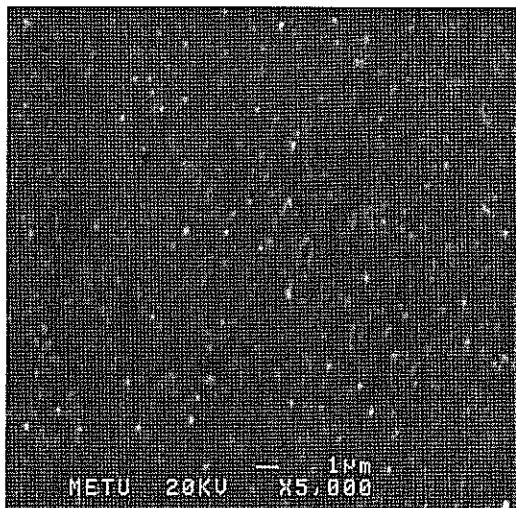
Proje kapsamında hazırlanan iletken polimer kompozitlerinin camsı geçiş sıcaklığı, kristallenme sıcaklığı, erime sıcaklığı ve matriks kristallenme yüzdeleri gibi bazı termal özellikleri aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tablo 12. Hazırlanan kompozitlerin termal özellikleri

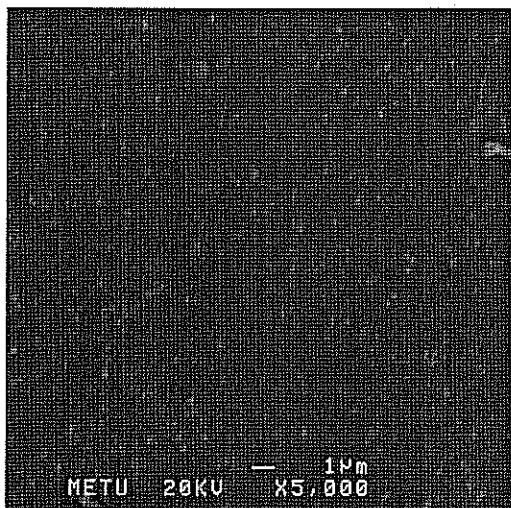
Numune	Tg (°C)	Tc (°C)	Tm (°C)	Kristallenme (%)
YYPE	-	-	131.88	42.69
PP	-	-	165.51	34.36
Nylon 6	56.12	-	224.50	37.06
PET	82.24	-	251.58	35.89
PET+ ağ.%1 CB	75.09	137.00	249.45	6.29
PET+ ağ.%4 CB	81.48	132.00	248.80	8.92
PET+ ağ.%8 CB	80.94	128.84	248.87	6.28
YYPE+ ağ.%3 CB	-	-	134.79	57.29
YYPE+ ağ.%6 CB	-	-	134.42	56.45
YYPE+ ağ.%10 CB	-	-	133.76	52.42
Nylon 6+ ağ.%3 CB	-	-	222.48	30.56
Nylon 6+ ağ.%6 CB	57.68	-	222.58	28.35
Nylon 6+ ağ.%10 CB	60.72	-	221.63	28.43
PP+ ağ.%1 CB	-	-	165.41	33.15
PP+ ağ.%4 CB	-	-	165.53	33.75
PP+ ağ.%8 CB	-	-	165.82	34.28
PET+ ağ.%0.25 CNT	71.61	109.01	252.89	30.63
PET+ ağ.%1 CNT	69.81	106.82	252.75	22.95
PET+ ağ.%4 CNT	51.25	104.22	252.37	22.77
Nylon 6+ ağ.%0.25 CNT	94.07	-	222.97	28.00
Nylon 6+ ağ.%1 CNT	92.83	-	223.12	27.44
Nylon 6+ ağ.%4 CNT	98.44	-	222.27	18.90
YYPE+ ağ.%0.25 CNT	-	-	131.55	41.60
YYPE+ ağ.%1 CNT	-	-	131.63	50.61
YYPE+ ağ.%4 CNT	-	-	132.02	56.07
PP+ ağ.%0.25 CNT	-	-	165.12	25.54
PP+ ağ.%1 CNT	-	-	165.47	38.86
PP+ ağ.%4 CNT	-	-	165.18	46.21

4.5 Morfolojik Özellikler:

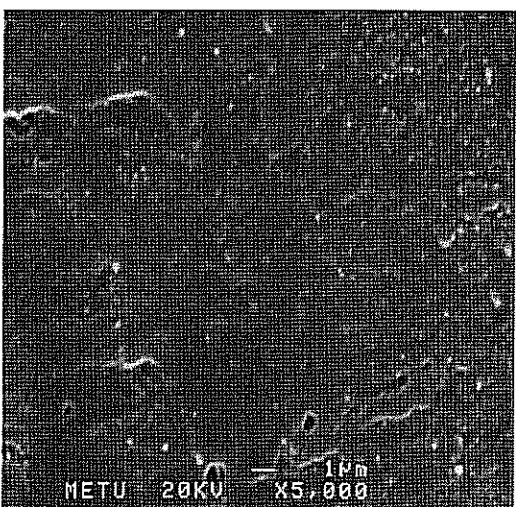
Proje deneylerinde üretilen polimer kompozitlerinin morfolojilerinin incelenmesi için çekilen taramalı elektron mikroskopu (SEM) mikrografları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



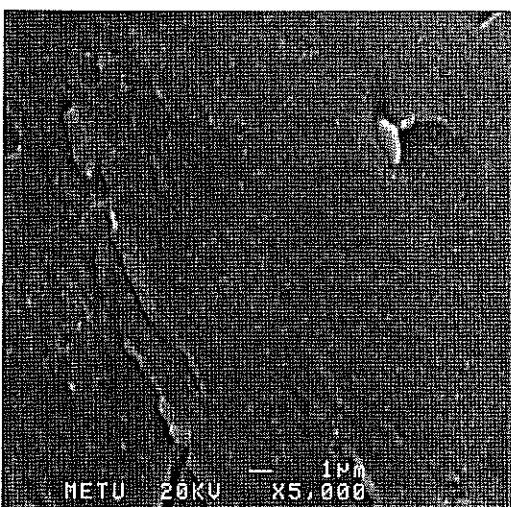
Şekil 48. PET+ağ.%1 CB kompozitinin SEM mikrografi



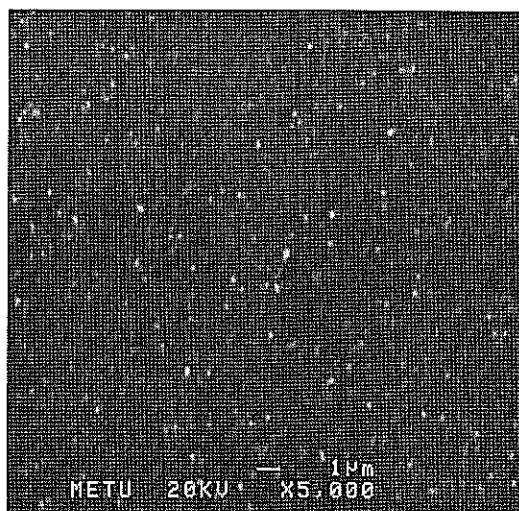
Şekil 49. PET+ağ.%4 CB kompozitinin SEM mikrografi



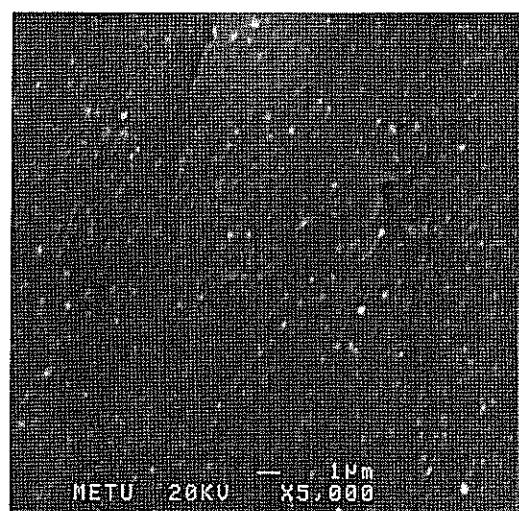
Şekil 50. PET+ağ.%0.25 CNT kompozitinin SEM mikrografi



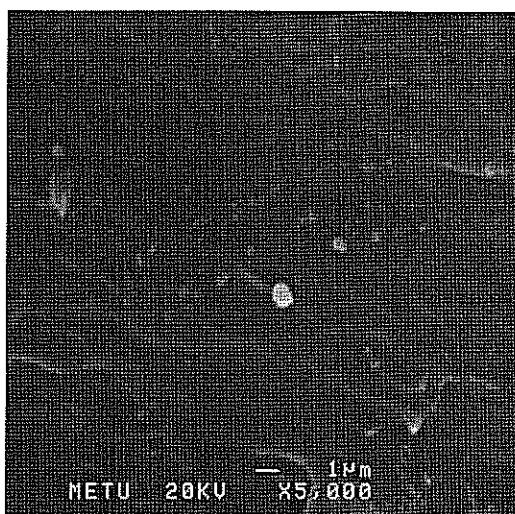
Şekil 51. PET+ağ.%1 CNT kompozitinin SEM mikrografi



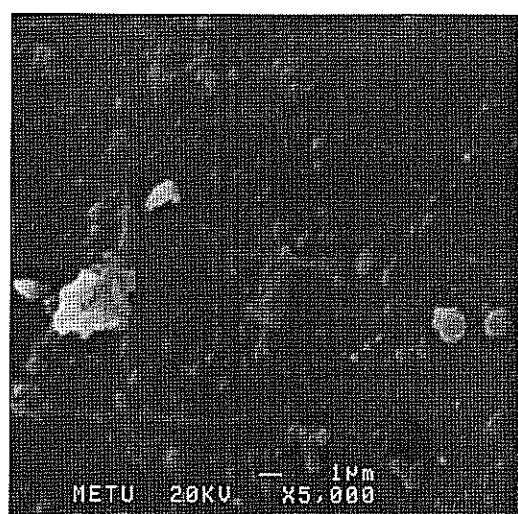
Şekil 52. PP+ağ.%1 CB kompozitinin SEM mikrografi



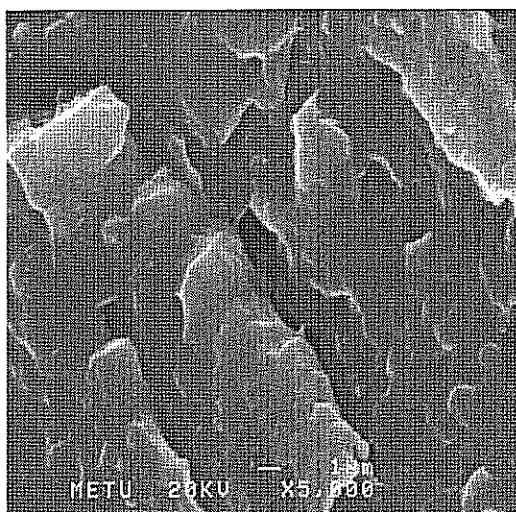
Şekil 53. PP+ağ.%4 CB kompozitinin SEM mikrografi



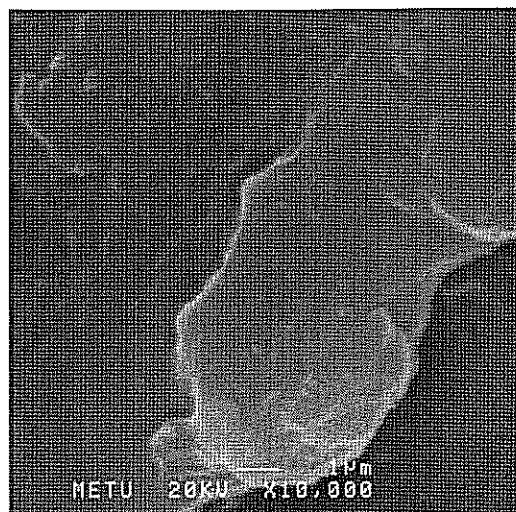
Şekil 54. PP+ağ.%0.25 CNT kompozitinin SEM mikrografi



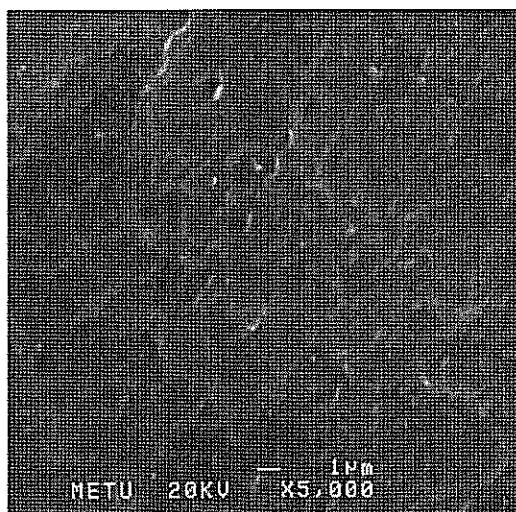
Şekil 55. PP+ağ.%1 CNTkompozitinin SEM mikrografi



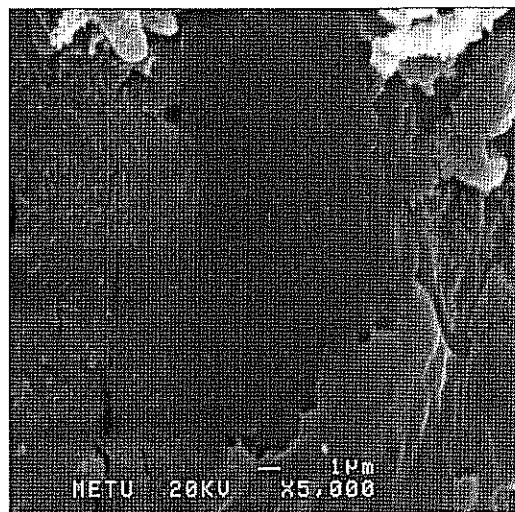
Şekil 56. Nylon6+ağ.%3 CB kompozitinin SEM mikrografi



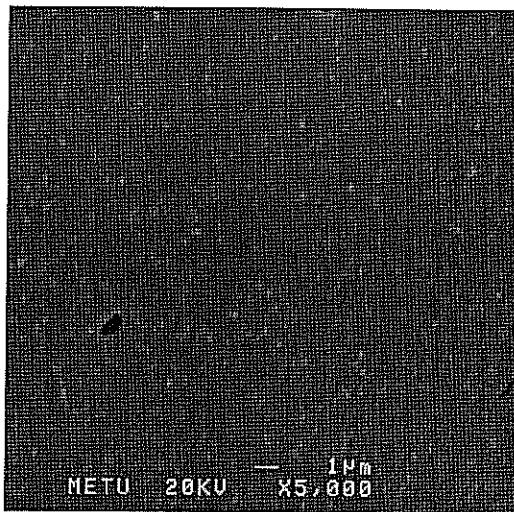
Şekil 57. Nylon6+ağ.%6 CB kompozitinin SEM mikrografi



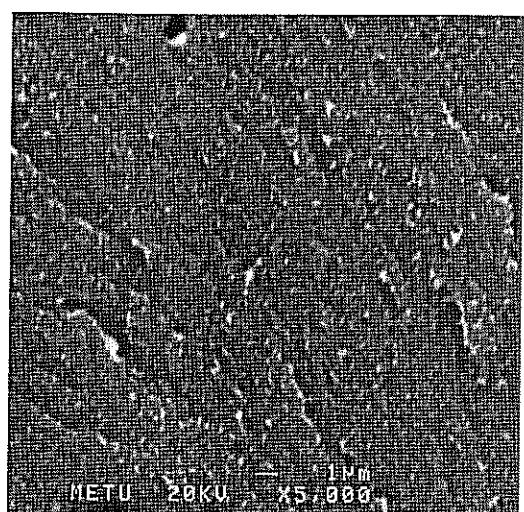
Şekil 58. Nylon6+ağ.%0.25 CNT kompozitinin SEM mikrografi



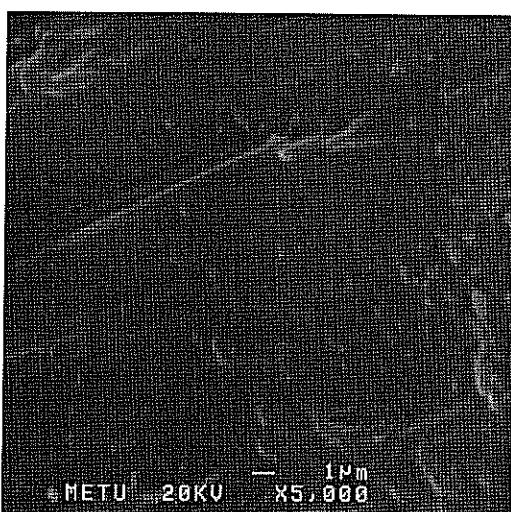
Şekil 59. Nylon6+ağ.%1 CNT kompozitinin SEM mikrografi



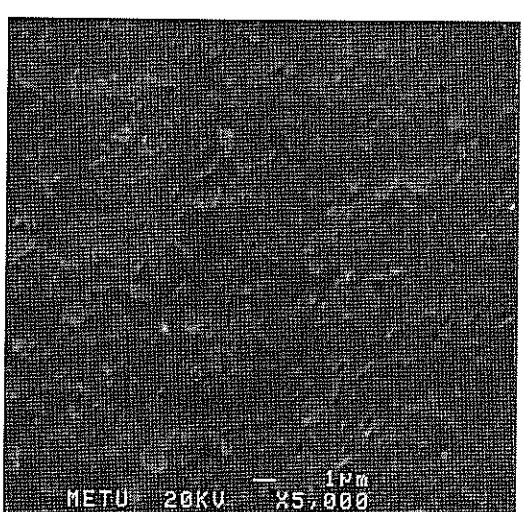
Şekil 60. YYPE+ağ.%3 CB kompozitinin SEM mikrografi



Şekil 61. YYPE+ağ.%6 CB kompozitinin SEM mikrografi



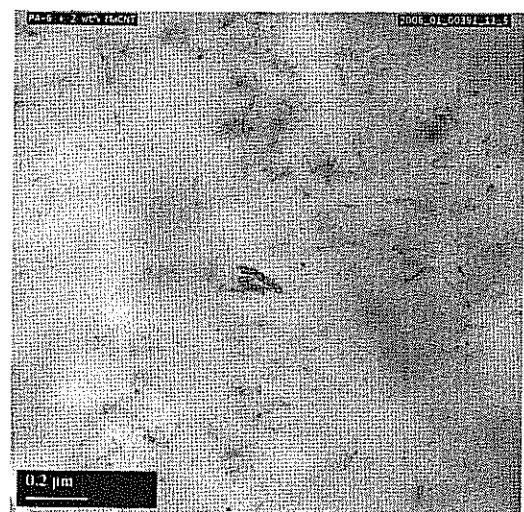
Şekil 62. YYPE+ağ.%0.25 CNTkompozitinin SEM mikrografi



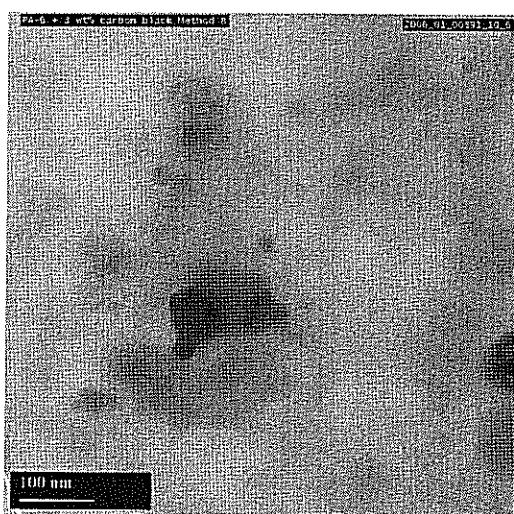
Şekil 63. YYPE+ağ.%1 CNT kompozitinin SEM mikrografi



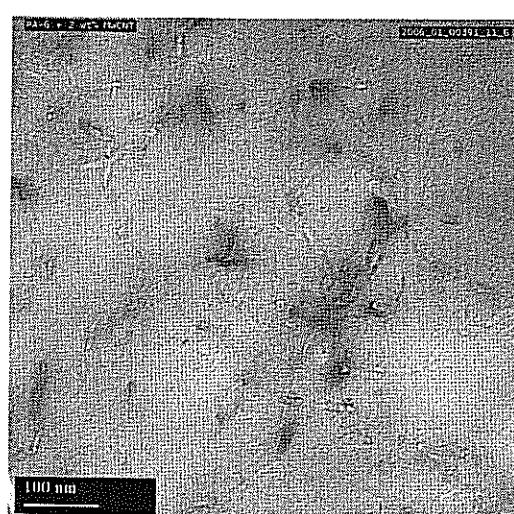
Şekil 64.Nylon 6+ağ.%3 CB kompozitin TEM mikrografi (0.2μm)



Şekil 65.Nylon 6+ağ.%2CNT kompozitin TEM mikrografi (0.2μm)



Şekil 66.Nylon 6+ağ.%3 CB kompozitin TEM mikrografi (0.1μm)



Şekil 67.Nylon 6+ağ.%2CNT kompozitin TEM mikrografi (0.1μm)

5. TARTIŞMA

5.1 Elektriksel İletkenlik Sonuçları:

Projede hazırlanan polimer kompozitlerinin iletkenlik değerleri Şekil 2-15'te sunulmuştur.

Projenin ilk kısmında, naylon ve yüksek yoğunluklu polietilen polimerleri ile karbon siyahı katkısıyla kompozit numuneler hazırlanmıştır. Kompozitlerin elektriksel iletkenlikleri karbon siyahı katkısı ile artmıştır. Nylon 6 bazlı ve YYPE bazlı polimerlerin, karbon siyahı katkısı ile elektriksel özelliklerindeki değişimi farklılıklar göstermektedir. Nylon 6 bazlı polimer, ağırlıkça % 5 karbon siyahı içeriğinde yarı iletken seviyesine ulaşmıştır. YYPE bazlı polimerin elektriksel iletkenliği ise ağırlıkça % 9 karbon siyahı içeriğinde yarı iletken seviyesine çekilmiştir. Daha farklı polimer matrikslerin elektriksel özelliklerindeki değişimi inceleyebilmek için bu proje kapsamında, polipropilen ve PET bazlı polimerler seçilmiştir.

Daha düşük karbon siyahı kompozisyonunda, polipropilen ve PET bazlı kompozitlerde yarı iletken seviyesine ulaşılmıştır. Sırasıyla, ağırlıkça % 5 ve % 3 karbon siyahı içeren polipropilen ve PET bazlı kompozitlerin elektriksel iletkenlikleri yarı iletken seviyesine indirilmiştir. Karbon siyahı parçacıkları, zayıf van der Waals kuvvetleri nedeni ile büyük kümeler halini almaktadır. Bu büyük kümeler, ekstrüzyon ve benzeri polimer işlemleri sırasında kayma gerilimine maruz kalarak, nispeten daha küçük kümeler oluşturmaktadır. Kompozitlerin elektriksel özelliklerinde gözlenen farklılığın değişik sebepleri olduğu düşünülmektedir. Karbon siyahı parçacıklarının, kompozit içerisindeki farklı dağılımı ve karbon siyahı kümelerinin boyutundaki değişim, başlıca nedenler arasında gösterilebilir. Ekstrüzyon işlemleri sırasında, kullanılan polimerin viskozitesine bağlı olarak kompozite farklı kayma gerilimi uygulanmaktadır. Kayma geriliminin, karbon siyahı parçacıklarının dağılımını ve karbon siyahı kümelerinin boyutunu etkilediği ve böylece kompozitlerin elektriksel özelliklerini değiştirdiği düşünülmektedir. Kullanılan polimerler arasında, en yüksek eriyik haldeki viskoziteye sahip polipropilen, ekstrüzyon işlemi esnasında karbon siyahı kümelerine yüksek kayma gerilimi uygulayarak karbon siyahı kümelerini azaltmakta ve boyutlarını küçültmektedir. Aynı karbon siyahı kompozisyonunda, daha küçük dolgu maddesi boyutu, yüksek temas olasılığı sağlamaktadır. Fakat, yüksek

kayma geriliminin, iletken zincir oluşumunu engellediği de düşünülmektedir. Bu olay, polipropilen bazlı kompozitlerde görülen nispeten yüksek iletkenliğe neden gösterilebilir. Karbon siyahı katkılı kompozitlerin elektriksel iletkenlik test sonuçları karşılaştırıldığında, PET bazlı kompozitlerin her kompozisyonda daha iletken oldukları gözlenmiştir. Polipropilenin tam aksine, kullanılan polimerler arasında en düşük eriyik haldeki viskoziteye sahip PET polimerinin iletken zincirlerin oluşmasını sağladığı düşünülmektedir. Kullanılan polimerlerin farklı kimyasal özelliklere sahip olması istenmiştir. Kimyasal yapı ve yüzey fonksiyonel gruplarındaki farklılıklar, polimerlerin değişik yüzey enerjilerine sahip olmalarını sağlamaktadır ve karbon siyahı ile olan etkileşimlerinde farklılık göstermesine neden olmaktadır. Eriyik haldeki viskozite değeri bakımından PET bazlı polimere yakın olan naylon 6 polimerinin elektriksel iletkenlik değerleri büyük farklılık göstermektedir. Yüksek yüzey enerjisi nedeniyle, naylon 6 polimerinin ekstrüzyon işlemi sırasında karbon siyahı kümelerini çevreleyerek, iletken parçacıklar arasında yalıtkan tabakalar oluşturduğu düşünülmektedir.

Ayrıca, karbon siyahına alternatif olarak projenin ikinci kısmında karbon nanotüp parçacıkları ile hazırlanmış kompozitlerin elektriksel özellikleri incelenmiştir.

Karbon siyahı katkılı kompozitlere benzer olarak, karbon nanotüp ile hazırlanan kompozitlerin elektriksel iletkenlik değerleri, kritik kompozisyonu geçince hızlı artış göstermektedir. Karbon nanotüp katkılı kompozitlerin kritik kompozisyon değerleri sırasıyla naylon 6, YYPE, polipropilen ve PET bazlı polimerler için ağırlıkça % 2, 0.4, 1.5 ve 0.1'dir. Naylon, YYPE, polipropilen ve PET bazlı kompozitlerin kritik kompozisyon değerleri, karbon siyahı katkılı kompozitler ile karşılaştırıldığında, yüksek oranda azalma göstermiştir. Ayrıca, kompozitlerin elektriksel iletkenlik değerleri her kompozisyonda, karbon siyahı ile hazırlanan kompozitlere göre çok daha düşük değerlere çekilmiştir. Karbon siyahı ile hazırlanan kompozitlerde olduğu gibi, karbon nanotüp katkılı PET bazlı kompozitlerin her kompozisyonunda en yüksek iletkenlik değerlerine ulaşılmıştır. Karbon nanotüp, karbon siyahı gibi kümeler halinde bulunmaktadır. Kompozitlerin elektriksel özelliklerinde, karbon nanotüpün matriks içerisindeki dağılımına bağlı olarak, farklılıklar gözlenmektedir. PET, YYPE, naylon 6 ve polipropilen bazlı polimerlerin, eriyik haldeki viskozite değerleri karşılaştırıldığında, PET polimeri en düşük değere sahiptir. Düşük viskozitenin düşük kayma gerilimine neden olduğu bilinmektedir. Karbon siyahında olduğu üzere, karbon nanotüp katkılı

PET bazlı kompozitlerde ekstrüzyon işlemleri sırasında yüksek iletkenlik sağlayan zincirlerin olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, karbon nanotüp ile hazırlanan kompozitler arasındaki en düşük iletkenlik değerleri naylon 6 bazlı kompozitlerde görülmüştür. Buna sebep olarak, karbon siyahı olayında olduğu gibi, naylon 6 bazlı polimerin sahip olduğu yüksek yüzey enerjisi düşünülmektedir.

5.2 Çekme Testi Sonuçları:

Deneysel çalışmalar kapsamında üretilen polimer kompozitlerinin çekme testi sonuçları Şekil 16-39'da verilmiştir.

Elektriksel iletkenlik testi sonuçları incelendiğinde PET bazlı kompozitlerin karbon siyahı ve karbon nanotüp katkısıyla diğer kompozitlere göre daha düşük akım direncine sahip oldukları görülmüştür. Bu artış PET bazlı kompozitlerin mekanik özelliklerini ters yönde etkilemiştir. İki dolgu maddesi de kompozitlerin çekme dayanımı ve çekme modülü değerlerini belirli oranda düşürmüştür. Bunun sebebi ekstrüzyon işlemi sırasında düşük viskozite değerine sahip PET'in, dolgu maddelerinin boyutlarını yeterince küçültüp homojen dağılmamasıdır. Bu sayede düşük dolgu maddesi oranında bile iletken zincirler oluşabilmiştir. Dolgu maddesi boyutu büyükçe çekme testi esnasında nanotüp kümelerinin mikro-çatlak oluşturma ihtimali artmaktadır. Oluşan mikro-çatlaklar, malzemenin mukavemetini azaltır.

Polipropilen bazlı kompozitlerin mekanik özellikleri göz önüne alındığında nanotüp ilavesi karbon siyahına göre kompozitlerin çekme dayanımı daha fazla arttırmıştır. Naylon bazlı kompozitlerde olduğu gibi yüksek çap uzunluk oranı karbon nanotüpün mukavemet artırıcı etkisini açıklayabilir. Ayrıca polipropilen polimerinin yüksek viskozitesi sayesinde ekstrüzyon işlemi sırasında dolgu maddeleri yüksek kayma gerilimine maruz kalmıştır. Bu yüzden her iki dolgu maddesi de mekanik özelliklerde belirli bir artış sağlayabilmistiir.

Karbon naotüp katkısıyla naylon6 bazlı kompozitlerin çekme dayanımı ve çekme modülü değerlerinde artış sağlanmış, kopmadaki uzama değerlerinde ise azalma gözlenmiştir. Bu değerler benzer kompozisyonlardaki karbon siyahı katkılı kompozitlerle karşılaştırıldığında; çekme dayanımı ve kopmadaki uzama değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Çap uzunluk oranı karbon siyahına göre daha fazla olan nanotüp parçacıkları kompozitin mukavemetini arttırmıştır.

YYPE – karbon nanotüp kompozitlerinin çekme dayanımında %70'e varan bir artış sağlandığı görülmüştür. Benzer bir şekilde kompozitlerin çekme modülleri de %250 oranında artmıştır. Özelliklerdeki bu artış karbon nanotüpün, karbon siyahına göre YYPE matriksini daha fazla güçlendirdiğine kanıt olabilir. Ayrıca mekanik özelliklerdeki artış gözönünde bulundurulduğunda nanotüp parçacıklarının matriks içerisinde homojen dağılım gösterdiği söylenebilir. Kompozitteki nanotüp miktarı arttıkça, kırılganlık artmıştır ve buna bağlı olarak kompozitlerin kopmadaki uzama değerleri azalma göstermiştir. Boyut olarak karbon siyahına göre daha küçük olan karbon nanotüp, YYPE – nanotüp kompozitlerinin benzer kompozisyonlardaki uzama değerlerinin YYPE-karbon siyahı kompozitlerine göre daha yüksek olmasına sebep olmuştur.

5.3 Darbe Testi Sonuçları:

Hazırlanan kompozitlerin darbe dayanımı sonuçları Şekil 40-47'de verilmiştir. Proje deneylerinde hazırlanan kompozitlerin darbe dayanımlarının dolgu maddesi katkısı ile değişim gösterdiği gözlenmiştir. Karbon siyahı bazlı polimer kompozitlerinin darbe dayanımları kritik dolgu maddesi konsantrasyonuna kadar azalma gösterirken bu kompozisyondan sonra artmıştır. Bunun en önemli sebebinin kompozit içerisinde oluşan karbon siyahı zincirlerinin malzemenin darbe dayanımını artırmasıdır. Bu açıdan elektriksel iletkenlik ve darbe dayanımı sonuçları arasında bir benzerlik görülmektedir. Karbon nanotüp içeren kompozitler göz önüne alındığında PET ve PP bazlı kompozitlerin darbe dayanımlarında dolgu maddesi ilavesiyle sürekli bir artışın olduğu gözlenmiştir. Bu sonuç, kompozitlerde iletken dolgu maddesi zincirlerinin daha düşük kompozisyonlarda oluştuğunu gösterir. Nylon6 ve YYPE bazlı kompozitler ise karbon nanotüp katkıyla esnekliklerini kaybetmişler ve darbe dayanımları düşmüştür.

5.4 Termal Test Sonuçları:

Projede hazırlanan iletken polimer kompozitlerinin termal özellikleri diferansiyel taramalı kalorimetre kullanılarak ölçülümuştur ve Tablo12'de sunulmuştur. Sonuçlar incelediğinde Nylon6 bazlı kompozitlerin karbon nanotüp katkısıyla camsı geçiş sıcaklıklarında yüksek bir değişim gözlenmiştir. Fakat aynı polimere karbon siyahı ilavesi camsı geçiş sıcaklığında fazla bir değişim meydana getirmemiştir. PET bazlı kompozitlerin camsı geçiş sıcaklıklarında ise Nylon6 sisteminin tam tersi bir durum

ortaya çıkmıştır. Karbon siyahı katkılı kompozitlerin camsı geçiş sıcaklıklarını, karbon nanotüp katkılı kompozitlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. YYPE ve PP sistemlerinin camsı geçiş sıcaklıklarını ölçümlerde kullanılan cihazın ölçüm sınırları dışında olduğu için belirlenmemiştir. Yapılan ölçümelerde PET bazlı kompozitlerin dışında kalan diğer sistemlerde kristallenme sıcaklığı tesbit edilememiştir. PET bazlı kompozitlerin kristallenme sıcaklıkları matriks içerisindeki dolgu maddesi miktarı arttıkça düşmüştür. Kompozitlerin erime sıcaklıklarında dolgu maddesi ilavesi ile çok küçük değişimler meydana gelmiştir fakat bu değişimler $3-4^{\circ}\text{C}$ 'yi geçmemektedir. Kompozitlerin matriks kristallenme yüzdesleri incelendiğinde YYPE polimerine iletken dolgu maddesi ilavesinin, saf polimer ile karşılaşıldığında, kristallenme yüzdesini arttırdığı görülmüştür. PP sisteminde karbon siyahı katkısı kristallenme yüzdesini değiştirmezken, karbon nanotüp katkısı kristallenme yüzdesini arttırmıştır. Nylon6 ve PET bazlı kompozitlerde dolgu maddesi ilavesinin matriks kristallenmesini saf polimerlere göre düşürdüğü gözlenmiştir. Genel olarak kompozitlerin içerisindeki dolgu maddesi miktarı arttıkça kristallenme yüzdesi düşmüştür.

5.5 Morfolojik Analiz Sonuçları:

Ağırlıkça % 1 ve 4 karbon siyahı içeren kompozitler ile ağırlıkça % 0.25 ve 1 karbon nanotüp içeren kompozitlerin SEM mikrografları kullanılarak (Şekil 48-63) morfoloji analizine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Kullanılan SEM cihazının sınırlı çözünürlük kapasitesi nedeniyle analizi yapılacak numunelere kimyasal aşındırma uygulanmıştır. Kimyasal aşındırma sonucu karbon siyahı katkılı kompozitlerin SEM mikrograflarındaki görüntüleri iyileştirilmiştir. Fakat, karbon nanotüp katkılı kompozitlerin SEM mikrograflarındaki belirsiz görüntülerden, uygulanan kimyasal aşındırmanın karbon nanotüpe yeterince etki etmediği kanısına varılmıştır. Kullanılan SEM cihazı ile ancak mikron seviyesine inilmiştir. Nano boyuttaki parçacıkların oluşturduğu sistemler için daha güçlü çözünürlüğe sahip sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Karbon siyahı katkılı PET bazlı kompozitlerin SEM mikrograflarına bakıldığından, karbon siyahının düzgün bir biçimde dağıldığı ve ekstrüzyon işlemi sırasında karbon siyahı kümelerinin mikron seviyesi altına indirildiği söylenebilir. Karbon nanotüp katkılı PET bazlı kompozitlerin SEM mikrografları, karbon siyahına göre daha az belirgindir. Buna sebep olarak karbon nanotüp ve karbon siyahı arasındaki parçacık boyut farkı gösterilebilir. Bu görüntülerden, karbon nanotpün matriks içerisinde

düzgün dağıldığı söylenebilir. Karbon siyahı katkılı polipropilen kompozitlerin SEM mikrografları, PET bazlı kompozitlerin SEM mikrografları ile benzerlik göstermektedir. Karbon siyahı parçacıkları rahatlıkla seçilebilmektedir. Fakat, nanotüp katkılı polipropilen kompozitlerin SEM mikrografları yorum yapabilecek netliğe sahip değildir. Aynı şekilde nanotüp katkılı naylon 6 ve YYPE kompozitlerinin SEM mikrografları da dolgu maddesi bakımından belirsiz görüntülere sahiptir. Yanısıra, karbon siyahı katkılı naylon 6 ve YYPE bazlı kompozitlerinin SEM mikrografları, karbon siyahının seçiciliği bakımından, PET ve polipropilen bazlı kompozitlere göre net olmayan sonuçlar vermiştir. Naylon 6 polimerinin yüksek yüzey enerjisi nedeniyle karbon siyahı parçacıklarını çevrelediği ve daha az belirgin hale getirdiği düşünülebilir. Fakat, her iki kompozitin SEM mikrograflarına bakıldığından, dolgu maddesinin düzgün bir biçimde dağıldığı söylenebilir.

TEM analizi sonuçları ışığında (Şekil 64-67) karbon siyahı ve karbon nanotüp parçacıklarının Naylon 6 polimer matriks içerisindeki boyutu ve dağılımı belirlenebilmiştir. Ağırlıkça %3 karbon siyahı içeren kompozitlerde parçacık boyutunun 0.3 mikrometre ve altında olduğu görülmüştür. Ayrıca mikrografiklerin belli kısımlarında daha büyük karbon siyahı parçacıkları da görülmektedir. Ağırlıkça %2 karbon nanotüp içeren kompozitlerde parçacık boyutunun 0.1 mikrometre ve altında olduğu gözlenmiştir. Mikrograflarda belirlenen sert renk geçişleri, bu bölgelerde daha az homojen dolgu maddesi dağılıminin olduğunu göstermektedir.

6. ÖNERİLER

Proje kapsamında yapılan bütün deneyler göz önüne alındığında projenin gelişimi, devamı ve endüstriyel uygulamaları ile ilgili olarak aşağıdaki önerilerde bulunulabilir:

- İletken polimer kompozitleri hazırlanırken projede kullanılan iletken dolgu maddelerine ek olarak karbon nanofiber ve grafit gibi dolgu maddeleri kullanılabilir.
- Projede kullanılan iletken dolgu maddelerinin elektriksel iletkenlik değerleri kimyasal yüzey modifikasyonu işlemleri ile artırılabilir.
- Düşük dolgu maddesi kompozisyonunda iletken polimer kompozitleri elde edebilmek için matriks olarak iki polimer kullanılabilir. Bu sayede iletken dolgu maddesinin tek bir polimer fazında toplanması ile iletken zincirlerin oluşması sağlanabilir.
- Ekstrüzyon işlemi sırasında proses parametreleri değiştirilerek, bunların kompozitlerin elektriksel özelliklerine olan etkileri incelenebilir.
- Proje kapsamında üretilen PET bazlı kompozitlerin mekanik özellikleri dolgu maddesi ilavesiyle arttırlamamıştır. Bu sisteme elastomerik malzemeler katılarak mekanik özellikler iyileştirilebilir.
- İletken polimer kompozitleri uygulama alanı olarak elektromanyetik dalga kalkanı olarak kullanılabilir. Bu yüzden bu projede üretilen kompozitlerin bu tür uygulamalarda geçirgenlikleri test edilebilir.

7. REFERANSLAR

- [1] Pinto G., Gonzalez C. L., Martin A. J., Polymer Composites Prepared by Compression Molding of a Mixture of Carbon Black and Nylon 6 Powder, *Polymer Composites* 20, 804-808, (1999).
- [2] Pinto G., Martin A. M., Conducting Aluminum-Filled Nylon 6 Composites, *Polymer Composites* 22, 65-70, (2001).
- [3] Pinto G., Larena A., Electroconductive Nylon 6 and Copper Composites, *Polymer Composites* 16, 536-541, (1995).
- [4] Chodak I., Omastova M., Pionteck J., Relation between Electrical and Mechanical Properties of Conductive Polymer Composites, *Journal of Applied Polymer Science* 82, 1903-1906, (1999).
- [5] Knite M., Teteris V., Kiploka A., Kaupuzs J., Polyisoprene-Carbon Black nanocomposites as tensile strain and pressure sensor materials, *Sensors and Actuators A* 110, 142-149, (2004).
- [6] Yu G., Zhang M. Q., Zeng H. M., Hou Y. H., Zhang H. B., Effect of Filler Treatment on Temperature Dependence of Resistivity of Carbon-Black-Filled Polymer Blends, *Journal of Applied Polymer Science*, 73, 489-494, (1999).
- [7] Zhang J. F., Zheng Q., Yang Y. Q., Yi X. S., High-Density Polyethylene/Carbon Black Conductive Composites. I. Effect of Carbon Black Surface Modification on its Resistivity-Temperature Behavior, *Journal of Applied science* 83, 3112-3116, (2002).
- [8] Meincke O., Kaemfer D., Weickmann H., Friedrich C., Vathauer M., Warth H., Mechanical properties and electrical conductivity of carbon-nanotube filled polyamide-6 and its blends with acrylonitrile/butadiene/styrene, *Polymer*, 45, 739-748, (2004).
- [9] Pötschke P., Bhattacharyya A.R., Janke A., Carbon nanotube filled polycarbonate composites produced by melt mixing and their use in blends with polyethylene, *Carbon*, 42, 965-969, (2004).
- [10] Li R. J., Xu J. R., Zhang M. Q., Rong M. Z., Electrical Response to Organic Vapor of Conductive Composites from Amorphous Polymer/Carbon Black Prepared by Polymerization Filling, *Macromolecular Material Engineering*, 288, 103-107, (2003).

- [11] Pluta M., Alexandre M., Blacher S., Dubois P., Jerome R., Metallocene-catalyzed polymerization of ethylene in the presence of graphite II Structure and electrical properties of the composites, *Polymer*, 42, 9293-9300, (2001).
- [12] Pan Y. X., Yu Z. Z., Ou Y. C., Hu G. H., A New Process of Fabricating Electrically Conducting Nylon 6/Graphite Nanocomposites via Intercalation Polymerization, *Polymer Physics*, 38, 1626-1633, (2000).
- [13] Hibberd R. G., Solid – State Electronics, Mc Graw-Hill Book Company, Texas, (1968).
- [14] Hyde F. J., Semiconductors, Macdonald & G. Ltd., (1965).
- [15] Nielsen L. E., Landel R. F., Mechanical Properties of Polymer and Composites, Marcel Dekker Inc., New York, (1994).
- [16] Rosen S. L., Fundamental Principles of Polymeric Materials, John Wiley & Sons, Inc., USA (1992).
- [17] Gul,V.E., Structure and Properties of Conducting Polymer Composites, VSP BV, The Netherlands (1996).
- [18] Mascia L., Thermoplastics Materials Engineering, Elsevier Science Publishers Ltd., England (1989).
- [19] Seymour R. B., Reinforced Plastics Properties and Applications, ASM International, USA (1991).
- [20] Ebbesen T. W., Carbon nanotubes: Preparation and Properties, CRC Press, Boca Raton (1997).
- [21] Bandrup J., Immergut E. H., Polymer Handbook, Third Edition, Wiley-Interscience Pub., (1989).
- [22] Jose S., Aprem A. S., Francis B., Chandy M. C., Werner P., Alstaedt V., Thomas S., Phase morphology, crystallization behaviour and mechanical properties of isotactic polypropylene/high density polyethylene blends, *European Polymer Journal*, 40, 2105-2115, (2004).

PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Kodu: MİSAG 271
Proje Başlığı: DOLGU MADDESİ EKLENMESİYLE İLETKEN POLİMER KOMPOZİTLERİNİN HAZIRLANMASI
Proje Yürütucusu ve Yardımcı Araştırmacılar: Yürütücü: Doç.Dr. Göknur BAYRAM Yardımcı Araştırmacılar: Sertan YEŞİL Özcan KÖYSÜREN
Projenin Yürüttüğü Kuruluş ve Adresi: ORTA DOĞU TEKNİK ÜNİVERSİTESİ KİMYA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ İnönü Bulvarı 06531 ANKARA
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: Proje başka bir kuruluş tarafından desteklenmemektedir.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 01/08/2004 - 02/02/2006
Öz (en çok 70 kelime): Projenin kapsamında, termoplastik polimerler ile karbon bazlı iletken dolgu maddelerini eriyik halde karıştırarak, düzgün dolgu maddesi dağılımına sahip iletken polimer kompozitleri üretilmiştir. Üretilen kompozitlerin elektriksel, mekanik, termal ve morfolojik karakterizasyonları gerçekleştirilmiştir. Kompozitlerin elektriksel iletkenliklerinin karbon bazlı dolgu maddesi katkısıyla yarı-iletken seviyesine düşüğü gözlenmiştir.
Anahtar Kelimeler: İletken polimer kompozitleri, karbon siyahı, karbon nanotüp, elektriksel iletkenlik, mekanik özellikler
Projeden Kaynaklanan Yayınlar: S. Yesil, O. Koysuren and G. Bayram, "Conductive Polymer Composites with Surface Modified Carbon Black", Polymer Processing Society 22 nd Annual Meeting Yamagata, Japan (2006). Özcan KÖYSÜREN, Sertan YEŞİL, Göknur BAYRAM, "Karbon Bazlı Dolgu Maddesi İçeren Polietilen Terftalat Kompozitlerinin Mekanik ve Elektriksel Özellikleri, I. Ulusal Polimer Bilim ve Teknoloji Kongresi ve Sergisi Ankara, Türkiye (2006).
Bilim Dalı: Kimya Mühendisliği Doçentlik B. Dalı Kodu: 912