

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BOR MİNERALİ ATIĞI KATKILI POLİPROPİLEN  
KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK VE  
TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Murat ÖZTÜRK**

**Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hüseyin ÜNAL**

**Mart 2018**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


**BOR MİNERALİ ATIĞI POLİPROPİLEN KOMPOZİT  
MALZEMELERİN MEKANİK VE TRİBOLOJİK  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

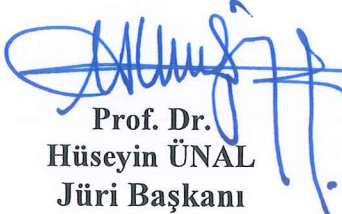
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**


**Murat ÖZTÜRK**

**Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ**

**Bu tez 19.03.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.**

  
**Prof. Dr.  
Fehim FINDIK  
Üye**

  
**Prof. Dr.  
Hüseyin ÜNAL  
Jüri Başkanı**

  
**Doktor Öğretim Üyesi  
Salih Hakan YETGİN  
Üye**

## **BEYAN**

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Murat ÖZTÜRK

19.03.2018

## TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans eğitimim süresince kıymetli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, bilgi ve desteğini almaktan hiçbir zaman çekinmediğim, Tezimi oluştururken her evresinde yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden ve aynı Şekilde beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Hüseyin ÜNAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca beni bugünlere getiren ve yetiştiren, okutan anneme ve babama, tezim boyunca beni destekleyen eşim Öykü ÖZTÜRK'e Yüksek Lisans eğitimim sırasında dünyaya gelen ikiz kızlarım Ezgi'me ve Beste'me, tabiki ablaları Elif'ime, bu eğitimim boyunca beni motive eden destekleyen kardeşim Hakan ÖZTÜRK'e çok teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

|  |     |
|--|-----|
| TEŞEKKÜR.....  | i   |
| İÇİNDEKİLER .....  | ii  |
| SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....                           | v   |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....   | vi  |
| TABLolar LİSTESİ .....   | x   |
| ÖZET.....  | xi  |
| SUMMARY .....  | xii |
| <br>   |     |
| BÖLÜM 1.   |     |
| GİRİŞ .....  | 1   |
| <br>   |     |
| BÖLÜM 2.   |     |
| DENEYDE KULLANILAN MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ .....             | 10  |
| 2.1. Polipropilen (PP) .....                                   | 10  |
| 2.2. Polipropilenin Tanımı Ve Üretimi.....                     | 10  |
| 2.3. Polipropilen Polimer Malzemenin Yapı Ve Özellikleri ..... | 10  |
| 2.4. Polipropilen Malzemenin Uygulama Alanları .....           | 14  |
| 2.5. Uyumluluk Ajanı (PP-g-Ma) .....                           | 15  |
| 2.5.1. Uyumluluk ajanlarının özellikleri .....                 | 16  |
| 2.6. Bor Minerali.....   | 18  |
| 2.6.1. Bor mineralinin keşfi.....                              | 18  |
| 2.6.1.1. Bor mineralinin özellikleri.....                      | 18  |
| 2.6.1.2. Bor mineral atığının özellikleri.....                 | 20  |
| 2.6.1.3. Bor minerali atığının kullanım alanları.....          | 22  |

### BÖLÜM 3.

|   |    |
|---|----|
| AŞINMA VE DENEY YÖNTEMLERİ.....               | 23 |
| 3.1. Aşınmanın Tanıtımı.....                  | 23 |
| 3.2. Aşınmanın Ekonomik Açıdan Önemi .....    | 23 |
| 3.3. Aşınmanın Kullanıldığı Alanlar .....     | 24 |
| 3.4. Aşınma Durumunu Etkileyen Faktörler..... | 24 |
| 3.5. Aşınma Mekanizmaları .....               | 25 |
| 3.6. Aşınma Deney Metotları.....              | 25 |
| 3.6.1. Adheziv aşınma şekli.....              | 26 |
| 3.6.2. Abrasiv aşınma şekli .....             | 30 |
| 3.7. Aşınmaya Etki Eden Faktörler.....        | 31 |
| 3.7.1. Kayma hızı etkisi.....                 | 31 |
| 3.7.2. Basınç ve yük etkisi .....             | 31 |
| 3.7.3. Sıcaklık etkisi .....                  | 31 |
| 3.7.4. Aşınma mesafesi etkisi.....            | 32 |
| 3.7.5. Sertlik etkisi .....                   | 32 |
| 3.7.6. Yüzey pürüzlülüğü etkisi .....         | 32 |
| 3.7.7. Tane boyutu etkisi .....               | 33 |
| 3.7.8. Çalışma ortamının etkisi .....         | 33 |
| 3.7.9. İşletme koşulları etkisi .....         | 33 |

### BÖLÜM 4.

|   |    |
|---|----|
| DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....                   | 35 |
| 4.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler ..... | 35 |
| 4.2. Uygulanan Deneysel Yöntemler .....     | 38 |
| 4.2.1. Yoğunluğun Ölçümleri .....           | 38 |
| 4.2.2. Çekme deneyinin yapılması .....      | 38 |
| 4.2.3. Darbe deneyi .....                   | 44 |
| 4.2.4. Sertlik deneyi .....                 | 45 |
| 4.2.5. Aşınma deneyi.....                   | 46 |

|  |    |
|--|----|
| BÖLÜM 5.   |    |
| DENEY BULGULAR.....  | 51 |
| 5.1. Kullanılan Malzemelerin Mekanik ve Fiziksel Test Analizleri ..... | 51 |
| 5.2. PP ve Kompozitlerin Kırılma Yüzeyi SEM Mikroyapı İncelemeleri .   | 59 |
| 5.3. PP ve PP Kompozitlerin Aşınma ve Sürtünme Analizleri .....        | 61 |
| 5.3.1. PP ve PP Kompozitlerin sürtünme katsayısı-yol ilişkisi .....    | 61 |
| 5.3.2. Aşınmış polimer yüzeylerinin (SEM) mikroyapı incelemeleri       | 72 |
| 5.3.3. Aşınma - disk mikroyapı incelemeleri .....                      | 75 |
| BÖLÜM 6.   |    |
| SONUÇ VE ÖNERİLER .....  | 77 |
| 6.1. Sonuçlar .....  | 77 |
| 6.2. Öneriler .....  | 78 |
| KAYNAKLAR.....   | 79 |
| EKLER.....   | 84 |
| ÖZGEÇMİŞ .....   | 88 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

|         |                                    |
|---------|------------------------------------|
| µm      | : Mikrometre                       |
| BA      | : Bor atığı (boron waste)          |
| CE      | : Cam Elyaf                        |
| Dev/dk  | : Devir/dakika                     |
| DIN     | : Alman Kalite Normu               |
| h       | : Saat                             |
| ISO     | : Uluslararası Kalite Standartları |
| J       | : Joule                            |
| m       | : Metre                            |
| N       | : Newton                           |
| Pa      | : Pascal                           |
| PAI     | : Poliamid-imid                    |
| PC      | : Polikarbonat                     |
| PEEK    | : Poli-eter-eter-keton             |
| PEI     | : Polieter-imid                    |
| PET     | : Polietilentereftalat             |
| PK      | : Poliketon                        |
| PP      | : Polipropilen                     |
| PP-g-MA | : Maleik anhidrit graft edilmiş PP |
| PPS     | : Polifenilen-sülfit               |
| PS      | : Polistiren                       |
| PSU     | : Polisülfon                       |
| PTFE    | : Politetrafloretillen             |
| PVC     | : Poli-vinil-klorür                |
| Sn      | : Saniye                           |



## ŞEKİLLER LİSTESİ

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Şekil 2.1.  | Polipropilen monomerinin şematik olarak gösterimi.....  | 10 |
| Şekil 2.2.  | Matris yapı içerisinde PP-g-MA ilave edilmesi ile organik silikat tabakalı yapılarının birbirinden ayrılma işleminin şematik olarak gösterimi ..... | 16 |
| Şekil 4.1.  | Polimer kompozitlerin üretiminde kullanılan sıcak pres .....  | 37 |
| Şekil 4.2.  | Yoğunluk ölçümü yapılan cihaz.....  | 38 |
| Şekil 4.3.  | Çekme deneyi cihazı .....   | 39 |
| Şekil 4.4.  | Çekme numunesi örneği .....   | 39 |
| Şekil 4.5.  | Saf PP polimerin çekme deneyi sonrasındaki görüntüsü .....  | 42 |
| Şekil 4.6.  | %10 Bor minerali atığı katkılı PP polimer kompozitin çekme deneyi sonrasındaki görüntüsü .....  | 42 |
| Şekil 4.7.  | %20 Bor minerali atığı katkılı PP polimer kompozitin çekme deneyi sonrasındaki görüntüsü .....  | 42 |
| Şekil 4.8.  | %30 Bor minerali atığı katkılı PP polimer kompozitin çekme deneyi sonrasındaki görüntüsü .....  | 42 |
| Şekil 4.9.  | %40 Bor minerali atığı katkılı PP polimer kompozitin çekme deneyi sonrasındaki görüntüsü .....  | 43 |
| Şekil 4.10. | PP-g-MA modifiyeli ve %10 Bor minerali atığı katkılı PP polimer kompozitin çekme deneyi sonrasındaki görüntüsü .....                                | 43 |
| Şekil 4.11. | PP-g-MA modifiyeli ve %20 Bor minerali atığı katkılı PP polimer kompozitin çekme deneyi sonrasındaki görüntüsü .....                                | 43 |
| Şekil 4.12. | PP-g-MA modifiyeli ve %30 Bor minerali atığı katkılı PP polimer kompozitin çekme deneyi sonrasındaki görüntüsü .....                                | 44 |
| Şekil 4.13. | PP-g-MA modifiyeli ve %40 Bor minerali atığı katkılı PP polimer kompozitin çekme deneyi sonrasındaki görüntüsü .....                                | 44 |
| Şekil 4.14. | Darbe deneyi numunesi .....   | 45 |

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Şekil 4.15. | Deneylerde kullanılan Devotrans marka darbe cihazı .....  | 45 |
| Şekil 4.16. | Sertlik ölçüm cihazı .....  | 46 |
| Şekil 4.17. | Bilgisayarda aşınma deneyinde excel olarak alınan sürtünme katsayısı grafiği örnek görüntüsü.....   | 48 |
| Şekil 4.18. | Deneylerde kullanılan hassas terazi .....   | 50 |
| Şekil 4.19. | Deneylerde kullanılan aşınma cihazı .....   | 49 |
| Şekil 5.1.  | Bor atığı katkılı polipropilen polimer kompozitlerin çekme ve kopma mukavemeti-bor atığı katkı oranı ilişkisi .....   | 51 |
| Şekil 5.2.  | Bor atığı ve PP-g-MA uyumlaştırıcı katkılı polipropilen polimer kompozitin çekme ve kopma mukavemeti-bor atığı katkı oranı ilişkisi.....                                | 53 |
| Şekil 5.3.  | Bor atığı katkılı polipropilen polimer kompozitlerin elastiklik modülü ve % uzama-bor atığı katkı oranı ilişkisi .....  | 54 |
| Şekil 5.4.  | Bor atığı ve PP-g-MA uyumlaştırıcı katkılı polipropilen polimer kompozitin elastiklik modülü ve % uzama-bor atığı katkı oranı ilişkisi .....                            | 55 |
| Şekil 5.5.  | Bor atığı katkılı polipropilen polimer kompozitin darbe enerjisi, sertlik-bor atığı katkı oranı ilişkisi .....  | 56 |
| Şekil 5.6.  | Bor atığı ve PP-g-MA uyumlaştırıcı katkılı polipropilen polimer kompozitin darbe enerjisi, sertlik-bor atığı katkı oranı ilişkisi.....                                  | 57 |
| Şekil 5.7.  | Farklı oranlarda bor atığı katkılı polipropilen polimer kompozitlerin kırık yüzey taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntüleri .....                                   | 59 |
| Şekil 5.8.  | Farklı oranlarda bor atığı ve PP-g-MA uyumlaştırıcı katkılı polipropilen polimer kompozitlerin kırık yüzey taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntüleri.....           | 60 |
| Şekil 5.9.  | Saf PP polimeri ve %10, %20, %30 ve %40 Bor minerali atığı katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 1.0m/s, uygulanan yük:20N)..... | 61 |
| Şekil 5.10. | Saf PP polimeri ve %10, %20, %30 ve %40 Bor minerali atığı katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı: 1.0m/s, uygulanan yük:40N)..... | 62 |

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Şekil 5.11. | Bor atığı katkılı polipropilen polimer kompozitlerin sürtünme katsayısı- bor atığı katkı oranı ilişkisi (Yük: 20N,40N, Hız: 1m/s).....  | 63 |
| Şekil 5.12. | Saf PP polimeri ve %10, %20, %30 ve %40 Bor minerali atığı katkılı PP+%3(PP-g-MA) modifiyeli kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı:1.0m/s, Uygulanan yük:20N)..... | 64 |
| Şekil 5.13. | Saf PP polimeri ve %10, %20, %30 ve %40 Bor minerali atığı katkılı PP+%3(PP-g-MA) modifiyeli kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı:1.0m/s, uygulanan yük:40N)..... | 65 |
| Şekil 5.14. | Bor atığı ve PP-g-MA uyumlaştırıcı katkılı Polipropilen polimer kompozitlerin sürtünme katsayısı-bor atığı katkı oranı ilişkisi .....   | 66 |
| Şekil 5.15. | Bor atığı katkılı polipropilen polimer kompozitlerin spesifik aşınma oranı-bor atığı katkı oranı ilişkisi.....  | 67 |
| Şekil 5.16. | Bor atığı ve PP-g-MA uyumlaştırıcı katkılı Polipropilen polimer kompozitlerin spesifik aşınma oranı-bor atığı katkı oranı ilişkisi .  | 68 |
| Şekil 5.17. | Saf PP polimeri ve %10, %20, %30 ve %40 Bor minerali atığı katkılı PP kompozitlerin 20N yükte aşınma süresince oluşan sıcaklık miktarları grafiği.....  | 69 |
| Şekil 5.18. | Saf PP polimeri ve %10, %20, %30 ve %40 Bor minerali atığı katkılı PP kompozitlerin 40N yükte aşınma süresince oluşan sıcaklık miktarları grafiği.....  | 69 |
| Şekil 5.19. | Saf PP polimeri ve %10, %20, %30 ve %40 Bor minerali atığı ile uyumlaştırıcı katkılı PP kompozitlerin 20N yükte aşınma süresince oluşan sıcaklık miktarları grafiği .....                     | 70 |
| Şekil 5.20. | Saf PP polimeri ve %10, %20, %30 ve %40 Bor minerali atığı ile uyumlaştırıcı katkılı PP kompozitlerin 40N yükte aşınma süresince oluşan sıcaklık miktarları grafiği. ....                     | 70 |
| Şekil 5.21. | Katkısız PP ve farklı oranlarda bor atığı katkılı polipropilen polimer kompozitlerin taramalı elektron mikroskop (SEM) aşınma yüzey görüntüleri (Yük:40N, Hız 1.0m/s).....                    | 72 |
| Şekil 5.22. | Farklı oranlarda bor atığı ve PP-g-MA uyumlaştırıcı katkılı polipropilen polimer kompozitlerin aşınma yüzeyi taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntüleri (Yük:40N, Hız:1.0m/s).....         | 73 |

- Şekil 5.23. Üzerinde katkısız PP ve farklı oranlarda bor atığı katkılı polipropilen polimer kompozit aşınan AISI 316L paslanmaz çelik diskin mikroyapı görüntüleri (Yük:40N, Hız 1.0m/s) – (x100 büyütme)..... 75
- Şekil 5.24. Üzerinde farklı oranlarda bor atığı ve PP-g-MA uyumlaştırıcı katkılı polipropilen polimer kompozit aşınan AISI 316L paslanmaz çelik diskin mikroyapı görüntüleri (Yük:40N, Hız 1.0m/s) - (x100 büyütme). 76

## TABLolar LİSTESİ

|   |    |
|---|----|
| Tablo 4.1. Deneylerde kullanılan PP polimer ve kompozitlerin kısa gösterimi ve yoğunlukları.....                                | 36 |
| Tablo 4.2. Deneyde kullanılan Mot Yapı/Türkiye'den temin edilen bor minerali atığının kimyasal kompozisyonu ve özellikleri..... | 37 |
| Tablo 4.3. AISI 316L disk malzemesi kimyasal kompozisyonu.....  | 48 |

## ÖZET

Anahtar Kelimeler: Aşınma, triboloji, polimer, kompozit, polipropilen, PP, bor atığı, BA, uyumlaştırıcı, PP-g-MA , Maleik anhidrit graft edilmiş PP

Bu deneysel çalışmada, endüstrinin değişik alanlarında kullanılan saf polipropilen (PP) polimeri ile, ağırlık olarak farklı oranlarda bor mineral atığı katkı (%10-%40) kompozitlerin ve maleik anhidrit asit ile aşılınmış polipropilen (PP-g-MA) uyumlaştırıcılı farklı oranlarda bor mineral atığı katkı (%10-%40) kompozitlerin mekanik, fiziksel, tribolojik ve mikroyapısal özellikleri incelenmiştir. Deneylerde kullanılan saf PP ve PP polimer kompozitlerin çekme mukavemeti, kopma mukavemeti, % uzama, elastiklik modülü gibi mekanik özellikleri ile yoğunluk, sertlik gibi fiziksel özellikleri araştırılmıştır. Buna ilaveten deneylerde kullanılan PP ve PP kompozitlerin sürtünme katsayısı ve spesifik aşınma oranı gibi tribolojik özellikleri de araştırılmıştır. Aşınma ve sürtünme davranışları pim-disk aşınma cihazında gerçekleştirilmiş olup, deneyler kuru ortam şartlarında yapılmıştır. Deneyler oda sıcaklığı ortamında, 20N ve 40N yükte ve 1 m/s kayma hızında 1000 m kayma yolunda yapılmıştır. Deneyler sonucunda saf PP polimer ve bor mineral atığı katkı PP kompozit malzemelerin aşınma ve sürtünme davranışlarına uygulanan yükün etkisi, sürtünme sırasındaki sıcaklığın etkisi, PP polimerine ilave edilen farklı katkı oranlarının etkisi incelenmiş ve etkileri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Mikroyapı incelemeleri için ise hem optik mikroskop hem de taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Deneyler sonucunda, mekanik, tribolojik ve fiziksel özellikler açısından en iyi kompozit malzemenin PP+%3PP-g-MA+%40BA kompoziti olduğu tespit edilmiştir.

# **INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SOME ORGANIC AND INORGANIC ADDITIVES ON THE PROPERTIES OF THERMOPLASTIC BASED POLYMERS**

## **SUMMARY**

Keywords: Wear, tribology, polymer, composite, polypropylene, boron waste, compatibilizer, Maleic anhydride grafted of PP, PP-g-MA

In this experimental study, used in different areas of the industry, pure polypropylene (PP) polymer with boron mineral waste addition in different proportions by weight (%10-%40) composites and maleic anhydride acid-grafted polypropylene (PP-g-MA) boron mineral waste addition in different proportions by weight (%10-%40) composites have been examined to mechanical, physical, tribological and microstructural features. The pure PP and PP polymer composites used in the experiments were investigated to mechanical properties such as tensile strength, tensile strength, % elongation, modulus of elasticity and physical properties such as density and hardness. In addition to this, the pure PP and PP polymer composites used in the experiments were investigated to tribological properties such as friction coefficient and specific abrasion rate. The abrasion and friction behaviors of the high performance polymers used in the experiments were carried out in the pin-disc wear device and the experiments were carried out in dry environment conditions. Experiments in room temperature environment, 20N and 40N load and 1 m / s shear rate of 1000 m glide path are made. As a result of the experiments, the effect of load applied to wear and friction behavior of pure PP polymer and boron mineral wool added PP composite materials, the effect of temperature on friction, the effect of different additives in PP polymer were investigated and the effects were compared with each other. Both the optical microscope and the scanning electron microscope were used for microstructure examination. As a result, the best composite material in terms of mechanical, tribological and physical properties; PP+3PP-g-MA+40BA composite have been identified.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Plastikler (polimerler) monomer adı verilen kimyasal parçacıklardan oluşan yüksek molekül ağırlığına ve zincir'e benzeyen yapıya sahip malzemelerdir. Monomer, polimerizasyon ile başka monomer parçacıklar ile birleşerek tekrarlanan ünitelerle zincir meydana getirerek makro molekül oluşturur. Bu sayede çeşitli monomer parçacıkları kullanarak farklı yapılara sahip plastikler meydana gelir [1]. Modern teknolojisinin tüm alanında kullanılan polimerler ve polimer esaslı kompozitler çağımızda kullanım bakımından önemli yapıya sahiptir. Önümüzdeki yüzyıllarda plastiklerin önemi ve kullanım alanlarının artış göstereceği görülmektedir. Plastik teknolojisinde özellikle son dönemdeki hızlı gelişmeler ve sağladığı avantajlar ile polimer malzemelerin çelik malzemelere göre seçenek olmalarını sağlamıştır. Kurşun geçirmeyen camlar, yanma özelliği olmayan plastikler, yüksek su emme özellikte olan süperemciler, elektrikli ev aletleri, yapay deri, ilaç yükleme için sistemler, kâğıt kaplama, dekoratiflik sağlayan malzemeler, lens, roket yakıt bileşeni, köpük elastomerler vana poMPa dişlileri ile çelikten daha sağlam tutkallar polimer malzemelerin uygulama alanlarından birkaç örnektir. Polimer malzemelerin işlenebilmedeki kolaylığı, seri üretime uygun olması, korozyon ve çeşitli kimyasallara dayanıklı olması, hafif ve pahalı olmaması gibi özellikler birleşince, plastiklerin hayatımızda kullanıma girmesi ve hızla yaygınlaşmasını kolaylaştırmıştır [2].

Polimer kompozit malzemelerin yoğunluğunun az olması çok önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu nedenle ağırlığın önemli olduğu bütün sektörlerde, mesela uzay ve otomotiv sanayisinde polimer kompozit malzemeler vazgeçilemez bir tercih olarak günümüzde kullanılmaktadır. Polimer kompozit malzemelerin çeliğin yerine kullanılması ile %60-80, ve alüminyumun yerine kullanılması ile %20-50 oranında ağırlıktan kazanma imkanı sağlamaktadır. Ağırlığın azalmasını yakıt tasarrufu için



önemli bir husus olduğu düşünölen otomotiv sektöründe, 1970'li yılların içinde 900 kg olan ortalama olarak otomotiv ağırlığı günümüzde 700 kg' a düşürölmüştür.

Kompozit malzemelerin üretilmesinde iyileştirilmesi amaçlanan hedefler;

- a. Yorulma dayanımı,
- b. Maliyet,
- c. Kırılma tokluğu,
- d. Korozyon dayanıklılığı,
- e. Yüksek mukavemet,
- f. Termal ve elektriksel özellikler,
- g. Aşınma dayanımı,
- h. Zaman,
- ı. Estetik görünüm'dür [1].

Genel anlamda aşınma, birbirlerine temas ederken hareket halinde olan cisimlerde oluşan, farklı oranda mekanik yüklemeler ile mikroskobik parçacıkların malzeme yüzeyinden ayrılması sonucunda meydana gelen istenilmeyen yüzey değişikliğidir. Aşınma olayı, polimerin aşınmasında kendini yavaş yavaş göstermesine rağmen uzun zamanda önemli malzeme kayıplarına neden olmaktadır. Birbirlerine temas eden parçalar arasında kayma, yuvarlanma, kayma - yuvarlanma meydana gelebilmektedir. Böylelikle sürtünme kinematik ile kayma, yuvarlanma, kayma yuvarlanma sürtünme formunu alır. Birbiri ile sürtünen malzeme yüzeylerinin arasında bir yağlayıcı bulunması bakımından sürtünme durumu kuru, sınır ve sıvı olarak üzere üç şekilde incelenebilir. Kuru sürtünme birbirine temas eden yüzeyler arasında yağlayıcı olmadan yapılan veya direkt olarak iki yüzeyin temas etmesi durumundaki oluşan sürtünmedir. Birbirine temas eden yüzeyler yağlayıcı ile ayrılmış olabilir. Zamanla sürtünme yağlayıcı tabakaları arasında oluşur; bu sürtünmeye sıvı sürtünme adı verilir. Yüzeyler tam olarak ayrılmadığı takdirde, sınır sürtünmesi oluşmaktadır. Aşınma ile bozulan parçaların mukavemeti azalmakta ve kopma, eğilme, kırılma olayı ve kuru ortamlarda birbirine yapışma gibi arzu edilmeyen arızalara sebebiyet verebilmektedir. Aşınma olayının en aza indirilmesi

için, birbirleri ile uyumlu malzemelerin kullanılması deneysel çalışma şartları için oldukça önemlidir. Aşınmanın azalmasını sağlayan bir başka faktör ise sürtünerek çalışan malzemelerin temas ettikleri yüzeylerde yağlama sistemlerinin kullanılmasıdır. Yalnız bazı yağlamanın avantajlı olmadığı durumlarda unutulmamalıdır. Özellikle sürtünme şeklinde çalışan sistemlerde özellikle fren sistemlerinde, birbiriyle temas halinde işlev gören yüzeyler arasına yağın girmesi, bu sistemlerin verimli bir şekilde çalışmasını olumsuz olarak etkilemektedir. Bu nedenle birbirleri ile uyumlu bir şekilde çalışabilecek ve en az aşınacak malzemenin seçiminin yapılması çok büyük önem taşımaktadır [2]. Bu uyumu sağlama için polimerlerin içerisine bir çok katkı maddesi katılmaktadır. Bunlardan birisi de bu çalışmanın konusu olan bor atığıdır. Bor ilaveli polimer kompozit ürünlerin davranışları üzerine birçok araştırmacı ve bilim insanı çok sayıda çalışma yapmışlardır. Bu çalışmalara örnek verilecek olunursa:

Topçuoğlu, Bayram ve Sezgi yaptıkları bilimsel çalışmada [3]; Bor bileşikleri içeren polimer kompozitlerinin hazırlanması ve karakterizasyonu araştırmışlardır. Epoksi, yüksek boyutsal kararlılığa sahip olan termoset polimerdir. Fakat, kırılgenlik, çarpma mukavemetinin düşük olması ve yanıcı olması bu polimerlerin dezavantajlarıdır. Bu özellikler, epoksi polimerinin mekanik mukavemet ve alev geciktirici özellikler gerektiren sahalarda kullanılmasını engellemektedir. Bu çalışmanın amacı, epoksi polimerine esasen bor karbür ( $B_4C$ ) olmak üzere bor içeren bileşikler (BCC) ilave ederek epoksinin mekanik ve alev geciktirici özelliklerini geliştirmek ve hazırlanan bu kompozitlerin mekanik, termal, alev geciktirici, elektriksel özelliklerini ve morfolojilerini karakterize etmektir. %0,5, %1, %3, %5 ve %8 oranlarında bor karbür eklenerek kompozit malzeme üretilmiştir. %3  $B_4C$  içeren epoksi-bazlı kompozitin 44 MPa çekme mukavemeti, 13.4 kJ/m<sup>2</sup> darbe mukavemeti ve %23 LOI'ne (sınırlayıcı oksijen indeksi) sahip olduğu belirlenmiştir. Çalışmadaki bütün kompozitler arasında, EP/10MP/3 $B_4C$  kompozitinin en yüksek yanmayı geciktirici özelliğine sahip olduğu belirlenmiştir.

Celioğlu ve Serhatlı yaptıkları çalışmada [4]; Bor içeren polimetilmetakrilat sentezini yapmışlardır. Bor elementinin yapısından dolayı polimer malzemelere çeşitli fiziksel

ve kimyasal olarak etki ettiği ortaya konmuştur. Özellikle yanmazlığı arttıran termal özelliğinden dolayı bor elementinin polimerler malzemelerde kullanımını arttırmaktadır. Sentezlenen polimerlerin termal özelliklerini incelenmiş, polimerlerin %50 bozunma sıcaklıkları ve 500°C ve 800°C'deki kalan madde miktarları hesaplanmıştır. Karboranmonool başlatıcı kullanımı ile sentezlenen polimerlerin, karborandiol başlatıcısı kullanımı ile sentezlenen polimere göre daha kısa sürede polimerleştiği görülmüştür. Bu ikisi arasındaki termal özellikler karşılaştırıldığında ise karborandiol ile sentezlenen polimerlerin %50 bozunma sıcaklıklarındaki artış gözlenirken karboranmonool ile sentezlenen polimerlerin %50 bozunma sıcaklıklarında ise düşüş görülmüştür.

Cheng ve Jäkle yaptıkları çalışmada [5]; Fonksiyonel nanoyapılı materyaller için çok yönlü yapı taşları olarak bor içeren polimerleri araştırmışlardır. Bu çalışma nanoyapılı materyallerin öncüsü olarak bor içeren polimerlerin ortaya çıkmakta olan son gelişmeleri vurgulamayı amaçlamaktadır. Bor bileşikleri, malzeme bilimi alanında büyük potansiyel fayda sağlayan oldukça ilgi çekici fiziksel ve kimyasal özellikler sergilerler. Özellikle, bor içeren işlevsel grupların benzersiz özellikleri bilim insanlarının; algılama, elektronik cihazlar, kataliz, biyomedikal uygulamalar için yeni nesil malzemeleri geliştirmelerine olanak tanır.

Parab ve Jäkle yaptıkları çalışmada [6]; Bor içeren vinil aromatik polimerlerin sentezi, karakterizasyonu ve uygulamalarını araştırmışlardır. Polistiren bazlı organoboran polimerler bor tribromid ile kolay silikon-bor dönüşüm reaksiyonları ile sentezlenmiştir. Sentezlenen modeller ve polimerler, daha önce sentezlenen bileşiklerle karşılaştırıldığında üstün stabilite göstermiştir. Polistirenin yan zincirinde elektroaktif ferrosenil grupları bulunduran sistemler de sentezlenmiştir. Çalışmalar, bu polimerlerin elektroaktif özelliklerini doğrulamaktadır. Bir kısmı tersinir bor redoks çift ve ferrosen merkezli bir redoks işlemi gözlenmiştir.

Uygunoğlu, Güneş ve Brostow yaptıkları çalışmada [7]; Bor atığı ilaveli polimer kompozit yapının fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Epoksi esaslı reçine ve bor atığı ilavesi ile polimer kompozit üretilmiştir. Bor atığı ağırlıkça %0 ila

%66 oranlarında ilave edilmiştir. Karıştırma sonrasında karışıma çöküntü akışı ve vizkozite testleri yapılmıştır. Kompozitler 24 saat sonrasında kalıplardan çıkarılmıştır. 7 gün daha bekletilip son halini aldıktan sonra numunelere basınç dayanımı, eğilme mukavemeti, aşınma direnci, su emme ve yoğunluk testleri yapılmıştır. Sonuç olarak polimer kompozitin basınç dayanımı, artan bor atığı oranıyla artış göstermiştir. Bununla birlikte numuneler düşük bükülme mukavemeti gösterdiklerinden dolayı daha kırılabilir hale gelmiştir.

Yazıcı ve Çetinkaya yaptıkları çalışmada [8]; Bor sanayinden çıkan katı atıkların kompozit malzemeler içinde değerlendirilmesini araştırmışlardır. Borlu endüstriyel katı atık, kompozit malzemelerin hazırlanması için takviye olarak kullanılabilir. Bu atık bor trioksit içerir ve bu eşsiz özellikler kompozitin yüzeyini veya ara yüzeyini etkileyebilir. Takviye dağılımı ile yeni oluşan kompozitin özellikleri arasında kuvvetli bir ilişki vardır. Bileşiklerin ve bileşenlerin yüzey enerjilerinin dağılımı bileşeni IGC tarafından belirlenir. Bu parametrenin diğer yöntemlerle ölçülmesi zordur ve katı maddelerin ıslanabilirlik ile yapışkan karakterleriyle ilgilidir. Kompozisyon oranlarının takviye oranının etkisi de incelenmiştir. XRD difraktogramları ve kompozitlerin SEM görüntüleri iyi dağılım göstermiştir. Özellikle termal analizde, bor endüstriyel katı atığın polimer içine eklenmesinin saf polimerin termal stabilitesini artırdığını ortaya koymuştur.

Doyle ve Jaffe yaptıkları bilimsel çalışmada [9]; Bor bileşikleriyle dengelenmiş polimer kompozisyonlarını araştırmışlardır. Bu araştırmaya göre stabilizatörler olarak kullanılan bor bileşiklerinin miktarı, polimerin ağırlığı ile %0,01-5 arasında değişebilir. Daha çok tercih edilen, ağırlıkça yaklaşık %0,25 ila %3 arasında değişen miktarlarda kullanılabilir ve ağırlıkça %0,5 ila %1 oranında genellikle uygun olmaktadır. Daha az tercih edilen bileşenlerle, büyük miktarlar normal olarak kullanılır; ancak, daha önce belirtildiği üzere diğer dengeleyiciler ile birlikte kullanıldıklarında miktarlar önemli ölçüde azaltılabilir. Bileşim çok sayıda stabilize ediciyi içerecek olduğunda, dengeleyicilerin toplam miktarı nadiren polimer ağırlığının %5'ini aşar. Bir alfa-monoolefinin homopolimerleri ve alfa-monoolefinlerin birbirleriyle olan karışımlarının kopolimerlerini kapsayan gruptan seçilen normalde katı bir polimer

içeren bir kompozisyon olup, içerisindeki stabilize edici miktarda bir organo-bor bileşiği içerir.

Gerhart ve Williams yaptıkları çalışmada [10]; bor polimerleri incelemiştir. Bu araştırma bor kimyasına ve daha özel olarak yeni bir bor hidrid polimerinin üretilmesi ve bileşimine ilişkindir. Az miktarda bor hidrid polimerinin aksine, ölçülebilen buhar basıncı sergileyen bir hidrojen ile zenginleştirilmiş stabil bor hidrid polimeri üretilmiştir. Bu varyasyonlar ve yapılacak diğer çalışmalar, bu buluşun ruhundan ve kapsamından ayrılmaksızın yapılabilir. Burada trialkilboran fazlalığı sağlandığı, polialkilboran trietilboran içermediği, bor hidridinin BH<sub>3</sub>'yi bozduğu ve reaksiyonun, yaklaşık 0°C arasındaki bir sıcaklıkta gerçekleştirildiği gözlemlenmiştir.

Uslu, Daştan, Altaş, Yaylı, Atakol ve Aksu yaptıkları çalışmada [11]; Elektrospinning tekniği ile üretilen PVA / bor polimerinin hazırlanması ve karakterizasyonunu incelemiştir. Poli (vinil alkol), konsantrasyonlarda değişen konsantrasyonlarda bor ile çapraz bağlanmıştır ve elektrospinning işlemi ile çapları 0.3µ ila 4.0µm arasında değişen harman lifleri elde edilmiştir. Bor katkılı veya katkısız liflerde dikiş eğilimi olmadığı, borik asidin PVA çözeltilerinin miktarı arttıkça polimer iletkenliğinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu veri, polimerik yapıda bor oksidi varlığını ve B-O-C bağının oluşumunu göstermiştir.

Zhang, Evans, Campbell ve Fraser yaptıkları bilimsel çalışmada [12]; Polimer kimyasında borun rolü ve difluoroboron-dibenzoilmetan polilaktidin fotofiziksel özelliklerini araştırmışlardır. Difluoroboron β-diketonat-polimer konjüгатları, çok ışıklı mikroskopi, hücre biyolojisi ve tümör hipoksi görüntülemesi de dahil olmak üzere birçok alanda kullanışlı olağanüstü katı hal lüminesan özelliklerine sahiptir. Bu sistemlerin başarılı bir şekilde uygulanmasına rağmen, bu polimerik malzemelerdeki borun rolü iyice araştırılmamıştır. Burada karşılaştırmak için poli laktik asit (PLA) içindeki dibenzoilmetan kromoforu borsuz bir model sistemidir. Sonuç olarak, borun; polimerizasyonda koruyucu ve emisyon artırıcı olarak iki rol oynadığını ortaya çıkarmaktadır.

Qiu, Zhao, Han, Zhuang, Lin ve Zhang yaptıkları çalışmada [13]; Bor içeren konjuge porlu polimerlerde son gelişmeleri araştırmışlardır. Gözenekli malzemelerin ve geleneksel polimerlerin avantajlarını bütünleştiren gözenekli polimerler, malzeme, kimya ve biyoloji alanlarında çok iyi geliştirilmiş ve büyük ilgi görmüştür. Bunlardan, ayarlanabilir geometrik yapılar, benzersiz Lewis asit bor merkezleri ve yüksek spesifik yüzey, şarj edilebilir iskele, güçlü fotoluminesans ve intramoleküler yük transferi gibi çok zengin fiziksel özelliklere sahip bor içeren konjuge gözenekli polimerler en umut verici kataliz ve algılama vb. işlevsel materyalleri içerir. Ayrıca termal işleminden geçirildiğinde, bazıları enerji depolama ve dönüşümünde iyi bir elektrokimyasal performansa sahip bor katkılı gözenekli karbon malzemelerine etkin bir şekilde dönüştürülebilir, kapsam olarak geniş ölçüde genişletilebilir polimerlerdir.

Kurucu ve Rzayev yaptıkları bilimsel çalışmada [14]; Maleik anhidritin ardışık kopolimerlerinin bor içeren türevlerinin sentezi ve karakterizasyonunu incelemişlerdir. Bilindiği gibi bazı bor içeren aromatik bileşimle bor nötron yakalama tedavisinde özellikle beyin tümörlerinde etkili antitümör ajanı olarak kullanılır. Bunun yanında maleik anhidritin ardışık kopolimerleri biyomedikal uygulamalarda ilaç yada enzim taşıyıcıları olarak; kimyasal tedavide antitümör ajanlar olarak kullanılır. Sentezlenen bor içeren kopolimerlerin ve türevlerinin yapıları, kompozisyonları ve özellikleri spektroskopi analizleri, viskometri, ısısız analizi, X-ışını difraktogramı, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve Floresan mikroskobu metodlarıyla karakterize edilmiştir. Bor içeren türevlerinin yarı-kristalite yapıya, yüksek ısısız özelliklere, polielektrolit davranışlara ve daha iyi dağılımlı yüzey morfolojisine sahip oldukları görülmüştür. Sentezlenmiş bor içeren kopolimerler ve kolayca suda çözünen özellikteki türevleri; polielektrolit özelliği, sıcaklık duyarlılığı ve nisbeten daha düşük toksisite gösterir. Böylece bu kopolimerler biyomühendislik polimer sistemleri alanında önemli bir malzeme olarak değerlendirilebilir.

Oruç, Sabah ve Erkan yaptıkları çalışmada [15]; Bor atıklarının kazanılmasına yönelik son 10 yılda Türkiye’de yapılan literatüre geçmiş araştırmaları incelemişlerdir. Bu çalışma sonucunda, bor atıklarının, seramik imalatında, sır

üretimi, çini hamuru ve döküm çamuru oluşturulması, yer ve duvar karosu imalatında, yapı sektörü için çimento ve tuğla imalatında; cam, emaye ve silika refrakterler için, hammadde veya ilave katkı maddesi olarak kullanılabilirdiği belirlenmiştir ve bor atıklarının kazanılması ile ilgili bilimsel çalışmaların en çok seramik sektöründe yoğunlaştığı, onu tuğla ve çimento imalatı çalışmalarının izlediği saptanmıştır. Yapılan bu çalışmalarda bor atıklarından yeni bir ürün elde etmenin yanında, katkı maddesi olarak kullanılmasının mevcut olan malzemelerin veya ürünlerin fiziksel ve fiziko-mekanik özellikleri üzerindeki etkisine odaklanması dikkat çeken diğer bir husustur. Bu çalışmanın, bor atıklarının farklı sektörlerde değerlendirilmesi ve ekonomiye kazandırılması için bundan sonra gerçekleştirilecek çalışmalara yön vermesi ümit edilmektedir.

Yadav ve Satapathy yaptıkları bilimsel çalışmada [16]; Bor nitrid (BN) dolgulu epoksi kompozitlerinin termik özelliklerini incelemişlerdir. Bor nitrid (BN) içeriği %0 ila %11,3 hacim arasında olan bu kompozitler hazırlanmış ve numunelerin termal iletkenlikleri deneysel olarak ölçülmüştür. Mikro- Bor nitrid (BN) ile doldurulmuş epoksi matris içerisindeki ısı aktarım sürecini incelemek için ANSYS sonlu elemanlar paketini kullanarak sayısal bir simülasyon yapılmıştır. Bu yöntemle elde edilen etkin ısı iletkenlik değerleri, deney sonuçları ve teorik korelasyon ile doğrulanmıştır. Epoksi matrisinde mikro- Bor nitrid (BN)'nin %11,3 hacminde ısı iletkenlikteki artış yaklaşık %27,82 iken, ısı iletkenliğinin %30'unda %440 civarında arttığı ve bu oran epoksi epoksi rejimine göre oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Sonuçlar, Bor nitrid (BN) parçacıklarının %20 hacimde bir sızdırmazlık davranışı gösterdiğini ve ısı iletkenliğinde ani bir sıçramanın meydana geldiğini göstermektedir.

Singla ve Chawla yaptıkları çalışmada [17]; Epoksi reçine-uçucu kül kompozitinin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Yolcu gemilerine nazaran özellikle savaş gemilerinde yapısal malzeme olarak cam elyaf takviyeli kompozitlerin kullanımında önemli artış olmuştur. Deniz mayınları patlatıldığında sualtı şok dalgaları yayar, bu da gemi yapısına çok ciddi olumsuz etki yapabilir. Cam elyafına epoksi reçine ile uçucu kül takviyeleri ile kompozit numune üretilmiştir. Numune boyutları

10x10x10mm şeklinde küptür. Kompozitin kırılma davranışı SEM kullanılarak incelenmiştir. SEM analizi, uçucu kül parçacıklarının matriks, reçine uçucu kül arayüzü, cam elyaf matriks arayüzü, cam elyaf dağıtımını vb. dağılımını gözlemlemek için yapılır.

Gu, Wu ve Zhang yaptıkları bilimsel çalışmada [18]; Uçucu kül dolu epoksi kompozitlerin hazırlanması ve sönümlenmesini araştırmışlardır. Gelecek vaat eden düşük yoğunluklu epoksi/uçucu kül kompozitlerinin yüksek sönümlenme özelliklerini karakterize etmek amacıyla bu çalışmada farklı hacim fraksiyonundaki uçucu küllerle dolu bir dizi epoksi kompozitleri hazırlanmıştır. Sertleşmiş epoksi kompozitlerin sönüm testleri, gerilme sıkıştırma modunu kullanarak -40 ila 150°C sıcaklık aralığında ve 10 ila 800 Hz frekans aralığında gerçekleştirilir. Sonuçlar, teget delta ( $\tan\delta$ ) değerlerinin 30-50 vol'lü kompozitlerin cam geçiş sıcaklıklarında zirve değerlerine ulaştığını göstermektedir. % uçucu kül ve bronz  $\delta$  değerleri sıklığın artmasıyla yavaşlar; bu durum bu kompozitlerin sönümlenme özelliklerinin diğer kompozitlerinkinden daha iyi olduğunu gösterir. Taramalı elektron mikroskobu, kompozitlerin kırık yüzeylerini gözlemlemek ve uçucu kül parçacıklarının matriste dağılımını ve dağılımını netleştirmek için kullanılır. Buna ek olarak, termogravimetrik eğriler, kompozitlerin ısıya dayanıklı performansını karakterize etmek için de kullanılır.

Sonuç olarak, Polipropilen malzemenin endüstriyel kullanımının daha da yaygınlaşması açısından bor esaslı katkılar çok büyük önem arz etmektedir. Bu kapsamda yapılan çalışmalar incelendiğinde, Bor atığının polipropilen malzeme içerisinde katkı malzemesi olarak kullanılması ile ilgili herhangi bir çalışma olmamakla birlikte, genellikle epoksi polimeri içerisinde kullanıldığı görülmüştür. Buna ilaveten; yapılan çalışmaların genellikle kimyasal sentez ve karakterizasyon çalışmaları olduğu, mekanik ve tribolojik inceleme alanında çalışmaların çok fazla bulunmadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle, literatürdeki belirtilen eksikliklerin giderilmesi için bu çalışma yapılmıştır.



## BÖLÜM 2. DENEYDE KULLANILAN MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ

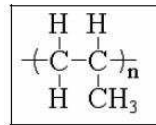
### 2.1. Polipropilen (PP)

Polipropilen malzeme 1954 senesinde NATTA tarafından tespit edilmiştir. Polipropilen, gaz halinde olan propilen monomerinin katılma polimerizasyonu sonucunda elde edilmektedir. 150 den daha fazla polipropilen çeşidi mevcuttur. Bu kadar fazla çeşitte polipropilen üretimi polipropilen malzemenin kullanım alanlarının gelişimini de sağlamıştır [1].

### 2.2. Polipropilenin Tanımı Ve Üretimi

Polipropilen polimeri (PP), Ziegler - Natta katalizörlerin kullanımı ile propilen monomerinin polimerleşmesi ile oluşan yarı-kristal termoplastiktir [19]. Yarı şeffaf, beyaz renkte ve oda sıcaklık ortamında katı haldedir. Ergime sıcaklığı yaklaşık olarak 165°C civarındadır. İlavesiz polipropilenin yoğunluğu 0,90 ile 0,91gr/cm<sup>3</sup> arasında iken bu oran, matrisin ilave madde içerip içermemesine göre değişiklik gösterebilir. Örnek verilecek olunursa, %30 cam fiber katkısı içeren polipropilenin yoğunluk değeri 1,125gr/cm<sup>3</sup>'tür. Polipropilen, genel olarak kullanılan ticari maksatlı termoplastiklerin en çok kullanılanıdır ve çoğu zaman düşük maliyetli mühendislik polimeri olarak isimlendirilir [20].

### 2.3. Polipropilen Polimer Malzemenin Yapı Ve Özellikleri



Şekil 2.1. Polipropilen monomerinin şematik olarak gösterimi

Polipropilen polimer malzemenin temel olarak özellikleri aşağıdaki gibidir [21].

- a. Düşük yoğunluk değeri,
- b. Kimyasallara karşı yüksek mukavemet değeri,
- c. İyi elektriksel yalıtım özelliği,
- d. Yüksek mekanik mukavemet değeri,
- e. Düşük nem alma özelliği,
- f. Ekonomik fiyat değeri,
- g. Kolay işlenme özelliği.

Polipropilen polimer malzemenin dezavantajları ise aşağıda sıralanmıştır [21].

- a. Yanmaya eğilim özelliği,
- b. Düşük sıcaklık kırılma özelliği,
- c. Orta düzeyde rijitlik yapısı,
- d. Düşük ultraviyole dayanımı özelliği,
- e. Kötü optik özelliği,
- f. Düşük ergiyik dayanım özelliği.

Kimyasal olarak yapısı : Polar yapıda olmaması nedeniyle polipropilen birçok çözücüye ve kimyasallara yüksek direnç özelliğine sahiptir. Organik kimyasallara karşı dirençte en etkili termoplastiktir. Polipropilen, inorganik ortamlara da aşırı miktarda dirençlidir. 60°C'ye kadar, çoğu çözücüye karşı direnç özelliği vardır ama aromatik ve halojenleştirilmiş hidrokarbonlar, yapısında şişmeye sebebiyet verebilir [22]. Asitli ve bazlı ortam şartlarına, tuz solüsyonuna, alkole, petrole, çeşitli meyve sularına ve birçok yağa karşı dirençlidir. Polipropilen polimer malzemelerinin yüksek kristallenme özelliği sayesinde kimyasal direnci fazladır. Homopolimer Polipropilen ,random kopolimere istinaden daha çok kimyasal dirence sahiptir [22].

Morfolojisi: Homopolimer polipropilen, kristallenme olabilen izotaktik kısım ve kristallenme olmayan ataktik kısımlardan meydana gelen amorf ve kristalin fazlarından üretilir. Ekstrude edilmiş polipropilende kristallenme düzeyi ortalama

olarak %60-70 arasındadır. İzotaktik polipropilen malzeme 4 farklı çeşit kristal yapıdan meydana gelir: monoklinik ( $\alpha$ ) - hekzagonal ( $\beta$ ) ile triklinik ( $\gamma$ ) ve smectic [23]. Bu fazların meydana gelişi kristalizasyon ortam şartlarına ve ilave edilen katkılara bağlıdır. Alfa - monoklinik faz, ortalama 160°C ergime derecesi ile baskın durumda olan kristal formdur [24]. Beta veya hekzagonal fazın kararlılığı daha azdır. Bu fazı içinde bulunduran polipropilen'nin ergime noktası 145 °C'dir.  $\beta$  kristallerinin seviyesi, enjeksiyon kalıplı malzemelerde %5'ten daha düşüktür [25]. Triklinik ( $\gamma$ ) fazı ise metil ve etilen'e benzer küçük zincirli grupların hareketi sebebiyle meydana gelir [26].

Sertliği: Sıcaklığın artması ile polipropilenin sertliği düşmektedir. Polipropilen'nin sertliği de kristallenmeye bağımlı olarak da değişiklik gözlemlenmiştir. Moleküler ağırlığın düşmesi ile kristallenme oranı düşer ve buna bağlantılı olarak sertlik de düşer [22]. Sertlik değerleri, ilave malzemesinin şekline ve yükleme miktarına göre değişiklik göstermektedir. Cam fiber ilaveli polipropilen'in sertliği saf polipropilene göre daha yüksek olmaktadır.

Optik olarak özellikleri: Polipropilen granülleri doğal ve yarı-saydamdır. Polipropilen malzemenin özellikleri; kırıcı indeksi, optiklik özellikleri, saydamlık, pusluluk ve parlaklık olarak incelenebilir [22].

Termal olarak özellikleri: Plastikler metallere göre sıcaklıktaki değişimlere daha hassastırlar. Polimer malzemelerin termal özellikleri, soğuk ve sıcak uygulama alanlarını, darbe dayanım özelliklerini ve proses özelliklerini belirler [22]. Polipropilenin karakterizasyonu belirlemede en çok kullanılan yol diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC)'dir. DSC deney testinde, değişik ısıtma ve soğutma değişkenlerinde artan veya azalan sıcaklığın aracı olarak termal geçişler ölçülür [25]. Polipropilen homopolimer malzemelerinin ergime sıcaklığı yaklaşık olarak 165 °C ve random kopolimer polipropilen'nin ergime sıcaklığı ortalama 145°C'dir. DSC ile tespit edilebilecek başka önemli bir geçiş sıcaklığı ise camsı geçiş sıcaklığıdır. Bu geçiş sıcaklık değeri, sıvıdan kauçuğumsu hale geçişteki amorf malzemedeki sıcaklıktır [25]. Amorf, - ataktik ve izotaktik PP'nin camsı geçiş sıcaklık miktarı -

6°C/-18°C arasında seyretmektedir [27]. Polipropilen ergimiş halden soğutma aşamasına geçerken kristalizasyon oluşmakta ve kristalizasyon sıcaklık miktarı 115-135 °C arasında değişmektedir. Düşük kristallik sebebiyle polipropilen kopolimerler, homopolimer polipropilen ile kıyaslandığında daha düşük ergime sıcaklık miktarına sahiptirler [22].

Kullanıldığı sıcaklık: Polipropilen polimeri ticari termoplastikler ve bazı mühendislik plastik malzemelerinden oldukça yüksek kullanım sıcaklık özelliğine sahiptir. Polipropilen malzemenin kullanım ömrünü, kullanım sıcaklık miktarındaki 10°C'lik yükseliş veya düşüş çok önemli oranda değiştirmektedir. 100°C'de 100.000 saat kullanım süresi varken, 110°C'de 10.000 saat kullanım süresi, 90 °C'de ise 1.000.000 saat kullanım süresi vardır. Polipropilenin çok kısa zamanlı uygulamalarda genel olarak kullanım sıcaklığı ise 140°C'dir [22].

Mekanik olarak özellikleri: Polipropilen polimer malzemesinin mekaniksel olarak özellikleri moleküler ağırlık özelliğinden oldukça fazla etkilenmektedir. Artış gösteren moleküler ağırlık miktarı, çekme dayanımı değerinde ve sertlik değerinde azalma durumuna neden olur iken darbe dayanımı değerini de artırır. Aynı ergiyik akışı miktarı veya moleküler ağırlık değerine sahip polipropilen çeşitleri arasında, random - blok kopolimerlerin mekaniksel davranış özellikleri homopolimer malzemedan daha düşüktür [22]. Polipropilen'in eğme modül değeri ve çekme dayanımı değeri AYPE ve YYPE haricindeki polimerlerden daha düşüktür. Polipropilen malzemenin yüksek değerde eğme modülü/maliyet oranı özelliğinin olması, düşük maliyet açısından birçok mühendislik polimerinin yerine tercih edilmesini sağlar.

Polipropilen zamana bağlı plastik davranış şekli gösteren bir malzemedir ve mekanik davranışları, süreye, sıcaklık miktarına, uygulanan gerilimin düzeyine - tipine ve test hız değerine bağlıdır. Kullanım sıcaklığı artış gösterdiğinde polipropilen daha sünek duruma gelir. Dayanım ve elastiklik modül değeri, uygulanan yük ile zamanla azalma gösterir. Artan sıcaklık değeri ile modüler azalma göstermektedir [22].

Polipropilen polimerinin darbe dayanım değeri ise moleküler yapısına ve işlem şartları sonucunda meydana gelen yapıya bağlıdır. Darbe dayanım değeri, moleküler ağırlık miktarı ve komonomer içerik özelliği ile önemli oranda artış gösterir. Polipropilen malzemenin darbe dayanım değerini geliştirmenin en önemli methotlarından birisi kauçuk fazının yapıya eklenmesidir. Kauçuk içeriğinin artış göstermesi ile beraber tokluk artar ve azalan sıcaklık değerinde sünek kırılma durumu yerine gevrek kırılma durumu meydana gelir [22]. Polipropilen kopolimer, düşük sıcaklık değerlerinde dahi homopolimere istinaden daha çok darbe dayanımı özelliği gösterir. Elastomer modifiye yapıli polipropilen, 0°C'nin altındaki sıcaklık değerinde yüksek çentikli darbe dayanımı özelliği gösterir [22].

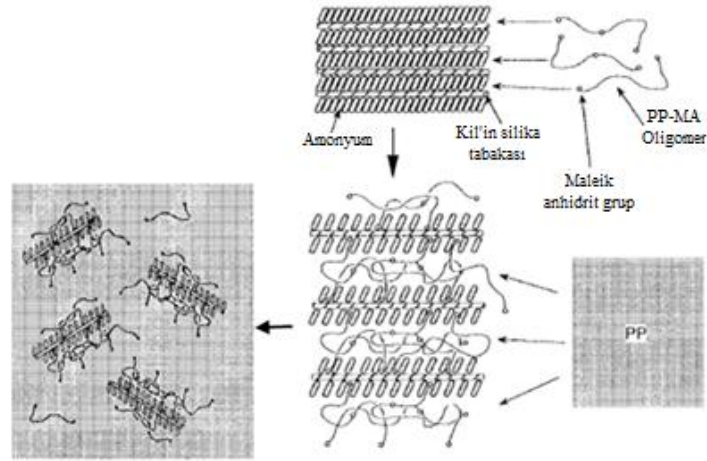
#### **2.4. Polipropilen Malzemenin Uygulama Alanları**

Polipropilen malzeme genellikle, ambalaj, otomobil yedek parçası, ev aletleri, ev eşyası, kablo ve tel yüzey kaplamalarında, gıda ambalajlarında, zemin kaplama ve laminasyon maddesi olarak, halı ve yer döşemesi imalatında, halat ile çuval lifi üretiminde, akü koruma kabı üretiminde, meşrubat şişelerinin konulduğu kasalarda, laboratuvar donanımı imalatında, oyuncak imalatında, radyatörlerde, sentetik çim imlatında, plastik boru imlatında, optik ve elektrik eşyaların üretiminde, profiller, levhalar, halılar, keçeler, paspaslar ve ilaç ambalajı sanayilerinde kullanılır [1]. Üreticiler genel olarak birçok parçada araç ağırlığını düşürmek amacı ile metal gibi ağır malzemeler yerine daha hafif ağırlığa sahip olan plastikleri kullanmayı yeğlemektedirler. Şu andaki otomobillerde kullanılan plastiklerin geneli polipropilen polimer malzemededen imal edilmektedir. Otomobillerin iç aksamları ve birçok dış aksamda tamamen polipropilen'den veya polipropilen bileşimlerinden imal edilmektedir. İç aksamda, kapı, panel ve konsollar polipropilen malzemededen imal edilmektedir. Polipropilen, otomobil dış aksamlarında da kullanılan önemli bir malzeme haline dönüşmüştür. Tasarlanan araba tampon parçaları, termoplastik olefinden (TPO) kalıba alınmaktadırlar. Kaput altı olarak isimlendirilen bölümlerde, akü yerleşim yeri, ısıtma ve klima borularının malzemeleri de polipropilen polimer malzemededen imal edilmektedir. Birçok vantilatör pervanesi ise talk katkıli polipropilenden imal edilmektedir [20].

## 2.5. Uyumluluk Ajanı (PP-g-Ma)

Polimer/kil karışımının davranış özellikleri, polimer matrisinin içindeki kilin tabaka halinde dizilmesine ve tabakaların dağılım miktarına bağlıdır. Polimer matris yapı ile kil tabakasının karışımı, polimer matris yapı ile kil arasındaki uyumsuz durum ve kil tabakasının sıkıca paketlenmiş olması sebebiyle oldukça zordur [28]. Polimer nanokompozitlerin imalatında, hidrofilik kil tabakası ile organik olan polimer zinciri arasındaki uyumsuz durumu engelleyebilmek ve dolgu malzeme (kil) ile polimer ara yüzey ilişkisini arttırabilmek için, bileşenler arası yüzeylerde uyumluluğu düzenleyecek katkı malzemelerinin kullanılması gerekebilmektedir. Bundan dolayı özellikle poliolefine banzer apolar yapılı ve ana zincir üstünde bir reaktif grup muhteva etmeyen polimer nanokompozitlerin imlatında, ana matris yapısına benzeyen ve uyumlaştırıcı malzeme (coMPatibilizer) olarak adlandırılan bu polar/reaktif polimer veya bileşiklerin kullanılması zorunlu olmaktadır [29]. Uyumlaştırıcı malzeme olarak oligo (PP-g-MA)'nın kullanıldığı bir çalışmada, oligomer zincir yapılarının organik silikat tabaka yapılarına etki ettiği ve ayrılmış tabaka olarak PP/silikat nanokompozit elde edildiği tespit edilmiştir [30]. Yine bu çalışmada nanokompozit numune mazlemeler, PP-g-MA granülleri ile toz halindeki organo-MMT, 200°C sıcaklıkta çift vidalı ekstrüder yapıda eriyik fazda karıştırılarak elde edilmiştir. Nanokompozit yapısının var olduğu X-ışını difraktometresi - TEM analizi ile tespit edilmiştir. Şekil 2.2'de, PP-g-MA matris yapının içinde organik silikat tabaka yapılarının birbirinden ayrılması durumunun şematik olarak gösterimi verilmiştir. Karıştırma işleminin ilk aşamasında, yalnızca PP-g-MA, silika tabakalarının arasına girmektedir. Maleik-anhidrit grup (maleik anhidrit grubun hidrolizinden imal edilen COOH) ve silika tabaka yapılarının oksijen elementi arasında oluşan kuvvetli hidrojen bağının eklenmesi (intercalation) amacı ile itici bir güç uygulamaktadır. Bu sayede, kil yapının tabakalar arası yüzölçümü ve tabakaların birbirleri ile etkileşim yapması zayıflamaktadır. Polipropilen malzeme ve kil arasında etkileşim için kuvvetli bir kayma alanı olması gerekir [31]. Yapılan başka deneylerde de, maleik anhidrit graftlı yapılı poliolefin uyumlaştırıcıların, poliolefin-kil nanokompozit yapılarında, kil ile polimer arayüzey ilişkisini arttırdıkları ve arayüzey ilişkisini engellemeye çalışan kuvvetlerin, maleik anhidrit grup yapıları ve kil

yüzeylerindeki oksijen elementi grupları arasındaki kuvvetli hidrojen bağları olduğu tespit edilmiştir [31]. Gerçekleşen bu durum, kil tabakalarının hidrofobik polipropilen içinde dağılım göstererek intercalated veya exfoliated yapının oluşmasını sağlamaktadır.



Şekil 2. 2. Matris yapı içerisinde PP-g-MA ilave edilmesi ile organik silikat tabakalı yapılarının birbirinden ayrılma işleminin şematik olarak gösterimi [32].

### 2.5.1. Uyumluluk ajanlarının özellikleri

Poliolenin nanokompozitlerin imlatında, en yaygın kullanılan uyumlaştırıcı malzemeler maleikanhidrit graft edilmiş poliolefinlerdir (PE-g-MA ile PP-g-MA) [33]. Yaygın olarak, maleik anhidrit yapının, eriyik fazında ve radikal olarak başlatıcılar (peroksit bileşik, dikünil peroksit-DCP bileşik ve hidrojen peroksit-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> bileşik gibi) ile poliolefin zincirine graft edilmesi sonucu elde edilmektedirler. Uygulanan işlem şartları ve kullanılan kimyasal malzemelere bağımlı olarak maleik anhidritin yapı poliolefin zincirine graft yüzdelik oranı, ağırlık olarak %0,5 ile %4,5 değerler arasında değişim göstermektedir [29]. Polimer ve kil'den meydana gelen nanokompozitlerin oluşturulmasında uyumlaştırıcı olarak kullanılan maddelerin kimyasal yapısı, fiziksel özellikleri ve nanokompozit bileşimindeki oranları, oluşan nanokompozit malzemelerin özellikleri üzerinde direkt olarak etkilidir.

Lopez ile arkadaşları [23], polipropilen ve kil nanokompozit malzemeler için iki değişik uyumlaştırıcı ve iki değişik kil kullanarak, uyumlaştırıcıların kil dağılımı

üzerindeki etkisini çalışmışlardır. Uyumlaştırıcı malzeme olarak dietil-maleat (DEM) ve maleik-anhidrid (MAH), kil olarak da organofilik montmorilonit (130 TC) ticari ürünü ve oktadekilamonyum iyonları ile değiştirilerek oluşturulan montmorilonit (BC18) kullanımı sağlanarak polipropilen–kil nanokompozitler oluşturulmuştur. MAH'ın uyumlaştırıcı madde olarak kullanımının sağlandığı iki farklı türde kil ile hazırlanan nanokompozitlerin (a,b) dağılmış yapı sergilediği fakat DEM kullanımının sağlandığı nanokompozitlerin ise (c,d) sıralı ve taktoid içeriğe daha yakın yapı oluşturduğu tespit edilmiştir. Uygulanan deneylerde DEM'in MAH'a göre elinde tuttuğu düşük polariteden dolayı daha düşük etki yaptığı ve maleik anhidrit yapının daha uygun bir uyumlaştırıcı olduğu belirtilmiştir.

Lertwimolnun ile arkadaşları [34], maleik anhidrid ile aşılı polipropilen malzemenin (PP-g-MA) uyumlaştırıcı etki göstermesi için kullanıldığı polipropilen-organokil nanokompozitler üzerine yaptıkları deneyde kil dağılım oranının etkisini araştırmışlardır. Kil konsantrasyon oranı %5 iken ve ağırlıkça %1 maleik anhidrit bulduran PP-g-MA konsantrasyonu %0 ile 40 arasında değişim gösterdiğinde kil tabaka yapıları arasındaki boşluğun 2,51 nm olduğu, uyumlaştırıcı kullanılmadan üretilen polipropilen nanokompozitlerde ise kil tabaka yapıları arasındaki boşluk miktarının 2,56 nm olduğu gözlemlenmiştir. Ağırlık olarak %5 uyumlaştırıcı ilave edildiğinde ise kil tabakaları arasındaki uzunluğunun 2,83 nm, ağırlık olarak %15 uyumlaştırıcı madde kullanıldığında mesafenin 3.11 nm'ye çıktığı görülürken, %25 ve üzeri uyumlaştırıcı kullanıldığında kil tabaka yapıları daha çok dağılmış bir yapıya dönüştüğünden, boşluk miktarları kararlaştırılamamıştır. Polimer ve kil tabaka yapıları arasındaki ilişkiyi artırmanın başka bir yolu da kil'in kimyasal bir şekilde modifiye edilmesidir [28]. Kil, hidrofilik olduğundan dolayı birçok polimer malzeme ile uyumlu değildir. Bundan dolayı kil yüzeylerini hidrofobik şekle getirmek için kimyasal bir şekilde modifiye etmek gereklidir. En çok kullanılan yüzey işlem çeşidi, kısa zincirli yapıları organik amonyum katyonlar kullanılarak oluşturulan iyon değişimidir. En fazla kullanılan katyonlar ise, alkali amonyum katyonu veya alkali fosfat'tır. Organik katyonlar, iyon değişimi ile kil yüzey yapılarını negatif şarj ederek ıslatmanın artmasına ve polimer ile kil arasındaki ara yüzey geriliminin düşmesine neden olmaktadır. Bu hal, tabakalar arası boşlukların



(basal spacing) artmasına sebep olmakta ve yapı içinde kil dağılımının daha kolay meydana gelmesine katkı sağlamaktadır [35]. PP, poliolefin polimerler içinde en yaygın olarak kullanılan polimer çeşididir. Ancak, hidrofobik polipropilenin zincir yapısında hiçbir bir polar grup içermemesi, kil malzeme ile kullanılmasını ve polipropilen matris yapıda silika tabakalarının dağılımını olumsuz yönde etkilemektedir. Polar grup içeren uyumlaştırıcılar, güçlü hidrojen bağları ile kil tabaka yapıları arasına yerleşebilir. Bu işlem, kil'in tabakalar arası uzaklığını artırmakla beraber tabakalar arasındaki iletişimi zayıflatmaktadır [30].

## **2.6. Bor Minerali**

### **2.6.1. Bor mineralinin keşfi**

Bor isminin Arapça Buraq yada Farsça Burah adından geldiği belirlenmiştir. İlk olarak Bor'u, babilliler altın imal etmek için kullanmışlardır. Bunun gerçekleşmesi için, Tibet gölünün sığ taraflarından çıkarılarak Himalayalar üstünden Hindistan'a ve sonra Mezopotamya'ya kadar yollar izlenerek ithal edilen Boraks'dan faydalanılmıştır. Eski Yunan ve Romalılar Bor madenini temizlik maddesi olarak kullanmışlardır ve etkili olduğunu da görmüşlerdir. 1875 senesinde ilaç niyetine Arap doktorlar tarafından çok miktarda kullanılmıştır. Borik asit 18. Yüzyıla girişte bulunmuş ve yine aynı yüzyılın başında Güney Amerika'da And Dağları'nda tespit edilmiştir. 19. Yüzyıla girişte ise element olarak Bor madeni bulunmuştur [36].

#### **2.6.1.1. Bor mineralinin özellikleri**

Kimyasal gösterilişi "B" olan Bor maddesinin, ergime noktası 2190°C olan, metal ile ametal arasında kalmış, yarı iletken özellikte olan bir elementtir. Toprak içinde Bor içeriği ortalama olarak 10 – 20 ppm olmakla birlikte ABD'nin batı bölgelerinde ve Akdeniz'den başlayarak Kazakistan'a kadar giden bir arazide daha yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu tespit edilmiştir. Deniz suyunda ortalama 0,5 – 9,6 ppm, tatlı sularda ise ortalama 0,01 – 1,5 ppm aralığında mevcuttur. Çok büyük ekonomik önemi bulunan Bor yatakları, Türkiye'nin ve ABD'nin kurak bölgelerinde,

volkanik ve hidrotermal özelliğın çok olduğu bölgelerinde bol miktarda bulunmaktadır [37]. Doğa ortamında Bor maddesi saf halde bulunmamaktadır. Fakat diğer elementler ile oluşturduğu bileşikler halinde karşımıza çıkmaktadır. Bor mineralleri, buharlaşma olayının yüksek olduğu bölgelerdeki sulardan kimyasal çökeltme yöntemiyle meydana gelen evaporitler sınıfına dahil olurlar [38]. Türkiye’de bulunan ekonomik mineraller iç yapılarındaki Kalsiyum - Sodyum ve Magnezyum’a göre sınıflandırılır. Sodyum’a benzer olanlar Tinkal, Kalsiyum elementi kökeni olanlar Kolemanit, Sodyum ve Kalsiyum kökenli bulunanlar ise Üleksit olarak adlandırılmaktadırlar. Doğada bulunan bor içerikli 150 den fazla mineral mevcuttur.

Boraks ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) (Tinkal) ; Doğada renksiz ve saydam olarak mevcuttur. Fakat içindeki bazı maddeler sebebi ile pembe , sarımsı bir de gri renkte de olabilir. Kristal olarak sistemi Monoklin’dir, sertlik derecesi 2- 2,5 ve özgül ağırlığı 1,7  $\text{gr}/\text{cm}^3$ ’dir,  $\text{B}_2\text{O}_3$  içeriği ise % 36,6 dır. Borik asit üretiminde kullanılır. Evaporasyonun fazla olduğu kurak veya yarıkurak alanlardaki tuzlu göllerde bulunur. Boraks suyunu bırakarak çok kolay olarak Tinkalkonit elementine dönüşebilir. Kil ile aratabakalı Tinkalkonit ve Üleksit ile birlikte mevcuttur. Türkiye’de Eskişehir-Kırka yataklarından çıkarılmaktadır.

Kernit ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) (Razorit) ; Doğada renksiz ve saydam, uzunlama olarak iğne şeklinde olan küme kristaller halinde mevcuttur. Sertlik derecesi 3, özgül ağırlık derecesi 1,95  $\text{gr}/\text{cm}^3$  ve  $\text{B}_2\text{O}_3$  içeriği ise %51’dir. Soğuk suda az olarak çözünür. Eskişehir’in Kırka beldesinde Na-Borat kütesinin alt seviyelerinde yer alır. Türkiye dışında ise Arjantin ve A.B.D.’de mevcuttur.

Üleksit ( $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ); Doğada masif şeklinde, yumru şeklinde, lifsi veya sütun şeklinde mevcuttur. Katkısız yani saf olanı, beyaz renkte olup ipek parlaklığında bulunur. Kristal olarak sistem şekli Triklin, sertlik derecesi 2,5 (agregatlar şeklinde olduğu zaman 15 sertlik derecesi 1’e kadar düşebilir) Genel olarak Kolemanit - Hidroboraksit ve Probertit elementleri ile birlikte bulunur.  $\text{B}_2\text{O}_3$  içeriği ise % 43’ tür.

Boraks yataklarında jeodlar içerisinde de bulunur. Türkiye’de Kırka, Bigadiç ve Emet bölgelerinde, Türkiye dışında ise sadece Arjantin’de görülmektedir.

Probertit ( $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ); Kirli beyaz veya açık sarımsı renktedir. Işımsal ve lifsi Şekile sahip kristaller halinde görülür. Kristal büyüklükleri 5 mm ile 50 mm arasındadır.  $\text{B}_2\text{O}_3$  içeriği ise %49,6’dır. Ülkemiz’de Kestelek bölgelerinde ve Emet bölgesinde görülür.

Kolemanit ( $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ); Monoklinik olarak kristalleşir. Sertlik derecesi 4-4,5 aralığında, özgül ağırlık derecesi ise 2,42’dir.  $\text{B}_2\text{O}_3$  içerik oranı %50,8’dir. Suyun içinde yavaş, Hidroklorik asitin içinde hızlı bir Şekilde çözünür. Bor bileşikleri içerisinde en fazla kullanılanıdır. Meydana gelişinde termal kaynakların etkisi de mevcuttur. Ülkemiz’de Emet ve Bigadiç ve bir de Kestelek’de, ülkemiz dışında ise Şili ,ABD ,Kazakistan ve Arjantin’de görülmektedir.

Pandermit (Priseit) ( $\text{Ca}_4\text{B}_{10}\text{O}_{19} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ); Termal su kaynaklarının etrafında bulunmaktadır.Çoğunluk olarak Kil ve Jips’le beraber görülür. Beyaz renkte ve 3-3,5 sertik derecesine sahip bir mineral olup Türkiye’de; Sultançayırı ve Bigadiç bölgelerinde tespit edilmiştir.  $\text{B}_2\text{O}_3$  içerik oranı %49,8’dir.

Hidroborasit ( $\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ); Işımsal ve iğne şeklinde kristal olarak görülür. Lifsi bir yapıya sahiptir.  $\text{B}_2\text{O}_3$  içerik oranı %50,5’tir. Beyaz renkli olmasına rağmen arsenik ihtiva ettiğinde sarı ve kırmızımsı renkli de görülür. Üleksit, Kolemanit ve Probertit ile beraber bulunur. Türkiye’de en çok Emet-Doğanlar-İğdeköy ve Kestelek yörelerinde bulunmaktadır [35].

#### **2.6.1.2. Bor mineral atığının özellikleri**

Madencilik çalışmaları esnasında ortaya çıkan atık madde miktarlarının giderek artması; depolanacak yer, doğanın tahrip olması, atıkların korunması ve emniyetinin sağlanması, toprak, hava ve su kirliliği, temizlenme çalışmaları gibi temel çevre problemlerine neden olmaktadır. [39]. Amerika'daki bor madeni işletmesinde doğaya

zarar verilmemesi için elzem tedbirlerin alınması en başta gelen konulardan biridir [40]. Madencilik sektörümüzün gelişimini ve büyüme eğilimini etkileyen en baştaki problemlerden birisi atıkların doğaya verdikleri zararlar olmaktadır. Atıkların atılması işleminin istenilen standartlarda olması için yönergeler ve ilgili kanunlar ile birtakım sınırlamalar getirilmiştir. Atıkların atılması işleminde, doğa ve çevre ile ilişkili olarak oluşturulan bu kurallara uyum gereklidir [39]. Maden cevheri zenginleştirme firmalarından çıkan atıklar genel olarak ince taneli katı veya pülp şeklindedir. Çevre ve doğa bilinci olmadan önce bu oluşan atık maddeler maden alanlarının hemen yanındaki meydanlara, barajlara, denize, göllere veya akarsulara atılmaktaydı. Artık günümüz dünyasında maden tesislerindeki atıklardan faydalanmak veya fakat bu da uygun değilse uygun bir şekilde yok etme yolu izlenmektedir. Gelişmiş olan ülkeler başı çekmek üzere, Dünya'daki birçok araştırmacı ve işletmeci bu konuda yoğun araştırmalar yapmaktadır. Sarf edilen bu çabalar en çok yapı sektörüne malzeme imalatına, seramik ve cam imalatına malzeme olarak hazırlamaya yöneliktir. Teknolojinin gelişmesine bağlı olarak bazı yeni yöntem ve teçhizatların geliştirilmesiyle cevherlerin tenörleri ekonomik olarak aşağılara inmekte, artık malzeme durumundaki bir çok birikmiş atıkta bu sebeple değerlendirilmektedir. Bununla beraber maden atıklarının imhasında gelecekte olası değerlendirilme imkanları göz önüne alınmalıdır. Bor atıkları bu durumda maden atıkları içinde en önde gelenlerden biridir. Bu sebepten dolayı oluşan bor atıklarının biriktirilmesine çok büyük önem gösterilmelidir. Atık madenlerin elverişili bir şekilde kullanılmasında elde edilecek yararlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- a. Maden atıklarının depolanmasından dolayı oluşan sorunlar ve stoklama maliyeti düşecektir.
- b. Çevre kirliliği en düşük düzeye düşecektir.
- c. İmal edilen yeni malzemedeki ek bir gelir elde edilecektir.
- d. Maden atıklarının yer altı ve üstü sularını kirlilemesi engellenecektir.

Türkiye'de her sene bor mineralleri imalatı sırasında 600.000 ton atık madde meydana gelmektedir [31]. Bu maden atıklarının muntazam bir şekilde biriktirilmesi

ile gelecekte kullanılabilme olanağı vardır. Bor atıklarının kullanılması ile aşağıdaki yararlar sağlanmış olacaktır;

- a. Mevcutta büyük maden stokları ülke ekonomisine gelir getirecektir.
- b. Çevre kirliliği engellenmiş olacaktır.
- c. Bor atıklarının atıldıkları göletlerin temizlenmesi için işletmelere büyük meblağlar ödenmektedir. Bu masrafta olmayacaktır [41].

### **2.6.1.3. Bor minerali atığının kullanım alanları**

Bor atıklarının kullanılmasına yönelik çalışma kapsamının büyük bölümü, yaş atıklarının değerlendirilmesidir. Bor minerali atıkları, seramik endüstrisinde; sır malzemesi, çini hamur malzemesi, döküm çamuru malzemesi yapımı, zemin ve duvar karosu yapı endüstrisinde; çimento malzemesi, hazır beton malzemesi , hafif yapı elemanı malzemesi, tuğla ve kiremit imalatında ve ayrıca cam, emaye, silika refrakter hammaddesi ve katkı ilavesi olarak kullanılabilmektedir. Tinkal cevherinin ısı ile zenginleştirilmesi neticesinde oluşturulan konsantre ve atık malzeme ayrı bir şekilde değerlendirilmeye çalışılmıştır. Böylelikle çevre dostu bir metot sonucu imal edilen ürünlerin (konsantre ve atık) yapı endüstrisinde kullanılabileceği gözlenmiş ve söz konusu yaş metotla meydana çıkan zarar verebilecek atıkların sakıncaları bertaraf edilmiştir. Bor atıkları mühendislik malzemelerine de takviye malzeme olarak kullanımı mümkün görülmektedir ve bu alanda bir çok çalışma yapılmıştır. Özellikle polimer kompozit malzemelerin üretiminde bor atığı, kompozit yapının özelliklerini iyileştirmede önemli rol oynamaktadır. [42].

## **BÖLÜM 3. AŞINMA VE DENEY YÖNTEMLERİ**

### **3.1. Aşınmanın Tanıtımı**

Aşınma; malzemeye farklı olarak etkiler neticesinde malzeme yüzey kısmından devamlı olarak kayıplarının meydana gelmesi olarak algılanmaktadır. DIN 50320 veya ASTM G4093 standartlarına göre aşınma olayı; “Kullanılan malzemelerin diğer malzemeler ile ( katı, sıvı ve gaz) temas etmesiyle mekanik etkenler ile yüzeyinden ufak parçacıkların ayrılması neticesinde oluşan, istenmeyen yüzey bozulması” olarak tanımlanmaktadır. Aşınma, mekanik, fiziksel veya kimyasal etkiler neticesinde temas halindeki malzemenin yüzeyinden malzeme ayrılması olarak ta tanımlanabilir. Bir aşınma durumunun meydana gelmesini sağlayan başlıca etkenler şunlardır;

- a. Hareket durumu
- b. Yük miktarı
- c. Ara malzeme durumu
- d. Diğer malzeme (aşındıran)
- e. Ana malzeme (aşınmaya maruz kalan )

Aşınan malzemeler ve aşındırıcı malzemeler “aşınma ikilisi” olarak anılmaktadır. Aşınma ikilisiyle ara malzeme “aşınma kombinasyonu” olarak tabir edilir. Bu aşınma ikilisi arasındaki ara malzeme birçok farklı biçimde olabilmektedir. Bu Şekiller sert taneli, sıvı hali, gaz hali ve buhar hali biçiminde olmaktadır.

### **3.2. Aşınmanın Ekonomik Açıdan Önemi**

Sanayide aşınma önemli bir tehlike meydana getirmektedir. Aşınma hadisesine zamanında ve sistematik bir biçimde tedbir alınmadığı halde önemli sonuçların

meydana gelmesine neden olabilmektedir. Aşınmanın neden olduğu maliyetin önemini belirtmek için şu örneği verebiliriz; Almanya’da aşınmanın neden olduğu maliyetin 2 milyar euro metalurji alanında, 500 milyon euro plastik üretim sanayinde, 1 milyar euro da diğer sanayi kolları olmak üzere toplamda 3,5 milyar olduğunu söyleyebiliriz. Hala Türkiye’de aşınmanın maliyet olarak meydana getirdiği olumsuz durumlar, etkili bir biçimde önemle ele alınmamaktadır. Bir objenin işlev göremez duruma gelebilmesi üç nedenden dolayı olabilmektedir. Bunlar şu şekildedir; Kullanılmaz duruma gelmesi (modasının geçmesi), kırılma ve aşınmadır [43].

### **3.3. Aşınmanın Kullanıldığı Alanlar**

Tabi ki aşınmanın faydalı olduğu durumlarda söz konusudur. “Yüzeylerin meydana getirilmesi”. Bir ürün veya eşyada bir yüzey oluşturmanın birçok usulü olarak, aşınma durumu kullanılmaktadır. İlk olarak, abrasif prosesler ailesini oluşturan abrasif kâğıta sahip (zıMPara) ve parlatma laplama çarklarındaki gevşek yapıya sahip abrasif boyutlu tanecikler sayılabilir. Bir yüzeyin son biçimini değiştirmenin bir diğer yöntemi de kum ile püskürtmedir. Yazı ile bilgi kaydetmenin birçok farklı yolları aşınma prosesine dayanır. Bununla beraber bir kalemin yada bir tebeşirin kullanımıyla yazma işleminin gerçekleşmesi için yapışkan bir aşınmanın olmasına ihtiyaç vardır. Herhangi bir lastik (veya plastik) silgi, yazı izlerini aynı şekilde yapışkan aşınma mekanizmasıyla kaldırır. İlk önce, kalemin karbon tanecikleri yapışkan aşınma oluşması ile silginin üstüne geçer ve daha sonra silginin üstü bir yapışkan aşınma oluşumu ile kâğıda intikal eder ve ardında yazısız, çizgisiz bir yüzey bırakır [44].

### **3.4. Aşınma Durumunu Etkileyen Faktörler**

Aşınmanın değişik kaynaklardan tanımı; ASLE kaynağına göre “American Society of Lubrication Engineers”: Mekanik etkilerle malzeme eksilmesi olarak nitelendirir. OECD kaynağına göre “Organization for Economic Cooperation and Development” : Yüzeyde bağıntılı hareket neticesinde cisim üzerinde devamlı olarak malzeme

kaybının meydana gelmesi şeklinde tanımlanmıştır. Almanya DIN 50320 standartına göre: Kullanılan cisimlerin diğer cisimler veya maddeler (katı, sıvı, gaz) ile teması sonucunda mekanik sistemli etkenler ile cisimin üstünden ufak parçacıkların ayrılması neticesinde oluşan ve istenmeyen yüzey bozulması olarak tabir edilmektedir. Bu temas durumunda bulunan malzemelerde istenmeyen malzeme kayıpları üç farklı biçimde meydana gelmektedir. Bunları şu şekilde sıralayabiliriz: Kimyasal çözünme, bölgesel ergime ve yüzeyden fiziksel olarak ayrılma. Fiziksel olarak aşınma çeşidinin oluşması için temel kısıtlar şunlardır;

- a. Hareket durumu
- b. Yük miktarı
- c. Ara malzeme durumu
- d. Diğer malzeme (aşındıran)
- e. Ana malzeme (aşınmaya maruz kalan )

Çevresel durumlar aşınmayı etkileyen en önemli unsurlardan bir tanesidir. Nemli yada koroziyel şartlar aşınmayı hızlandırıcı tesire sahiptir. Parça yüzeyleri arasında yağlayıcı etki yapan, malzeme yüzeyinin zarar görmemesi açısından uygulanan sert kaplamalar bile mekanik tesirler ile aşınarak bozulabilmektedir. Bunun finalinde bu malzemenin maksimum kullanım ömründe bir azalma oluşmaktadır.

### **3.5. Aşınma Mekanizmaları**

Aşınma olayı, aşınmanın meydana getirdiği iz görünüşüne göre incelenebilir. İz görüntüleri çukurlanmalı , pullanmalı, çizilmiş, parlamış , oyulmuş, kemirilmiş ve kazınmış şekilde olabilir. Aşınma olayı ayrıca hasarın olduğu fiziksel mekanizmalara göre de bölümlendirilebilir.

### **3.6. Aşınma Deney Metotları**

Polimerlerin aşınma davranışlarında iki temel mekanizma bulunmaktadır. Bunlar;



- a. Adhesiv aşınma,
- b. Abrasiv aşınma.

biçiminde sınıflandırılabilir.

### 3.6.1. Adheziv aşınma şekli

Bu aşınma şekli, bilhassa birbiriyle kayma sürtünmesi halinde olan metal-metal ikilisinde oluşan kaynaklaşma durumu olarakta isimlendirilmektedir. Birbiriyle temas ederek çalışan yüzeylerin temas bölümleri az olmasına karşın temas halinde olan yüzeylerdeki gerilmeler, çok küçük ölçüde yüklemeler neticesinde olsa da akma gerilmesi limitine ulaşır veya bu limiti geçerler. Bu durumun meydana gelmesiyle moleküller yapışma tesiri gösterirler. Bunun nedeni bir malzemedan diğerine malzeme geçiş durumuyla soğuk kaynak olmasıdır. Bu da ufak parçaçıkların koparak ayrılması gibi olayların oluşmasına neden olur [45]. Adhezyon aşınma olayının detaylı olarak araştırılmasında gözlemlenen ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki Şekilde sıralanmıştır :

- a. Adhezyon aşınma aynı veya kolay alaşım kurabilen malzemeler arasında meydana gelmektedir.
- b. Aşınma, yüzeylerin göreceli hızına ve normal kuvvetiyle sınırlıdır.
- c. Adhezyon aşınma sürtünmeyi belirleyen tüm kaynak noktalarında oluşmaktadır.
- d. Oksit veya nemden meydana gelen doğal tabakanın aşınma üzerinde etkisi azımsanmayacak ölçüde büyüktür.

Adhezyon aşınmasını engellemek amacı ile gerekli önlemler aşağıdaki Şekilde sıralanmıştır:

- a. Birlikte çalışacak malzemeler uygun bir Şekilde seçilmelidir. Mesela çelik ile beraber çalışabilen metal malzemeler araştırılıp seçilerek kullanılmalıdır.
- b. Uygun bir yağlanma metodu geliştirilmeli ve uygun yağlayıcı etki yapan maddeler ile beraber katkı malzemeleri kullanılmalıdır.

Kullanılan malzemelerin yüzeyi hangi yöntem ile işlenirse işlensin pürüzlülük değeri illa ki oluşur ve değişik pürüzlülük değerleri ortaya çıkar. Maruz bırakılan yükün tesiri altında, pürüzlülük değerlerinde meydana gelen küçük temas bölgelerinde, çok büyük basınçlar oluşur ve bir kaç temas bölgesinde, mikroskobik düzeyde kaynak bağları meydana gelir. Göreceli hareket esnasında bu bağlarda kopma yaşanır. Bu bağların kopması için gerekli yük, sürtünme kuvveti olarak adlandırılır. Bağların kopmasında oluşan malzeme eksilmesi ise adhesiv aşınmayı meydana getirir. Adhesiv aşınma, aynı hareketin sürekli tekrarlanması ile aşınma parçacıklarının liderliğinde meydana gelen transfer film tabakası yapı ile oluşur. Transfer film tabakaları az yüklerde çok az aşınma oranlarına sebebiyet verebilirler [43]. Adhesiv aşınma genel olarak meydana gelen en çok rastlanılan aşınma türüdür. Bu sebeple polimerlerde aşınma tabir edilince adhesiv aşınma akla gelmektedir. Polimerler mühendisliğin en çok kullanılan malzeme kullanımlarından biridir. Metaller genel olarak yağlı bir şekilde kullanılırken, polimerler ise yağlama olmaksızın yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Polimerler malzemelerin adhesiv aşınma sisteminde gözlemlenen durumlar şu şekilde sıralanabilir:

- a. Polimer malzeme ve karşı malzemenin yüzeyi arasındaki iç adhezyonu
- b. Birleşim yüzeyinde bozulması
- c. Transfer film yapılı tabakanın yapısı
- d. Transfer edilmiş film tabakası ve yüzeyler arasındaki bağ yapısı
- e. Film yer değişim sistemi
- f. Polimer/karşı malzeme yüzeyleri arasındaki iç adhezyon

- a. Polimer malzeme ve karşı yüz arasındaki iç adhezyon durumu

Polimerler ile ilgili adhezyon aşınma iki durumdan açığa çıkar. Biri Kolomb'un elektrostatik yükleridir ki bu bağ yapısının uyumsuzluk oluşturmasıdır. Diğeri ise Van der Waals bağ yapısıdır. Ayrıca polimer ile karşı malzeme yüzeyindeki oksitlenmeye maruz kalmış tabakalar arasında hidrojen bağlı yapılarda oluşmuş olabilir. Şayet iki yüzey sağlam bir şekilde yapışmışsa, adhezyon aşınmadaki oluşan

iz, adhezyonun termodinamik oluşturduğu izden daha fazla olabilir. Zira izin büyük bir bölümü sünek yapı kayıpları ve viskoelastik yapı kayıpları içerir. Bu oluşan kayıplar polimer malzemenin ve elastomerin camsı duruma geçiş sıcaklıklarının üstünde oluşur. Netice olarak, transfer film meydana gelebilir. Temas durumundaki sıcaklık camsı geçiş sıcaklık miktarından düşük ise, polimer malzemeler veya kauçuk malzemelerin adhezyon oluşumu ile polimer transfer film eğilimi daha az olacaktır.

#### b. Birleşme noktasındaki bozukluk halleri

Yüzeyleri temizlenmiş polimer malzemeler ve elastomerlerin yüzeylerindeki pürüzlülük miktarı ile elastomerik bileşimler, ara yüzeyde kendiliğinden bozulabilmektedirler. Bu durumda yapışık bir transfer oluşumu meydana gelmez.

#### c. Transfer film tabakası

Sünek malzemeler, devamlı olarak diğer yüzeye polimer gönderimi yaparlar. Gönderilen polimerlerde kayma şartlarına göre iki tür davranış biçimi gözlenir. İlk davranış biçimi, az yoğunluğa sahip polietilen malzeme, polipropilen malzeme ve poliamid 6/66 malzemelerinde görülür. Bir hayli yüksek düzeyde polimer malzeme ihtiva eden filmin kısmen kalınlık ölçüsü 0.1-10µm arasında yer alırken yapıştırıcı özellik gösterir. Diğer davranış türü, yüksek yoğunluğa sahip polietilen malzeme (YYPE), teflon malzeme (PTFE)'de gözlenir. YYPE malzeme, PTFE malzeme ve POM malzemesinin özel davranış biçimi, düşük miktarlardaki hızlarda ve orta dereceli sıcaklık miktarlarına karşı yüzeylerde ince bir film transferi görünüşünde yer alır. Daha da yüksek kayma hız miktarlarında YYPE malzeme ve POM malzemesinin transfer film tabakası yapısı, sürtünme şeklinde erimesi olarak tabir edilebilir. PTFE'nin yüksek miktardaki ısıya dayanıklı olması nedeniyle bu durum gözlemlenmez.

d. Transfer film tabakası ile karşı malzeme yüzey arasındaki bağ

Kimyasal redüksiyonun olmadığı bir yerde bağ yapısı, Kolomb ve Van der Wals şeklinde olacaktır. Transfer olmuş bir katman, ara yüzden ayrılırsa elektrostatik yükler daha yüksek olacaktır. Bu durum ile beraber filmlerin yapının adhezyonu biraz azdır. Polimer malzemelerin aşınmasını artırabilmek için ek katkıları kullanılmalıdır. Polimer malzemelerin kayma sürtünmelerinde ek katkıları, transfer edilmiş film tabakalı yapıya karşı yüzeyi şekillendirmekte ve polimer malzemenin aşınma direncini artırmaktadır.

e. Film yer değiştirmesi

Bazı hallerde, çekme gerilmesi ile transfer olan film katmanlarının üstünden film partikülleri ayrılırlar. Bu ayrılan film partikülleri polimerler malzemelerin üstüne yapışmış durumda gözlenebilmektedir.

Transfer film tabakalı yapıda malzeme transferine neden olan üç genel görüş mevcuttur;

- a. Esas malzemenin çatlaması,
- b. Karşı malzemenin yüzeyine malzemenin transferi,
- c. Yük altında malzeme yüzeyinin bozulması,

Deformasyon ve çatlama durumu, normal uygulanan yük, temas şekli, sürtünme katsayısı değerinin etkisiyle temas eden bölgedeki gerilme hallerinden meydana gelir. Transfer film tabakalı yapı, uygulanan hız, uygulanan yük, atmosfer ortamı, sıcaklık miktarı, polimer yapısı, kristalite yapısı, yüzey pürüzlülük değeri, karşı yüzey cinsi ile olan kimyasal redüksiyonlar gibi kayma ortam şartlarından etkilenmektedir. Transfer film tabakalı yapı arasındaki kohezyon olayı ve transfer film ile karşı yüzeyin cinsi arasındaki adhezyon aşınma tam olarak anlaşılammıştır [43].

### 3.6.2. Abrasiv aşınma şekli

Abrasiv aşınma, birbirine temas eden iki malzemedeki daha sert olanının, pürüzlü yüzey yükselticileri aracılığı ile diğer malzeme üstünden mikron ölçüsünde talaş kaldırması durumuna denilmektedir. Aşınma durumu talaş çizmesi, kesmesi, raybalama işlemi ve çarpma neticesinde oluşabilir. Aşınma deneyi sırasında; sabit hale getirilmiş abrasiv madde üzerinde bulunan pim biçimindeki numune malzemenin, aşındırıcı malzeme üstünde dairesel bir şekilde dönmesi ile aşınması izlenir. Aşındırıcı madde yüzeyinde bir aşınma izi oluşur. Deney işlemi öncesi deney numunesi çok iyi bir şekilde kurutulduktan sonra tartılır ve sonrasında aşınma deneyi yapılır. Aşınma deneyinden sonra polimerden imal edilmiş malzeme nem almış olabileceği düşünülerek tekrar kurutulur. En son ağırlığı tartılarak aşınma miktarı belirlenir. Abrasiv aşınma çoğunlukla çeşitli tarım aletleri ve teçhizatlarında, madencilik sektöründeki teçhizatlarda, çeşitli makinalarında, imalat sektöründe , çimento ve seramik endüstrisinde görülür [46].

Kayarak çalışan düzeneklerde abrasiv aşınma durumunu önlemek için, abrasiv aşınmaya mukavemet gösterecek cisim, yüzeylere yapışan küçük parçalardan daha sert yapıda olmalıdır. Bir malzeme için en fazla aşınma direnci mukavemetine orta düzeydeki sertlik ve tokluk seviyesinde ulaşabilmektedir. Çoğunlukla sertliği yüksek seviyede bulunan malzemelerin, kırılma tokluk değeri düşüktür ve gevrek olarak kırılma vasıtası ile abrasiv olarak aşınırlar. Ortamdaki oksijen miktarı arttığında metallerin abrasiv olarak aşınması da artar. Genel olarak abrasiv aşınma durumu, aşınmaya uğramış malzemenin sertlik değeri, abrasiv aşındırıcı parçacıkların geometrisi, uygulanan yük miktarı ve kayma mesafesi ile doğru orantılıdır [46]. Abrasiv olarak aşınmada yağlama; aşınma hızını artırırken, adhesiv aşınma işleminde aşınma hızını düşürür. Abrasiv olarak aşındırma işleminde, aşındırıcı olarak kullanılan malzemenin kendinden daha sert olan bir cismi aşındıracağı düşünülemez. Abrasiv aşınmada aşındırıcı olarak kullanılan malzeme, aşındırılacak yüzeyden daha sert yapıya sahip olmalıdır. Aşınma olayının gerçekleştiği ortamdaki nem oranının yükselmesi ise aşınma hızını yaklaşık %15 artırır [47].

Sonuç olarak, abrasiv aşınma, numuneyi sert bir cismin kesmesi yada numuneden bir parça ayırması, yerinden koparması ile oluşur. Dış ortamdan iki yüzey arasına kaçan toz, talaş v.b. sert partiküllerin tesiri altında oluşmaktadır. Abrasiv aşınma hali çoğunlukla tüm metallerde benzerdir. Genel olarak yumuşak yapılı polimer yüzeylerin diğer malzemenin yüzeyindeki sert metal boşluklarını doldurarak koruyucu olarak bir yapı oluşturduğunu ve böylelikle sürtünme durumunda abrasiv aşınma tesirini düşürmektedir [45].

### **3.7. Aşınmaya Etki Eden Faktörler**

#### **3.7.1. Kayma hızı etkisi**

Cam elyaf ilaveli PTFE malzeme ile bronz katkılı PTFE malzeme'nin aşınması olayında; hız miktarının artması ile aşınma değerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Çoğunlukla uygulanan hızın artması ile aşınma miktarı da artmaktadır [48].

#### **3.7.2. Basınç ve yük etkisi**

Briscoe, Tabor ve Pagasion'un deneysel çalışmalarında kayma hızı değeri ve uygulanan zamana bağıntılı olarak politetrafloretillen'in aşınma değerinin, uygulanan yük ile ilk olarak bir değişiklik olmadığını, yük miktarı yükseldikçe aşınma değerinin de artmaya başladığını gözlemlemişlerdir. Dolgulu yapı politetrafloretillen' de ise aşınma değerinin çok fazla olmadığını şeklinde yorumlanmıştır [48].

#### **3.7.3. Sıcaklık etkisi**

Sıcaklık miktarına bağlı olarak aşınma, polimer malzemenin cinsine göre değişmektedir [48].

### 3.7.4. Aşınma mesafesi etkisi

Tüm malzemelerde ki gibi aşınma hızı, aşınma uzunluğu ile artış göstermesine rağmen çoğunlukla bu artış miktarı polimerin türüne bağlıdır [48].

### 3.7.5. Sertlik etkisi

Aşınma etkenine, aşındırıcı olarak kullanılan malzemenin sertliğinin etkisi araştırmacılarca araştırılmış olup çoğunlukla aşındırıcı malzemesinin sertlik düzeyinin yüksek olması, kendisinden daha az sertlik değerli malzemelere istinaden aşındırıcılık özelliğinin yüksek olduğu gözlemlenmiştir [49].

Aşınmanın meydana gelmesi için aşınan ve aşındırıcı olarak kullanılan malzemenin sertlik dereceleri ile alakalı bir çok ilişki mevcuttur. Aşınan ve aşındırıcı olarak kullanılan malzemenin sertlik dereceleri yakın olduğu hallerde yüzeye batma az oluşacağından sonuçtaki durumda aşınma miktarı da düşük seviyede kalacaktır. Aşınan malzeme ve aşındırıcı olarak kullanılan malzemenin sertlik derecesi arasında bir, iki yada daha az bir nispette olduğunda aşındırıcı olarak kullanılan malzemenin, aşınan malzemeye batması söz konusu olmayacağından aşınma hız değeri de düşer. Fakat oluşan bu durumda, malzeme yüzeyinde hasar meydana gelmeye devam eder. Aşınma durumuna maruz kalacak malzemenin sertlik değeri, aşındırıcı olarak kullanılacak malzemenin sertlik derecesinden daha yüksek olduğu durumlarda, abrasiv aşınma direnç seviyesi bir hayli fazladır ve aşındırıcı parçacıklar da aşınırlar [49].

### 3.7.6. Yüzey pürüzlülüğü etkisi

Sürtünme kuvvetinin değerini, aşındırıcı olarak kullanılan malzemenin yüzey pürüzlülük değeri belirlediği için aşınmaya etkisi oldukça büyüktür. Pürüzlülüğün fazla olduğu yerlerde, temas eden alan küçük, ama birim yüzeye tesir eden yük yüksek olacaktır. Yüzeylerin pürüzlülüğü düşük ise temas eden alan büyük, birim yüzeye tesir eden yük ise küçük olacaktır [49].

### 3.7.7. Tane boyutu etkisi

Tane büyüklüğüne ve aşındırıcı şekline göre, aşınmaya maruz kalan malzeme yüzeyinde oluşturduğu hasarda da değişiklik gösterir. Keskin yapılı ve sert kenara sahip yüzeylerde aşındırıcı partiküller, malzeme üzerinde sürekli yonga şeklinde kopan bir kesilme şekli meydana getirirken, yuvarlak ve pürüzsüz yapıya sahip yüzeyli partiküller sünek yüzeyli yapıyı yırtarak hasar meydana getirirler [49].

Araştırmalara göre kaba taneli yapılı aşındırıcının, ince taneli yapıya sahip aşındırıcıya göre daha etkili olduğu ve aşındırıcının boyutuna bağlı olarak aşınmanın artış gösterdiği belirlenmiştir. Köşeli taneli partiküller ise yuvarlak tanelilere göre daha çok aşındırıcı etki gösterdiği bellidir.

### 3.7.8. Çalışma ortamının etkisi

Ortam sıcaklığı, ortamdaki nem miktarı, ortamdaki basınç aşınma davranış biçimini etkileyen en önemli etkidir. Yüzeyler arasında sürtünme olduğu durumlarda, sürtünme kuvveti etkisinin bir bölümü aşınmada sıcaklık olarak meydana çıkacaktır. Aşınma sisteminde herşeyden önce kuru sürtünme ortamı mevcut ise oluşan ısının boyutları epeyce fazla olduğundan, bir takım maddelerin mikroyapı Şekilleri de değişikliğe uğrayabilmektedir [49].

Nem oranının artış göstermesi ile oluşan su buharının, diğer yağlayıcılar gibi aşınmayı arttırdığı tespit edilmiştir [49].

### 3.7.9. İşletme koşulları etkisi

Abrasiv aşınma biçiminde, aşınmaya maruz kalan malzemenin yüzeyine etki edecek basınç, uygulanan kuvvetin ve sürtünme kuvvetinin artmasına sebebiyet vereceğinden, aşınmanın artış göstermesine neden olacaktır. Aşınma olayının oluşmasında, sürtünme ve kayma büyük rol oynamakla beraber, aşınma mekanizmasını etkileyen en önemli etkenlerdendir. Yapılan araştırmalarda yük artışı



ve hacimsel olarak aşınmanın eş bir orantı ile varyasyon gösterdiği tespit edilmiştir. Hacimsel olarak aşınma, uygulanan yük ile lineer olarak artış davranışı göstermektedir. Uygulanan yükün artış göstermesi ile birim yüke düşen aşınmanın, belirli bir kayma mesafesinden sonra denge haline geldiği yapılan araştırmalarda belirlenmiştir. Kayma hız miktarının artış göstermesi ile hacimsel olarak aşınmanın da artış gösterdiği tespit edilmiştir. Uygulanan tüm teorik ve uygulamalı araştırmalarda aşınma ile kayma yolunun belirli bir oran içinde olduğu belirlenmiştir.

## **BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

### **4.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler**

Yapılan çalışmada 9 farklı polimer malzeme kullanılmıştır. Kullanılan malzemeler ve yoğunlukları Tablo 4.1 de verilmiştir. Ana matris malzeme olarak kullanılan saf polipropilen polimeri PP-MH418 ticari kodu ile Petkim/Türkiye'den temin edilmiştir. Bor atık tozu ise Mot BBD ticari kodu ile Mot Yapı A.Ş. İstanbul'dan temin edilmiştir. Bor atığı tozu kimyasal yapısı ile Tablo 4.2'de verilmiştir.

Saf PP ve farklı oranlarda bor atığı katkılı PP kompozit numuneler mikser ve sıcak pres kullanılarak üretilmiştir. Deneylerde kullanılan sıcak pres Şekil 4.1'de görülmektedir. Önce mikserde mekanik olarak karıştırılan saf polipropilen ve bor atığı tozu katkıları sürtünmeden dolayı ısıtılmaktadır. Daha sonra yumuşayan polimer malzeme üzerine farklı oranlarda bor atığı tozu ilave edilerek homojen oluncaya kadar mikserde karıştırılmaktadır. Hazırlanan homojen karışımdan çekme, darbe ve tribolojik test numuneleri üretilmiştir. Test numuneleri, karışımların sıcak preste 180°C ve 100 bar basınç altında preslenmesi ile Şekillendirilmiştir. Çekme deneyi numuneleri ASTM D638 standartına uygun olarak, darbe numuneleri ise ASTM D256 standartına uygun olacak şekilde kalıplanmıştır. Tribolojik test numuneleri ise ASTM G99 standartına uygun şekilde üretilmiştir.

Tablo 4.1. Deneylerde kullanılan PP polimer ve kompozitlerin kısa gösterimi ve yoğunlukları

| Sıra No | Numune adı  | Kısa Gösterimi        | Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> ) |
|---------|---|-----------------------|--------------------------------|
| 1       | Polipropilen  | PP                    | 0,90                           |
| 2       | % 10 Bor atığı katkıli polipropilen kompozit malzeme  | PP+%10BA              | 0,94                           |
| 3       | % 20 Bor atığı katkıli polipropilen kompozit malzeme  | PP+%20BA              | 0,97                           |
| 4       | % 30 Bor atığı katkıli polipropilen kompozit malzeme  | PP+%30BA              | 1,00                           |
| 5       | % 40 Bor atığı katkıli polipropilen kompozit malzeme  | PP+%40BA              | 1,00                           |
| 6       | % 10 Bor atığı ve maleikanhidrit ile graft edilmiş polipropilen katkıli polipropilen kompozit malzeme | PP+%3 (PP-g-MA)+%10BA | 0,94                           |
| 7       | % 20 Bor atığı ve maleikanhidrit ile graft edilmiş polipropilen katkıli polipropilen kompozit malzeme | PP+%3(PP-g-MA)+%20BA  | 0,97                           |
| 8       | % 30 Bor atığı ve maleikanhidrit ile graft edilmiş polipropilen katkıli polipropilen kompozit malzeme | PP+%3(PP-g-MA)+%30BA  | 0,98                           |
| 9       | % 40 Bor atığı ve maleikanhidrit ile graft edilmiş polipropilen katkıli polipropilen kompozit malzeme | PP+%3(PP-g-MA)+%40BA  | 0,99                           |



Şekil 4.1. Polimer kompozitlerin üretiminde kullanılan sıcak pres

Tablo 4.2. Deneyde kullanılan Mot Yapı/Türkiye'den temin edilen bor minerali atığının kimyasal kompozisyonu ve özellikleri

| Kompozisyon                    | % oranı |
|--------------------------------|---------|
| B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 21,45   |
| SiO <sub>2</sub>               | 27,68   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 15,41   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1,73    |
| CaO                            | 17,60   |
| MgO                            | 13,25   |
| SrO                            | 0,71    |
| Fe                             | 1,21    |
| As                             | 830 ppm |
| SO <sub>4</sub>                | 0,96    |
| Fiziksel özellikler            | Değeri  |
| Yoğunluk, g/cm <sup>3</sup>    | 2,85    |
| Kırılma indisi                 | 1,93    |
| Sertlik, Mohs                  | 2,1     |

## 4.2. Uygulanan Deneysel Yöntemler

### 4.2.1. Yoğunluk Ölçümleri

Deneyde kullanılacak katkısız ve katkılı PP kompozit yapıları numunelerin yoğunluk ölçüm işlemi, TS 1818 standardına uyumlu bir biçimde Şekil 5.1’de görüldüğü gibi Marmara Üniversitesi’nde bulunan PRECISA markalı 0.0001 gr hassasiyetine sahip hassas terazi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numunelerin kuru ortam şartlarındaki ve sulu ortam şartlarındaki ağırlıkları ölçülerek aşağıdaki eşitlik (arşimet formülü) kullanılarak ile yoğunlukları tek tek hesaplanmıştır.

$$D = \frac{K_A}{K_A - Y_A}$$

D = yoğunluk değeri

KA = kuru ağırlık değeri

YA = yaş ağırlık değeri



Şekil 4.2 Yoğunluk ölçümü yapılan cihaz

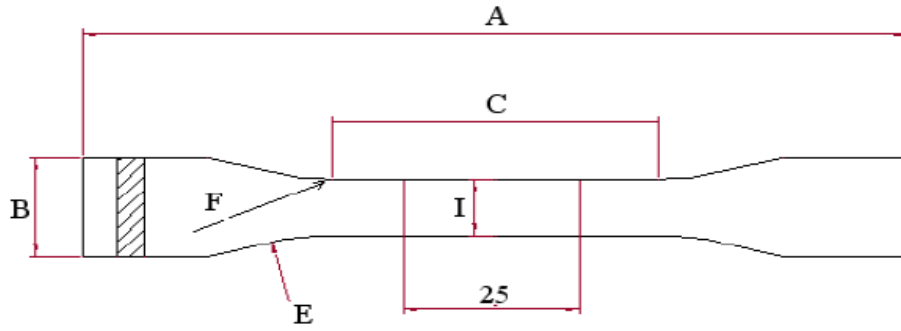
### 4.4.2. Çekme deneyinin yapılması

Çekme deneyi, kullanılacak malzemelerin mekanik olarak özelliklerini tespit etmek amacı ile uygulanan deneysel metotlardan bir tanesidir. Yapılan bu deney ile

malzemenin akma mukavemet değeri, çekme mukavemet değeri, kopma mukavemet değeri, yüzde olarak uzama değeri ve elastiklik modül gibi değerleri tespit edilmiştir. Katkısız ve katkılı PP kompozit malzemelerin çekme deneyi ASTM D638'e uygun bir şekilde yapılmıştır. Çekme işlemini yapmadan önce, deney numuneleri 24 saat %50 nemli ortam koşullarında kondüsyonlanmıştır. Çekme testleri Sakarya Üniversitesi'nde bulunan SHIMADZU marka çekme deney cihazında yapılmıştır. Üniversitedeki çekme deney cihazının fotoğrafı ve çekme çenelerinin görüntüsü Şekil 4.3'de yer almaktadır. Deneyler  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$  oda sıcaklığı değerinde yapılmıştır. Katkısız ve katkılı PP kompozit malzemelerin yapılan deneyler neticesinde Şekil değiştirme grafikleri elde edilmiştir. Çekme deneyi yapılacak numunelerin çekme cihazında bulunan çenelere bağlanması Şekil 4.3'de görülmektedir. ASTM D638'e göre üç değişik çekme deneyi numunesi üretilebilmektedir. Bu numunelerin en çok kullanılan biçimi Şekil 4.4'de, gösterilmektedir. Numunelerin çekme deneyi sonrasındaki görüntüleri Şekil 4.5, - 13'de yer almaktadır.



Şekil 4.3 Çekme deneyi cihazı



Şekil 4.4 Çekme numunesi örneği

Çekme deneylerinden sonra çıkan veriler kullanılarak numunenin çekme mukavemet değerleri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$\sigma_{\max} = \frac{F}{A}$$

Burada;

F= Denet sırasında uygulanan kuvvet, (N)

A= Numunenin kesit alanı (mm<sup>2</sup>)' dir.

Kopma sırasındaki uzama ise aşağıda belirtilen eşitlik ile hesaplanır. Kısaca  $e_{kopma}$  olarak belirtilmektedir.

$$e_{kopma} = \left( \frac{L_k - L_0}{L_0} \right) \times 100$$

$L_k$ = Numunenin koptuğu sıradaki son boyu (mm)

$L_0$ = Numunenin ilk baştaki ölçülen boyu (mm)

Elastiklik modülü ise;

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

eşitliği ile bulunmaktadır. Burada;

$E$  = Elastiklik modül değeri (N/mm<sup>2</sup> )

$\sigma$  = Malzemenin elastik bölgedeki ölçülen mukavemet değeri (N/mm<sup>2</sup> )

$\varepsilon$  = Elastik bölgedeki gerilme ile oluşan birim Şekil değiştirme miktarı.

Elastik bölgede birim Şekil değiştirme miktarı (eplastik) ise aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$e_{elastik} = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100$$

Burada;

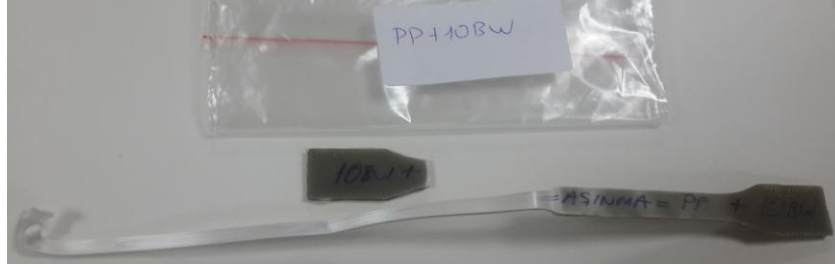
$L_0$ = Deneyde kullanılan numunelerin en baştaki ölçü boyu (mm)

$L$  = Elastik bölgedeki numune boyutu (mm)

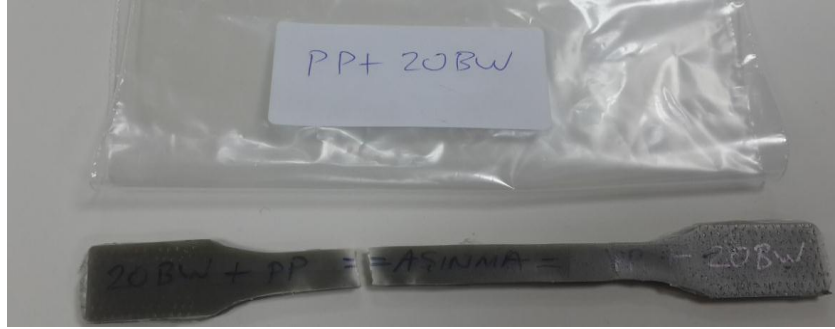




Şekil 4.5. Saf PP polimerin çekme deneyi sonrasındaki görüntüsü



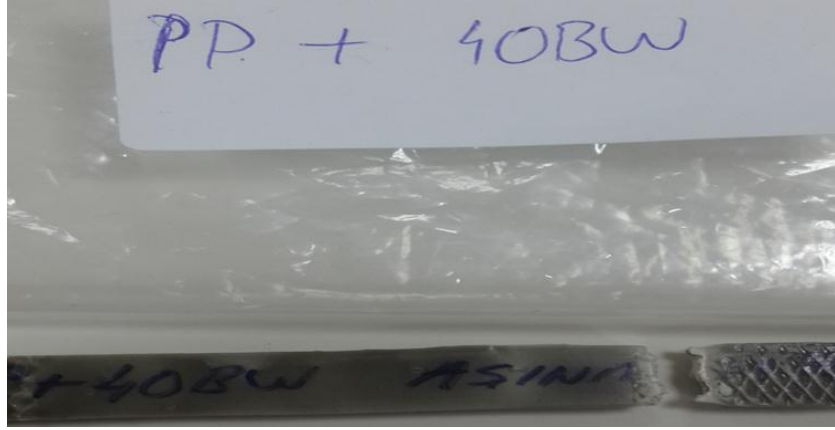
Şekil 4.6. %10 Bor minerali atığı katkılı PP polimer kompozitin çekme deneyi sonrasındaki görüntüsü



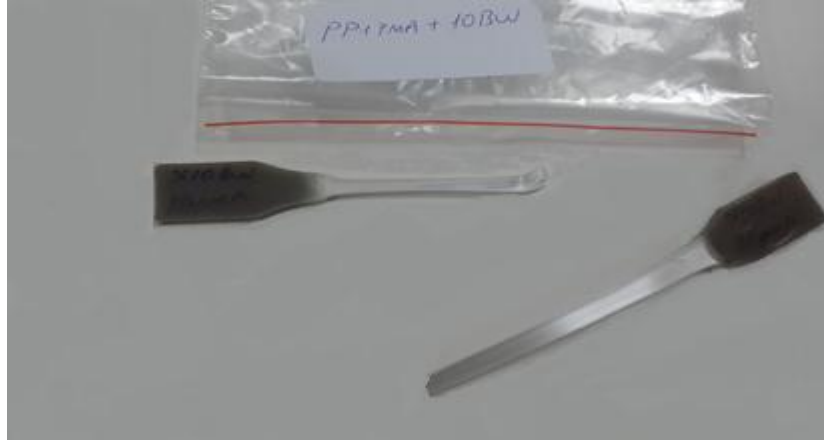
Şekil 4.7. %20 Bor minerali atığı katkılı PP polimer kompozitin çekme deneyi sonrasındaki görüntüsü



Şekil 4.8. %30 Bor minerali atığı katkılı PP polimer kompozitin çekme deneyi sonrasındaki görüntüsü



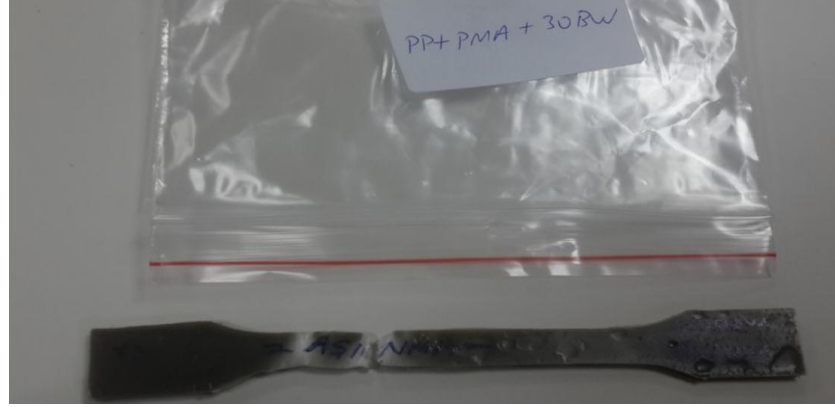
Şekil 4.9. %40 Bor minerali atığı katkılı PP polimer kompozitin çekme deneyi sonrasındaki görüntüsü



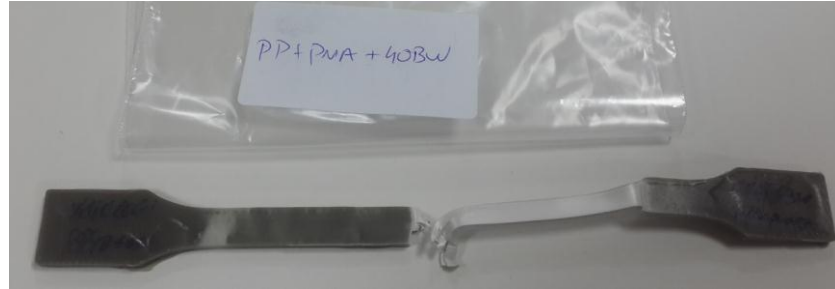
Şekil 4.10. PP-g-MA modifiyeli ve %10 Bor minerali atığı katkılı PP polimer kompozitin çekme deneyi sonrasındaki görüntüsü



Şekil 4.11. PP-g-MA modifiyeli ve %20 Bor minerali atığı katkılı PP polimer kompozitin çekme deneyi sonrasındaki görüntüsü



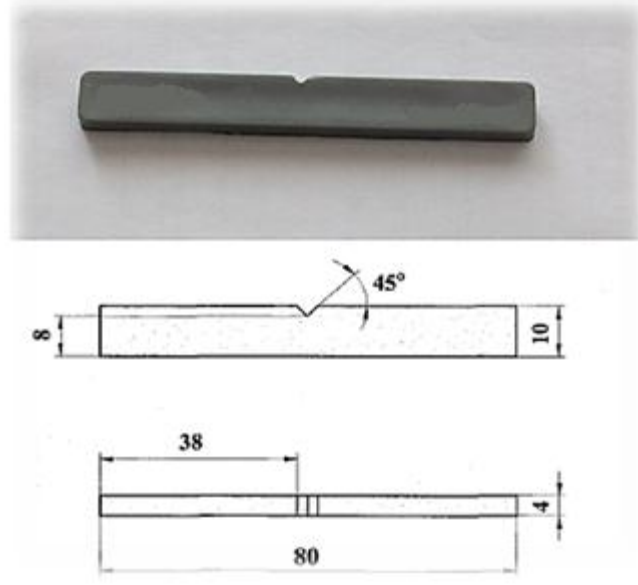
Şekil 4.12. PP-g-MA modifiyeli ve %30 Bor minerali katkı katkılı PP polimer kompozitin çekme deneyi sonrasındaki görüntüsü



Şekil 4.13. PP-g-MA modifiyeli ve %40 Bor minerali katkı katkılı PP polimer kompozitin çekme deneyi sonrasındaki görüntüsü

### 4.2.3. Darbe deneyi

Katkısız PP ve bor katkı katkılı PP kompozit malzemelerin darbe deneyi için Devotrans marka 0,5-25 joule aralığında ölçüm yapma kabiliyetine sahip dijital göstergeli ve Şekil 4.15’de görülen charpy darbe test cihazı kullanılmıştır. Darbe test cihazı çekicinin düşme açısı 150°, düşme hızı değeri ise 3,8 m/s’dir. Çentik darbe test cihazı ile ASTM D256 standardına uygun olacak şekilde testler yapılmıştır. Darbe testleri Bursa Teknik Üniversitesi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Her bir deney için en az 3 adet numune kullanılmış ve çalışma sonucunda aritmetik ortalaması hesaplanarak darbe değerleri hesaplanmıştır. Darbe numuneleri çentikleri Şekil 4.14’de görüldüğü gibi 2 mm derinliğinde ve 45° açılı olacak şekilde sonradan açılmıştır. Çentikler numunenin uzunlama eksenine dik olacak biçimde açılmıştır. Darbe deneyleri yapılmadan önce numuneler 23°C oda sıcaklığında ve %50 nem şartlarındaki laboratuvar ortamında 24 saat bekletilerek kondisyonlanmıştır.



Şekil 4.14. Darbe deneyi numunesi



Şekil 4.15. Deneylerde kullanılan Devotrans marka darbe cihazı

#### 4.2.4. Sertlik deneyi

Üretilen PP polimer ve PP kompozitlerin sertliğini ölçmek için Shore D sertlik ölçüm yöntemi kullanılmıştır. Sertliğin ölçülmesinde ASTM D2240 standardı kullanılmıştır. Sertlik testleri, Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliğinde bulunan ve Şekil 4.16'da görülen Zwick marka sertlik ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Sertlik ölçüm cihazının ölçüm hassasiyeti 0,1 olup ölçüm aralığı 0

ile 100 Shore D'dir. Cihaz analog göstergeye sahiptir. Sertliği ölçmek için malzeme yüzeyinden beş farklı noktadan ölçüm yapılmış ve ortalaması alınarak nihai sertlik değeri elde edilmiştir. Shore D türü durometreyle sertlik ölçümüne uygun olan malzeme, kalınlığı en az 3mm olacak şekilde üretilmiştir. Shore D türü sertlik ölçümü yapan durometre şu ana parçalardan oluşur;

- a. Orta kısmında 2.5-3.5 mm çapında bir deliği bulunan baskı ayağı.
- b. Çapı 1.10–1.40 mm değerleri arasında bulunan, sert çelik çubuktan imal edilmiş batan uç.
- c. Batan ucun baskı yapan ayağından başlayarak batan miktarı gösteren gösterge bölümü.
- d. Batıcı uç'a yük uygulayan ayarlı biçimde bulunan yay



Şekil 4.16. Sertlik ölçüm cihazı

#### 4.2.5. Aşınma deneyi

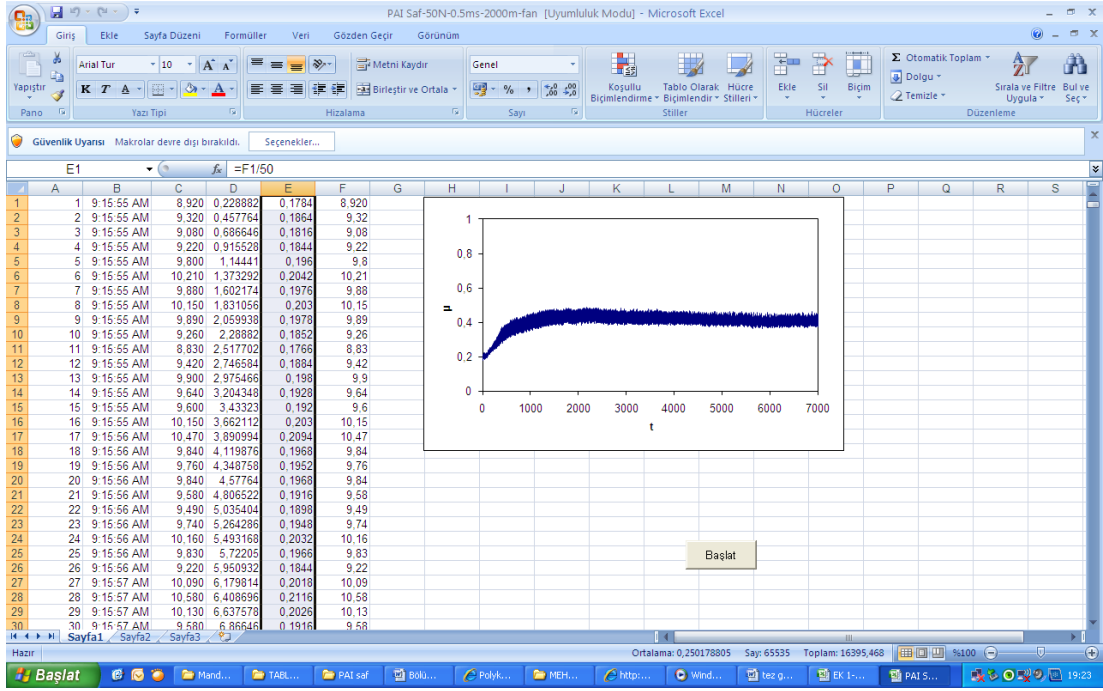
Aşınma deneyleri için pim-disk aşınma cihazı kullanılmıştır. Aşınma deney cihazı, ana gövdenin üstünde bir elektrik motoru, bir kuvvet kolu, ağırlık ve bilgisayar gibi bölümlerden meydana gelmektedir.

Bu deney cihazında kendi ekseninde dönen bir disk mevcuttur. Bu disk, bir elektrik motoru yardımıyla dönmektedir. Diskin üstüne deneyde kullanılacak olan diğer bir disk bir vida ile monte edilir. Kol üstünde bulunan bir düzeneğe ile 6 mm çapında ve 50 mm boyunda polimerden üretilmiş pim, kola yerleştirilir. Çelik disk yüzeyi ile polimer pim malzemesi deneye başlamadan önce aseton yardımı ile temizlenir. Disk istenilen hız miktarınca döndürülür. Düzeneğe bağlanmış polimer pim diskün üstünde yavaş bir şekilde bırakılır, polimer pim malzemesinin diske sürtünmesiyle pim malzemesinin bağlı olduğu kol da diskün dönme istikametine doğru gitmek istemektedir. Bu istek neticesinde kolda ileriye doğru bir hareket meydana gelir. Bu ileriye istikamette oluşan hareket yanal kuvvet olarak tanımlanır. Oluşan bu yanal kuvvet miktarı ise Yük hücresi (Load cell) yardımı ile ölçülmektedir. Bu ölçümler dijital bir göstergeden okunmaktadır. Göstergede okunan bu veriler direkt olarak bilgisayardaki özel olarak tasarlanmış excel programına aktarılmaktadır. Deney esnasında dakikada ortalama olarak 65.000 veri okunmuştur. Fakat bu veriler çizilecek grafikler için fazla olduğundan dakikada 1000 veri olacak şekilde süzölmüştür. Bu yanal olarak oluşan kuvvet, excel programında deney esnasında kullanılan yük miktarına bölünerek programda D sütununda belirtilen değerler elde edilir. Bu değerler Y ekseninde ve X ekseninde aşınma süresi olacak biçimde grafiğe dönüştürölmüştür. Aşınma süresince oluşan verilerle sürtünme katsayısı grafiği meydana gelir. Şekil 4.17’de bilgisayar ortamında oluşan excel programının şeklini göstermektedir.

Aşınmaya maruz bırakılacak numunelerin aşınma deneyleri için 6 mm çapında ve 50 mm boyda olacak biçimde polimer pim numunelerin sıcak preste üretimi sağlanmıştır. Karşı disk malzeme olarak, 100 mm çapa ve 5 mm kalınlığa sahip Tablo 4.3’de kimyasal içeriği belirtilen AISI 316L paslanmaz çelik disk kullanılmıştır. Bu diskün yüzeyi ilk olarak taşlama tezgahında taşlanmış, her deney neticesinde 1000 numara zıMPara yardımı ile parlatılmış ve sonra yüzey aseton yardımı ile temizlenmiştir. Çelik diskün ortalama yüzey pürüzlölük değeri  $R_a=0,35$  olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.3. AISI 316L disk malzemesi kimyasal kompozisyonu

| %                 | C    | Cr      | Ni | Mo | S     | Mn  | Si   | Diğer     |
|-------------------|------|---------|----|----|-------|-----|------|-----------|
| <b>AISI 316 L</b> | 0,02 | 16 – 17 | 10 | 2  | 0,025 | 1,8 | 0.50 | Cu – 0,04 |



Şekil 4.17. Bilgisayarda aşınma deneyinde excel olarak alınan sürtünme katsayısı grafiği örnek görüntüsü

Sürtünme katsayısı tanım olarak; yanal yükün normal uygulanan yüke oranı olarak tanımlanır ve aşağıda belirtilen eşitlik yardımı ile hesaplanır.

$$\mu = \frac{F_S}{F_N}$$

Yukarıda belirtilen formülde  $\mu$  : Sürtünme katsayısı,  $F_S$ : Yanal sürtünme kuvveti (N) ve  $F_N$  ise Normal kuvvet (N) olarak ifade edilmiştir.

Deney sonunda, ilk olarak kol mekanizması kaldırılarak excel aşınma programı durdurulur. İkinci işlem olarak diskin dönmesini sağlayan motorun durdurma düğmesine basılarak disk tamamen durdurulur. Polimer pim bağlı bulunduğu düzenekten çıkarılır, varsa ise üstündeki aşınma parçacıkları ve çapakları alınır, en son olarak aşınmaya maruz kalmış polimer pimlerin hassas dijital terazide tartımı

yapılır. Bu deneylerde kullanımı sağlanan 0.0001gr hassasiyete sahip Precisa markalı hassas dijital terazinin resmi Şekil 4.18’de görülmektedir. Deneye başlamadan önce polimer pim numunelerin nemi alınır. Aşınım deneyinden önce ve sonra ağırlıkları ölçülür. Arasındaki oluşan fark hesaplanarak numunenin aşınma kaybı bulunmuş olur. Deney numunelerinin aşınma oranlarının hesabında aşağıda belirtilen eşitlik kullanılmıştır.

$$W_a = \frac{\Delta m}{S \times \rho \times F_N}$$

Yukarıda belirtilen aşınma oranı formülünde belirtilen  $W_a$ : aşınma oranını,  $\Delta m$ : aşınma miktarını,  $S$ : kayma yolunu,  $\rho$  ise numunenin yoğunluğunu,  $F$  ise normal yük değerini ifade eder.

Deneylerde kullanılan PP ve PP kompozitlerin aşınma deneyleri, Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarında mevcut olan ve Şekil 4.19’da resmi verilen pim-disk aşınma cihazı üzerinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.18. Deneylerde kullanılan hassas terazi



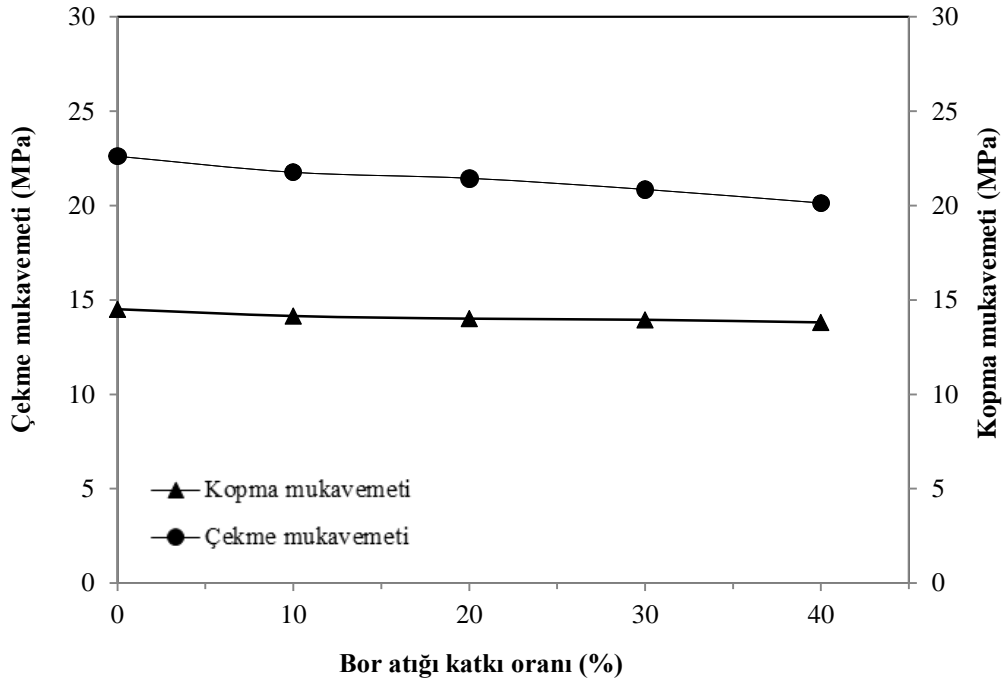


Şekil 4.19. Deneylerde kullanılan aşınma cihazı

## BÖLÜM 5. DENEY BULGULAR

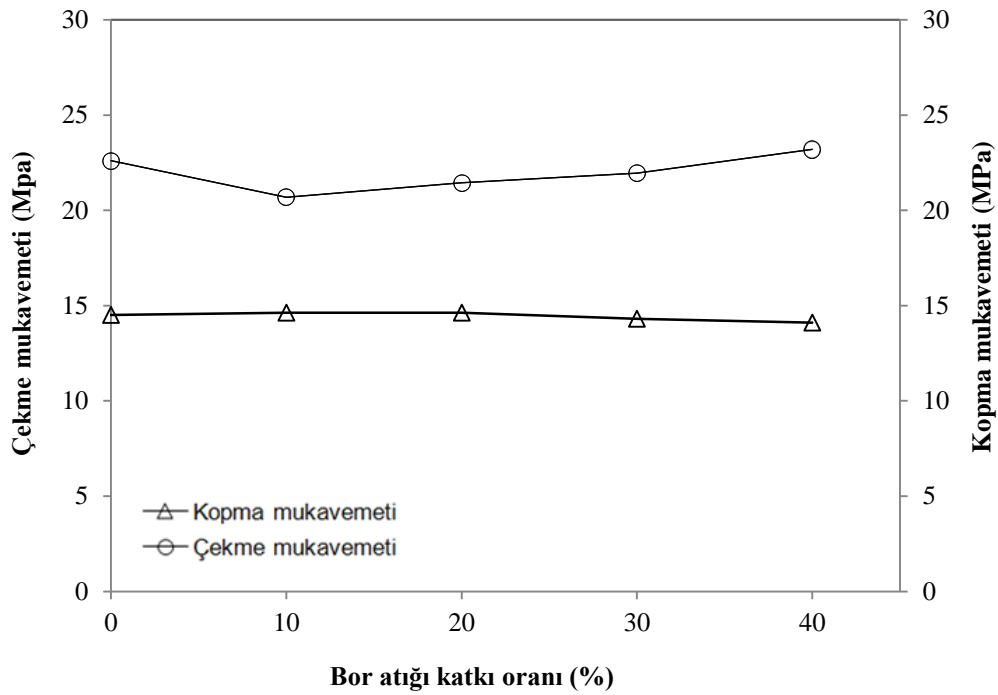
### 5.1. Kullanılan Malzemelerin Mekanik ve Fiziksel Test Analizleri

Deneyleerde; mekanik testler de, çekme deneyi, darbe deneyleri gibi mekanik testler ile fiziksel testlerden sertlik ölçümü gibi fiziksel testler gerçekleştirilmiştir. Çekme testinde saf PP polimer ve PP kompozitlerin çekme mukavemeti, kopma mukavemeti, elastiklik modülü ve % uzama değerleri tespit edilirken darbe deneylerinde malzemelerin darbe enerjileri belirlenmiştir. Sertlik deneyleri sonucunda ise malzemelerin shore D sertlikleri tespit edilmiştir.



Şekil 5.1. Katkısız PP ve bor atığı katkı polipropilen polimer kompozitlerin çekme ve kopma mukavemeti- bor atığı katkı oranı ilişkisi

Şekil 5.1.'de katkısız PP ve farklı oranlarda BA katkılı PP kompozitlerin katkı oranına bağlı olarak çekme mukavemeti ve kopma mukavemeti değişimlerini gösterilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi katkısız PP polimeri ile BA katkılı PP kompozitlerin çekme mukavemet değerlerinin katkı oranına bağlı olarak azaldığı tespit edilmiştir. Saf PP'nin çekme mukavemet değeri 22,61 MPa iken, BA oranının artış göstermesi ile çekme mukavemet değeri de azalma eğilimi göstererek %40 BA katkılı PP malzemedeki çekme mukavemeti değeri 20,13 MPa'ya düşmüştür. Saf PP polimerine göre, %40 BA içeren PP kompozit malzemenin çekme mukavemet değerinde yaklaşık olarak %11 oranında azalma görülmüştür. Buna ilaveten yine Şekil 5.1. incelendiğinde PP ve BA katkılı PP kompozitlerin kopma mukavemet değerleri de benzer davranış göstermiştir. Buradaki elde edilen sonuçlar literatür sonuçları ile uyumluluk göstermektedir. Kaştan ve Oral, 2016 yılında “polimer matrisli kompozitlerin çekme mukavemetine nano katkıların etkisi” isimli yaptıkları çalışmada bu durumu destekleyen sonuçlar çıkarmışlardır [50]. Bor atığı partiküllerinin, polipropilen polimer malzeme ile bağlanamadığı için bağlar arasında mukavemeti düşüren etki yapmıştır. Bu nedenle bor atığı oranının artması ile bu etki daha da artarak çekme ve kopma mukavemeti değerlerini düşürmüştür.

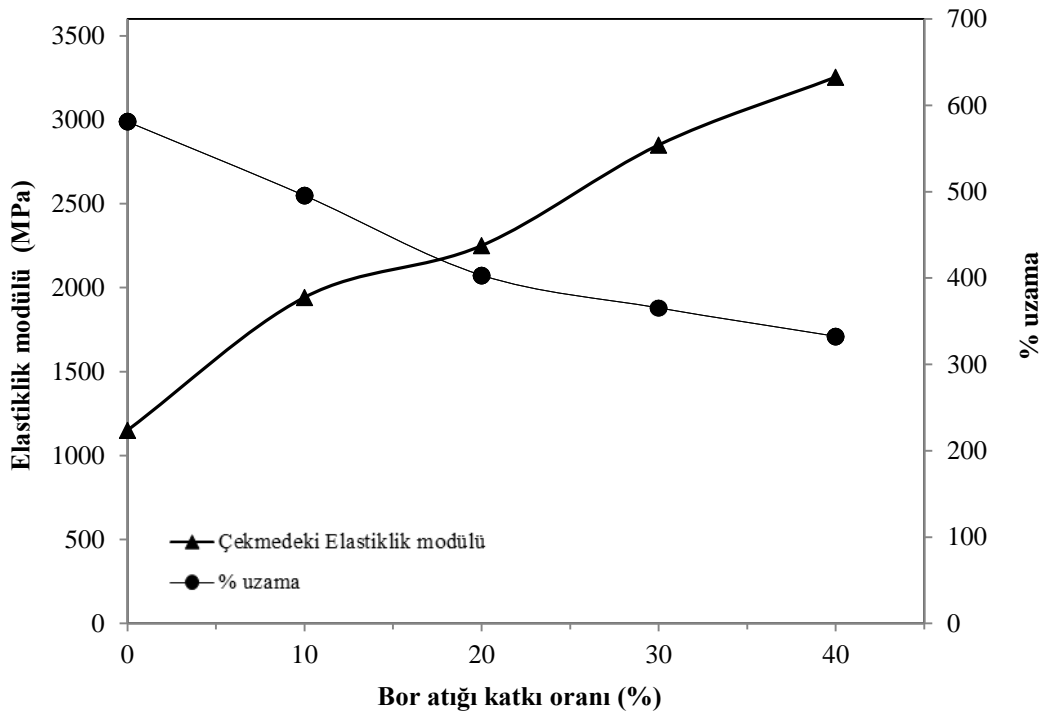


Şekil 5.2. Bor atığı ve PP-g-MA uyumlaştırıcı katkılı polipropilen polimer kompozitinin çekme ve kopma mukavemeti-bor atığı katkı oranı ilişkisi

Şekil 5.2.'de Saf PP ve uyumlaştırıcı içeren BA katkılı PP kompozitlerin BA katkı oranına bağlı olarak çekme mukavemeti ve kopma mukavemeti değişimi verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi BA ve uyumlaştırıcı katkılı PP kompozitlerin kopma mukavemet değerleri katkı oranına bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Saf PP'nin kopma mukavemeti 14,51 MPa iken, BA oranının artması ile çekme mukavemeti azalma eğilimi göstermiş ve %40 BA katkılı kompozit malzemedeki çekme mukavemet değeri 14,1 MPa olarak gerçekleşmiştir. Saf PP'ye göre uyumlaştırıcı katkılı %40 BA içeren PP kompozit malzemenin çekme mukavemetinde yaklaşık olarak %3 oranında azalmıştır. Buna ek olarak yine Şekil 5.2. incelendiğinde, saf PP ve uyumlaştırıcı içeren BA katkılı PP kompozitlerin çekme mukavemetleri değerleri de saf PP'ye göre %10 BA katkılı malzemedeki, %8 oranında azalmış ve sonrasında %40 BA katkılı kompozit malzemedeki %3 oranında artış göstermiştir.

BA katkılı PP içerisine ilave edilen (PP-g-MA) uyumlaştırıcı, kopma mukavemeti değerini pek etkilemez iken çekme mukavemeti değerini artırmıştır. Uyumlaştırıcı ilavesiz %40 BA katkılı PP kompozit malzeme incelendiğinde, çekme mukavemeti değeri, 20,85 MPa iken uyumlaştırıcı ilavesi ile bu değer %11 oranında artarak 23,2

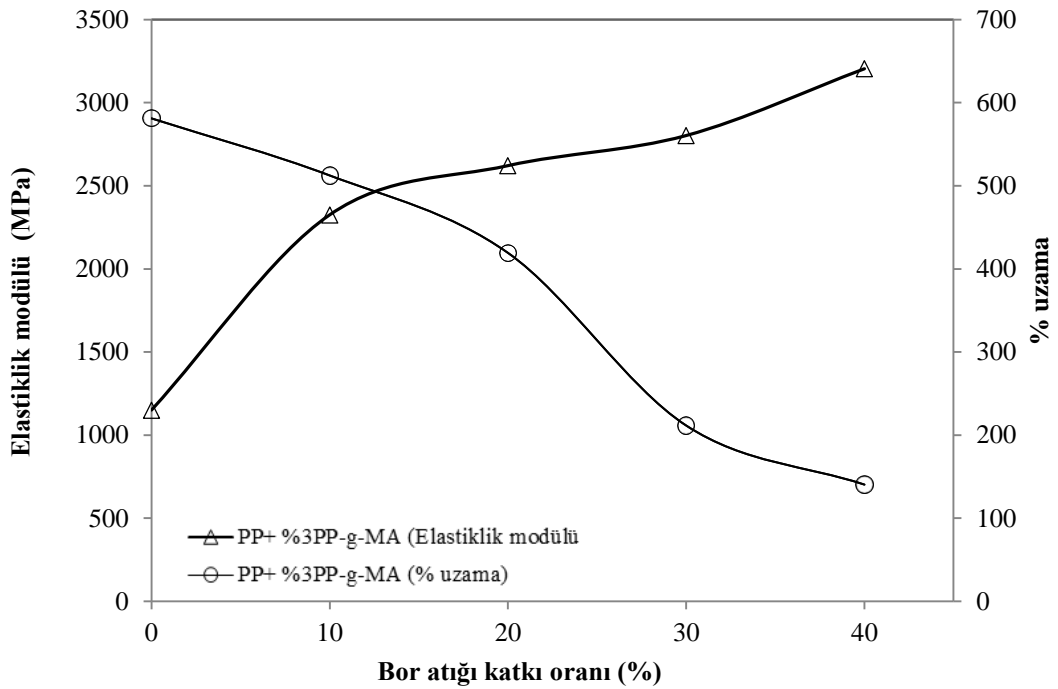
MPa değerine ulaşmıştır. Bunun sebebinin PP-g-MA uyumlaştırıcının bor atığı partikülleri ile polimer matrisin birbirleri ile etkileşerek bağlanmayı artırdığı olarak ifade edilmektedir. Buradaki elde edilen sonuçlar literatür sonuçları ile uyumluluk göstermektedir. Öztoksoy 2014 yılında “poliolefin nanokompozitlerin özelliklerine farklı uyumlaştırıcıların etkisinin araştırılması” isimli yaptıkları çalışmada bu durumu destekler nitelikte sonuçlar ortaya koymuşlardır [51].



Şekil 5.3. Bor atığı katkı polipropilen polimer kompozitlerin elastiklik modülü ve % uzama-bor atığı katkı oranı ilişkisi

Şekil 5.3.’de Bor atığı katkı polipropilen polimer kompozitlerin elastiklik modülü ve % uzama-bor atığı katkı oranı ilişkisi verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi saf PP polimerine göre BA ilaveli PP kompozitlerin elastiklik modülü değerlerinde katkı oranına bağlı olarak artış olduğu görülmüştür. Saf PP’nin elastik modülü 1150 MPa iken, BA oranının artması ile bu değer artmış ve %40 BA katkıli PP’nin elastik modülü değerine kadar %283 oranında artış göstererek 3254 MPa değerine ulaşmıştır. Elastiklik modülü değerlerinde gerçekleşen artışın sebebi, kompozitlerdeki bor atığı oranının artmasıyla, bor atığı ile matris arasındaki

adhezyonun artması ve ara yüzey bağlarının daha kuvvetli olması olarak açıklanmıştır. Buna ek olarak Şekil 5.3. incelendiğinde, PP ve BA katkıli kompozit malzemelerin % uzaması 581 iken BA katkısının artması ile bu değer %40BA katkıli kompozit malzemedeki düşüşün sebebi ise PP'ye bor atığı ilave edilmesi ile kompozitin gevrekleşmesi olarak açıklanmıştır. Şekil 5.7'deki SEM görüntüleri incelendiğinde bu durumu destekler şekilde yüzey görünüşleri ortaya çıkmıştır.

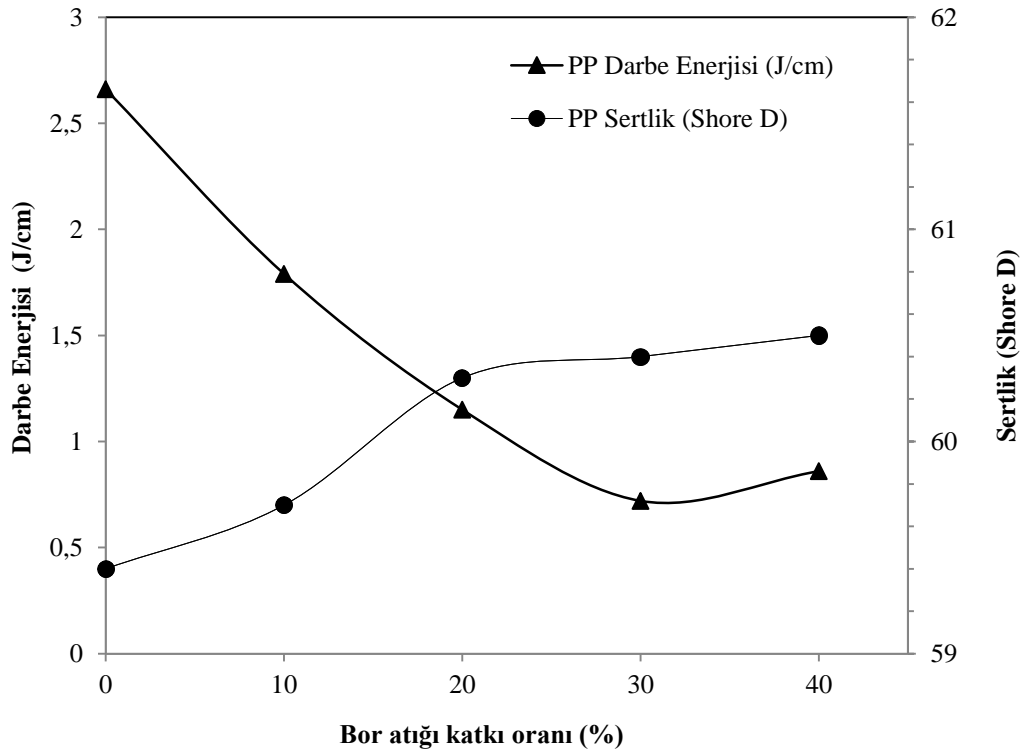


Şekil 5.4. Bor atığı ve PP-g-MA uyumlaştırıcı katkıli Polipropilen polimer kompozitinin Elastiklik modülü ve % uzama-bor atığı katkı oranı ilişkisi

Şekil 5.4.'de katkısiz PP ve farklı oranlarda BA ile uyumlaştırıcı katkıli PP kompozitlerin BA katkı oranına bağlı olarak çekmedeki elastik modülü ve % uzama değişimini verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere, Saf PP polimerinin elastik modül değerlerine göre, uyumlaştırıcı içerikli BA katkıli PP kompozitlerin elastik modül değerlerinin, katkı oranına bağlı olarak artış gösterdiği görülmüştür. Saf PP'nin elastik modül değeri 1150 MPa iken, BA oranı artması ile bu değer artış göstererek %40 BA katkıli PP'nin elastik modülü değerine kadar %278 oranında artarak 3204 MPa değerine ulaşmıştır. Buna ilaveten yine Şekil 5.4. incelendiğinde,

PP ve BA katkılı PP kompozitlerin % uzama değerleri de; saf PP’de 581,095 iken BA katkısının artması ile %76 oranında düşerek 140,41 olarak gerçekleşmiştir.

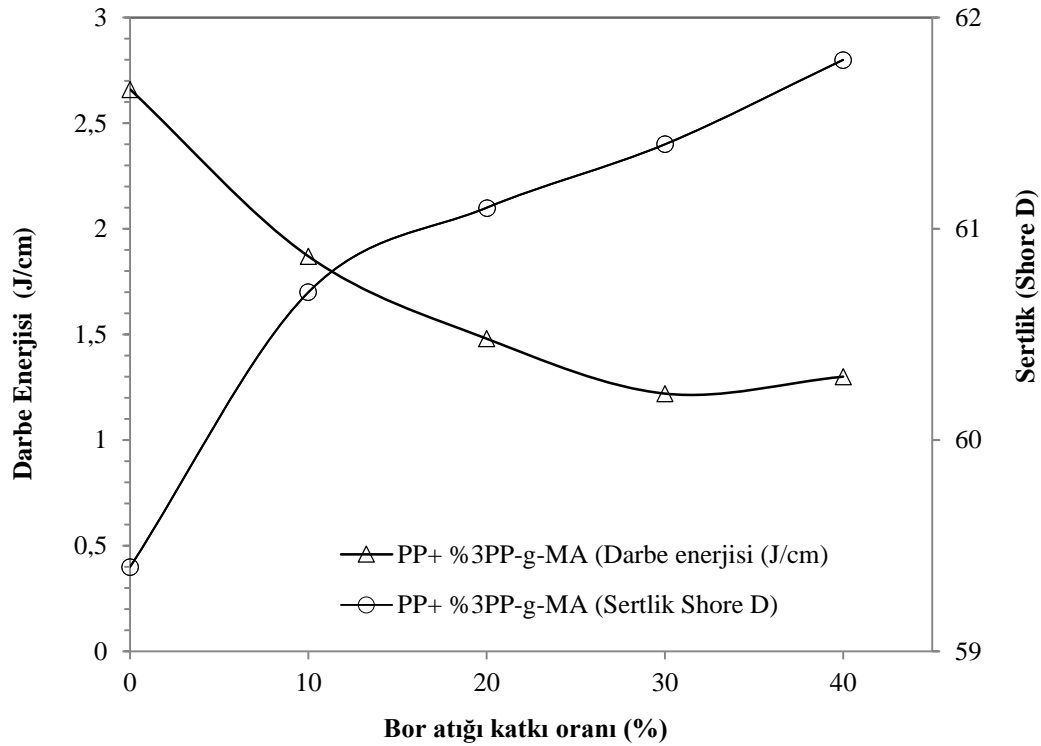
BA katkılı PP kompozit malzeme içerisine PP-g-MA uyumlaştırıcı ilave edildiğinde, elastiklik modülünü değiştirmezken, yüzde uzama değerini önemli oranda düşürmüştür. Örneğin, uyumlaştırıcı ilavesiz %40 BA katkılı PP incelendiğinde, yüzde uzama değeri, 332,52 iken PP-g-MA uyumlaştırıcı katkı malzemesi ilave edildiğinde bu değer %57 oranında azalarak 140,41 olarak elde edilmiştir. Bu durumun sebebi, gem saf PP polimer matrisi ile uyumlaştırıcının bor atıkları ile iyi bağlanması hem de sert bor atıklarının oranının artması gevrekliğin artışına sebep olmaktadır şeklinde açıklanabilir. Bu durumu taramalı mikroskop görüntüleri (Bkz. şekil 5.8) destekler nitelikte olduğu görünmektedir.



şekil 5.5. Bor atığı katkılı polipropilen polimer kompozitin darbe enerjisi, sertlik-bor atığı katkı oranı ilişkisi

şekil 5.5.’de katkı oranına bağlı olarak saf PP ve farklı oranlarda BA katkılı PP kompozitlerin darbe enerjisi ve sertlik değişimini verilmiştir. şekilden de görüldüğü gibi bor minerali atığı katkısı arttıkça; kırılmaya karşı meydana gelen darbe enerjisi

değeri azalırken, sertlik değeri artmıştır. Saf PP’de darbe enerjisi değeri 2,66 J/cm iken, %40 BA katkılı kompozit malzemeye kadar %68 oranında düşerek 0,86 J/cm şeklinde gerçekleşmiştir. Darbe enerjisinde gerçekleşen azalışın sebebi, bor atığı ile matris arasındaki etkileşimin artması olarak açıklanmıştır. Buna ilaveten saf PP’de sertlik değeri 59 shore D iken, %40 BA katkılı kompozit malzemeye kadar yaklaşık olarak %2 oranında artış göstererek 60 shore D değerine ulaşmıştır. Bor atığı polipropilene göre daha sert olduğundan, oluşan kompozit malzemenin de sertliği de bor atığı miktarına bağlı olarak artmıştır. Dolayısıyla kırılmadaki sarfedilecek darbe enerjisi de bor atığı katkı oranına bağlı olarak azalış göstermiştir.



Şekil 5.6. Bor atığı ve PP-g-MA uyumlaştırıcı katkılı polipropilen polimer kompozitin darbe enerjisi, sertlik-bor atığı katkı oranı ilişkisi

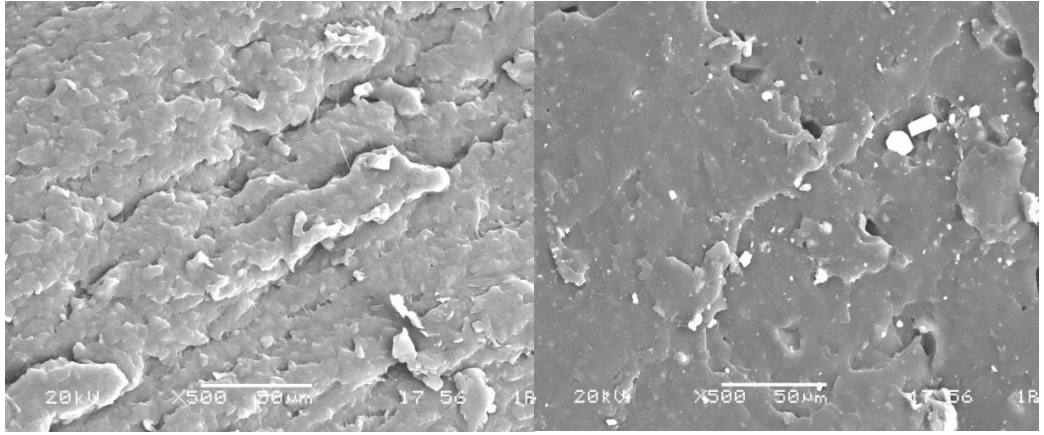
Şekil 5.6.'da Saf PP ve farklı oranlarda BA ile uyumlaştırıcı katkılı PP kompozitlerin BA katkı oranına bağlı olarak darbe enerjisi ve sertlik değişimini verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi BA katkısı arttıkça; kırılmaya karşı meydana gelen darbe enerjisi miktarı azalırken, sertlik değeri artmıştır. Saf PP’de darbe enerjisi değeri 2,66 J/cm iken, uyumlaştırıcı içerikli %40BA katkılı PP kompozit malzemeye kadar %51 oranında düşerek 1,3 J/cm şeklinde gerçekleşmiştir. Buna ilaveten saf PP’de



darbe sertlik değeri 59 shore D iken, %40 BA katlı kompozit malzemeye kadar yaklaşık olarak %5 oranında artarak 61 shore D değerine ulaşmıştır.

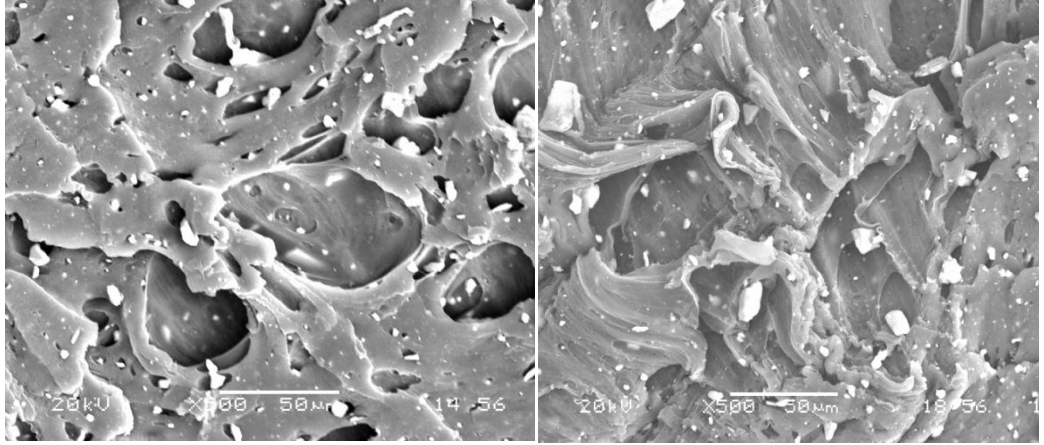
BA katlı PP içerisine PP-g-MA uyumlaştırıcı ilave edilmesi ile uyumlaştırıcı kullanılmadan üretilen kompozit malzemeye göre, darbe enerjisi değeri %70 oranda artmıştır. Bu durumun sebebi, bor atığı ve PP zincirlerinin uyumlaştırıcı etkisi ile bağlandığı ve homojen bir karışım elde edildiği olarak ağıklanmıştır. Elde edilen sonuçlar literatür sonuçları ile uyumluluk göstermektedir. Öztoksoy 2014 yılında “poliolefin nanokompozitlerin özelliklerine farklı uyumlaştırıcıların etkisinin araştırılması” isimli yaptıkları çalışmada bu durumu destekler nitelikte sonuçlar ortaya çıkarmışlardır [51].

## 5.2. PP ve Kompozitlerin Kırılma Yüzeyi SEM Mikroyapı İncelemeleri



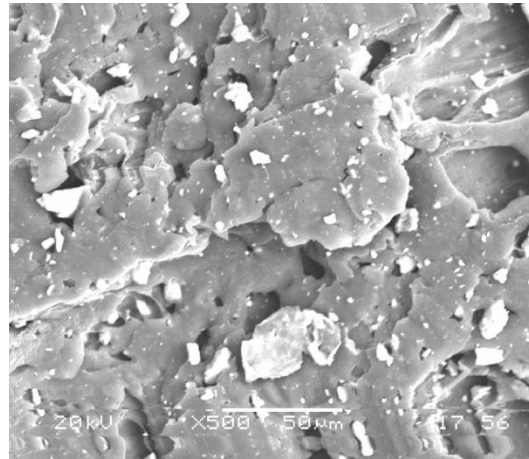
a) Katkısız PP

b) PP+%10BA kompoziti



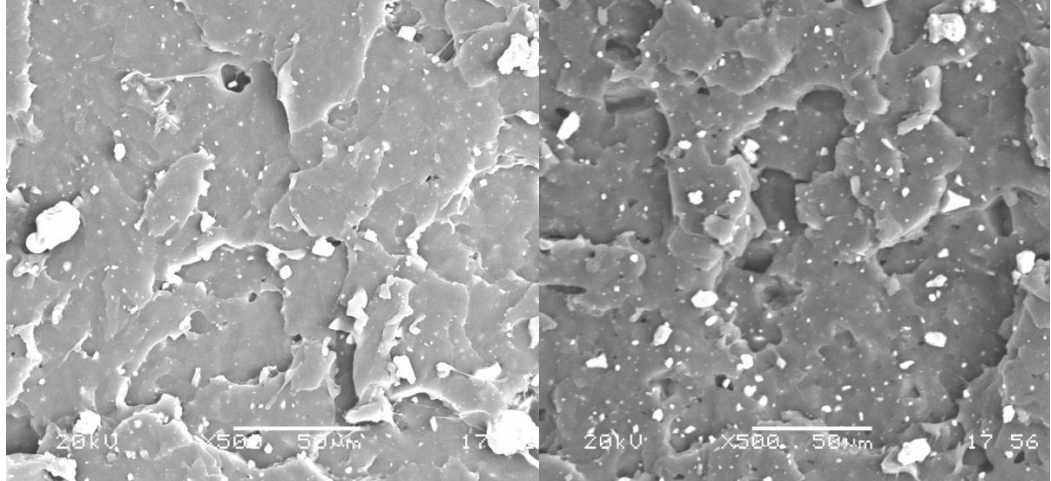
c) PP+%20BA kompoziti

d) PP+%30BA kompoziti



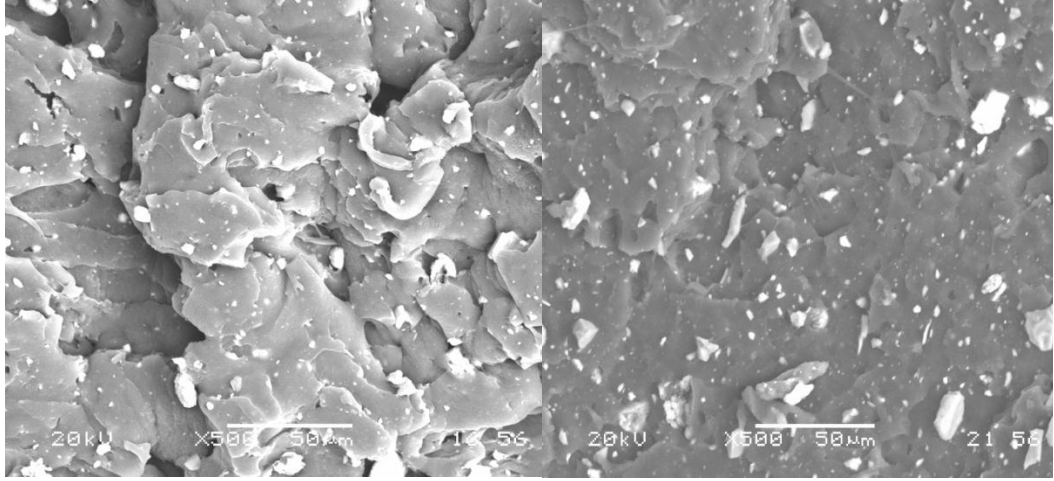
e) PP+%40BA kompoziti

Şekil 5.7. Farklı oranlarda bor atığı katkıli polipropilen polimer kompozitlerin kırık yüzey taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntüleri



a) PP+%3PP-g-MA+%10BA kompoziti

b) PP+%3PP-g-MA+%20BA kompoziti



c) PP+%3PP-g-MA+%30BA kompoziti

d) PP+%3PP-g-MA+%40BA kompoziti

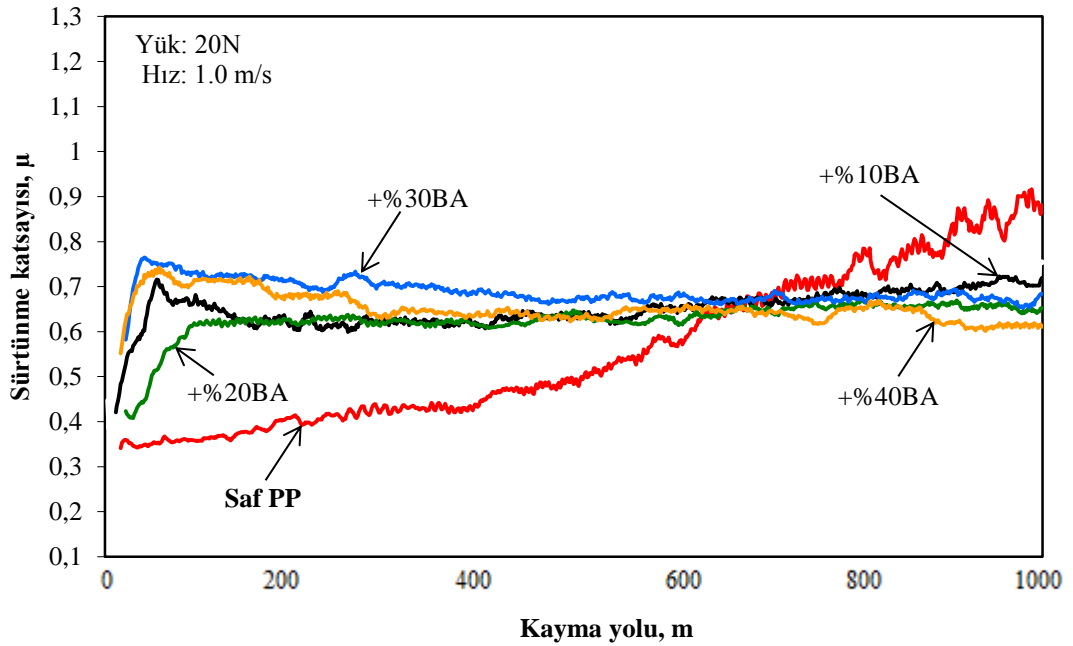
Şekil 5.8. Farklı oranlarda bor atığı ve PP-g-MA uyumlaştırıcı katkıli Polipropilen polimer kompozitlerin kırık yüzey taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntüleri

Şekil 5.7'deki taramalı mikroskop görüntülerinde görüleceği üzere BA ilaveli PP kompozit malzemelerde boşlukların oluşmuş olduğu gözlenmiştir. Bu ise üretim esnasında yüksek sıcaklıklardan dolayı bor atığı katkıdan kaynaklanan su buharının oluşmasından dolayı olduğu düşünülmektedir. Şekil 5.8'deki uyumlaştırıcı ilaveli kompozit malzemelerin SEM görüntüleri incelendiğinde ise Şekil 5.7'ye göre daha düzgün kırılma yüzeyleri gözlemlenmiştir. Burada uyumlaştırıcı, bor atığı (BA) ile (PP) polipropilen arasında bağlanmayı artırmıştır. Bunun sonucunda Şekil 5.8'deki mikroyapılarda boşluk ve gözeneklerin azaldığı hatta olmadığı gözlenmektedir. Sebep olarak, PP-g-MA uyumlaştırıcının polimer matris ile bor atığı partiküllerini iyi bağladığı ile açıklanabilir.

### 5.3. PP ve PP Kompozitlerin Aşınma ve Sürtünme Analizleri

#### 5.3.1. PP ve PP Kompozitlerin sürtünme katsayısı-yol ilişkisi

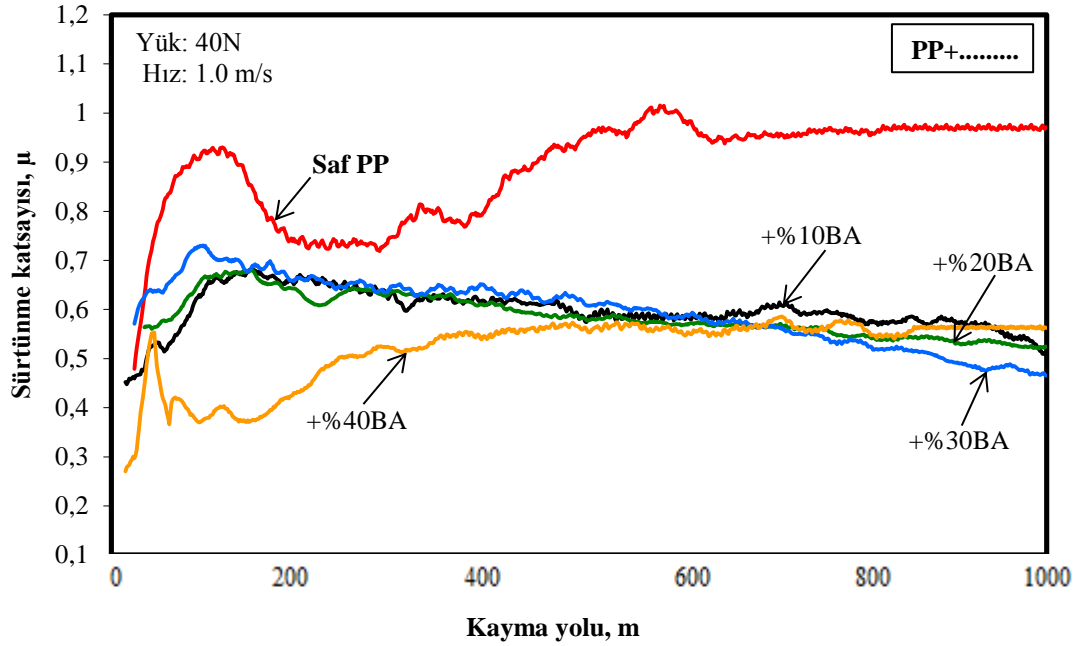
Bu bölümde yapılan tribolojik deneylerde kullanılan saf PP polimeri, bor mineral atığı katkılı PP kompozit ve PP-g-MA (maleik anhidrit aşılanmış polipropilen) aşılanmış bor minerali atığı katkılı PP kompozitlerin AISI 316L paslanmaz çelik diskinde karşı aşınma analizleri incelenmiştir.



Şekil 5.9. Saf PP polimeri ve %10, %20, %30 ve %40 Bor minerali atığı katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı:1.0m/s, Uygulanan yük:20N)

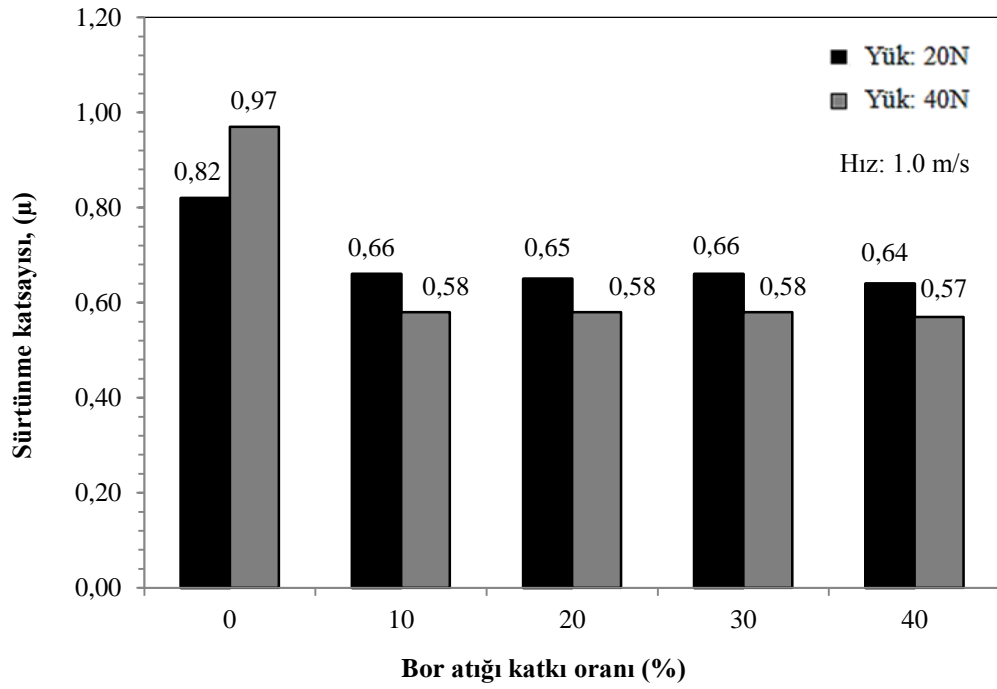
Şekil 5.9.'da saf PP polimeri ve %10, %20, %30 ve %40 Bor minerali atığı katkılı PP kompozitlerin 20N yük ve 1.0 m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi Saf PP'nin aşınma deneyinde sürtünme katsayısı değeri kayma yolu boyunca yavaş bir şekilde artış göstermiştir. BA katkılı PP kompozitlerinin sürtünme katsayısı, iki aşamalı olarak gerçekleşmiştir. İlk aşamada, sürtünme katsayıları hızlı bir şekilde artmıştır. Kararlı hal aşınması olarak isimlendirilen ikinci aşamada ise kompozitlerin sürtünme katsayısı sabit bir değer almıştır. Bunun sebebi, birinci aşamada, polimer malzemenin yüzeyindeki

pürüzlü tepelerin şekillenmesi ve ikinci aşamada ise bu pürüzlü tepelerin yok olması ve aşınma partiküllerinin yüzeyi örtmüş olmasıdır. Tüm bor minerali atığı katkılı PP kompozit malzemelerin, 75 metre kayma yolu sonunda ortalama olarak 0,65 sürtünme katsayısı değerinde stabilize olduğu gözlenmiştir. Saf PP polimerinin ise stabilize olmadığı gözlenmiştir.



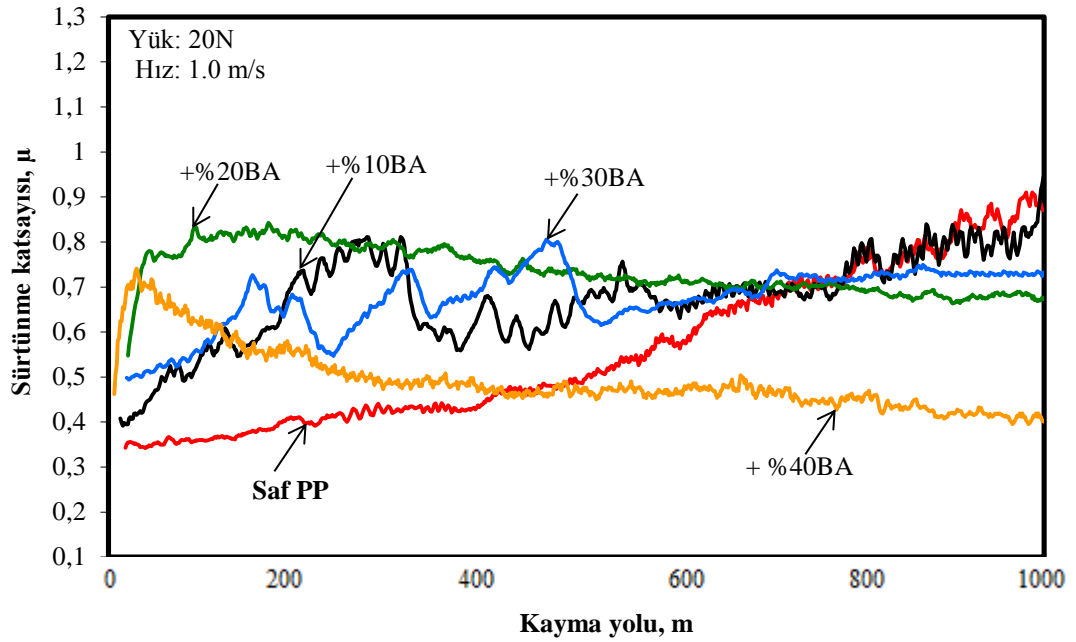
Şekil 5.10. Saf PP polimeri ve %10, %20, %30 ve %40 Bor minerali atığı katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı:1.0m/s, Uygulanan yük:40N)

Şekil 5.10.'da saf PP polimeri ve %10, %20, %30 ve %40 Bor minerali atığı katkılı PP kompozitlerin 40N yük ve 1.0 m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi Saf PP ve diğer bor minerali atığı katkılı kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı değerleri kayma yolunun hemen başında hızlı bir şekilde artış gösterdikten sonra, Saf PP ortalama 650 metre kayma yolu sonunda 0,97 sürtünme katsayısı değerini yakalayarak stabilize olmuştur. Diğer bor mineral atığı katkılı PP kompozit malzemeler de ise sürtünme katsayıları, ortalama 0,70 değerine kadar yükselip sonrasında azalarak 500 metre kayma yolu sonunda yaklaşık 0,58 seviyelerinde stabilize olmuşlardır.



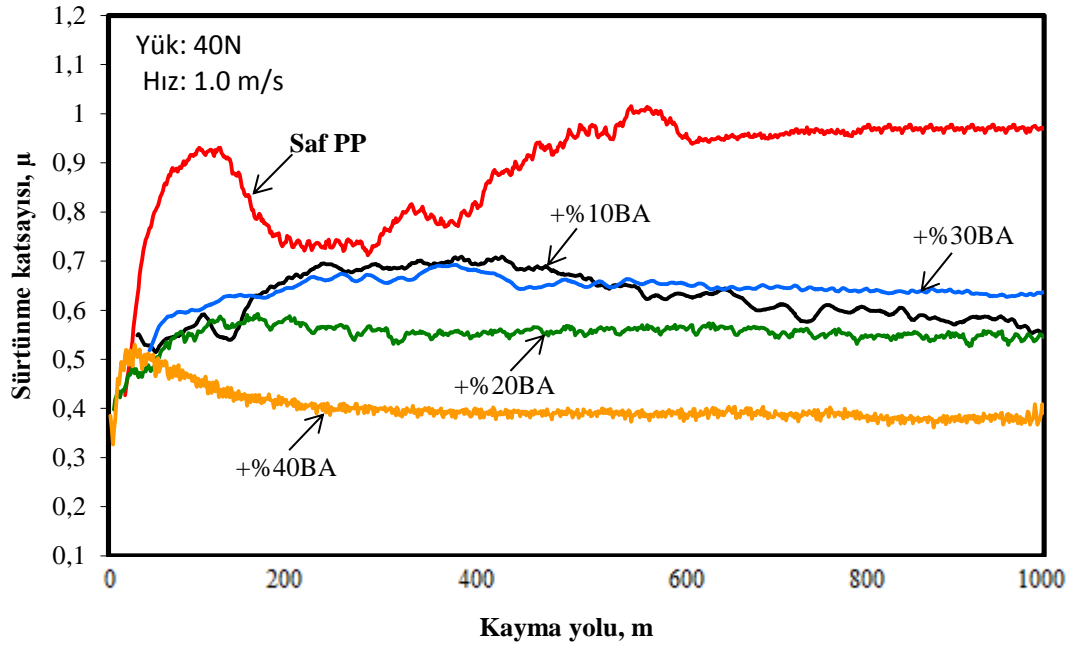
Şekil 5.11. Bor atığı katkılı Polipropilen polimer kompozitlerin sürtünme katsayısı-bor atığı katkı oranı ilişkisi (Yük: 20N,40N, Hız: 1m/s)

Şekil 5.11.'de BA katkı oranına bağlı olarak katkısız PP ve farklı oranlarda BA katkılı PP kompozitlerin 20N ve 40N yüke bağlı olarak sürtünme katsayısı değerlerinin değişimi verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi saf PP malzemeye göre bor mineral atığı ilavesi ile sürtünme katsayısı değerleri azalmıştır. Bu azalma saf PP, PP+%10BA, PP+%20BA, PP+%30BA, PP+%40BA katkılı polimer kompozitler için 20 N yük altında sırasıyla 0,82, 0,65, 0,66 ve 0,64 olarak tespit edilmiştir. Ancak 40 N yük altında ise sürtünme katsayısı değerlerinin daha da düştüğü gözlenmiştir. Kompozitlerin sürtünme katsayıları sırasıyla 0,97, 0,58, 0,58 ve 0,57 olarak belirlenmiştir. Yani kısaca yükün artması ile sürtünme katsayılarında belirgin oranda azalma olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, bor minerali atığının ve PP-g-MA uyumlaştırıcının sürtünme katsayısının azaltılmasında etkili bir katkı maddesi olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5.12. Saf PP polimeri ve %10, %20, %30 ve %40 Bor minerali atığı katkılı PP+%3(PP-g-MA) modifiyeli kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı:1.0m/s, Uygulanan yük:20N)

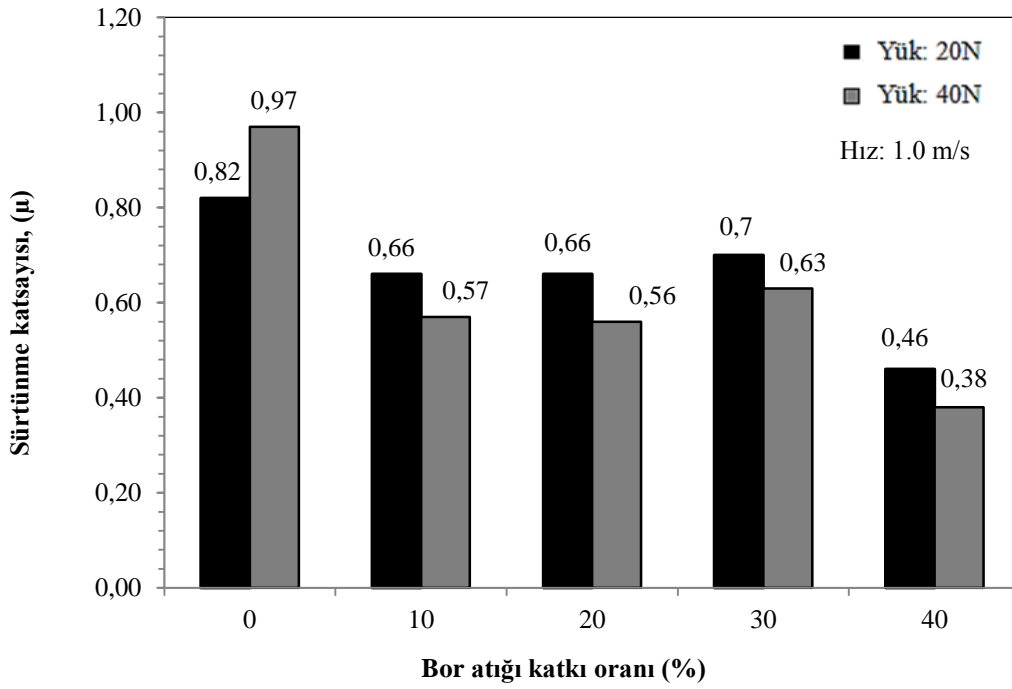
Şekil 5.12.'de saf PP polimeri ve uyumlaştırıcı içeren farklı oranlarda bor minerali atığı katkılı PP kompozitlerin 20N yük ve 1.0 m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi Saf PP'nin aşınma deneyinde sürtünme katsayısı değeri, sabit bir artma davranışı sergilerken, uyumlaştırıcı içeren bor minerali atığı katkılı PP kompozit malzemelerde sürtünme katsayısı uyumlaştırıcı ilavesiz BA kompozit malzemedeki gibi ilk aşamada, sürtünme katsayıları hızlı bir şekilde artmıştır. Kararlı hal aşınması olarak isimlendirilen ikinci aşamada ise kompozitlerin sürtünme katsayısı 700 metre kayma yolunda sabit bir değer almıştır. Saf PP'nin 1000 metre kayma yolunda stabilize olmadığı gözlenmiştir. PP +%3PP-g-MA+40 BA kompozit malzemenin sürtünme katsayısı değeri diğerlerine göre bariz bir şekilde düşerek yaklaşık 0,46 değerinde stabilize olmuştur. Bu durumun sebebi ise uyumlaştırıcı ilavesi ve BA ilavesinin artması ile sürtünmede oluşan yağlayıcılık özelliğinin artması olarak belirtilebilir. Diğer uyumlaştırıcı içeren BA katkılı kompozit malzemelerin sürtünme katsayı değerleri birbirine yakın bir şekilde seyretmiştir.



Şekil 5.13. Saf PP polimeri ve %10, %20, %30 ve %40 Bor minerali atığı katkı PP+%3(PP-g-MA) modifiyeli kompozitlerin sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi (Kayma hızı:1.0m/s, Uygulanan yük:40N)

Şekil 5.13.'de saf PP polimeri ve %10, %20, %30 ve %40 oranlarında bor minerali atığı içeren uyumlaştırıcı katkı PP kompozitlerin 40N yük ve 1.0 m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi Saf PP'nin sürtünme katsayısı değeri kayma yolunun ilk başında hızlı bir şekilde artış göstermiş ve 600 metre kayma yolu sonrasında stabilize olarak 0,97 değerine ulaşmıştır. Uyumlaştırıcı içeren bor minerali atığı katkı PP kompozit malzemelere bakıldığında özellikle PP+%3PP-g-MA+%40BA kompozit malzemenin sürtünme katsayısı değeri diğerlerine göre bariz bir şekilde düşerek yaklaşık 300 metre kayma mesafesinde yaklaşık 0,38 değerinde stabilize olmuştur. Diğer kompozit malzemelerin sürtünme değerleri yaklaşık olarak birbirine yakın seyretmiştir.



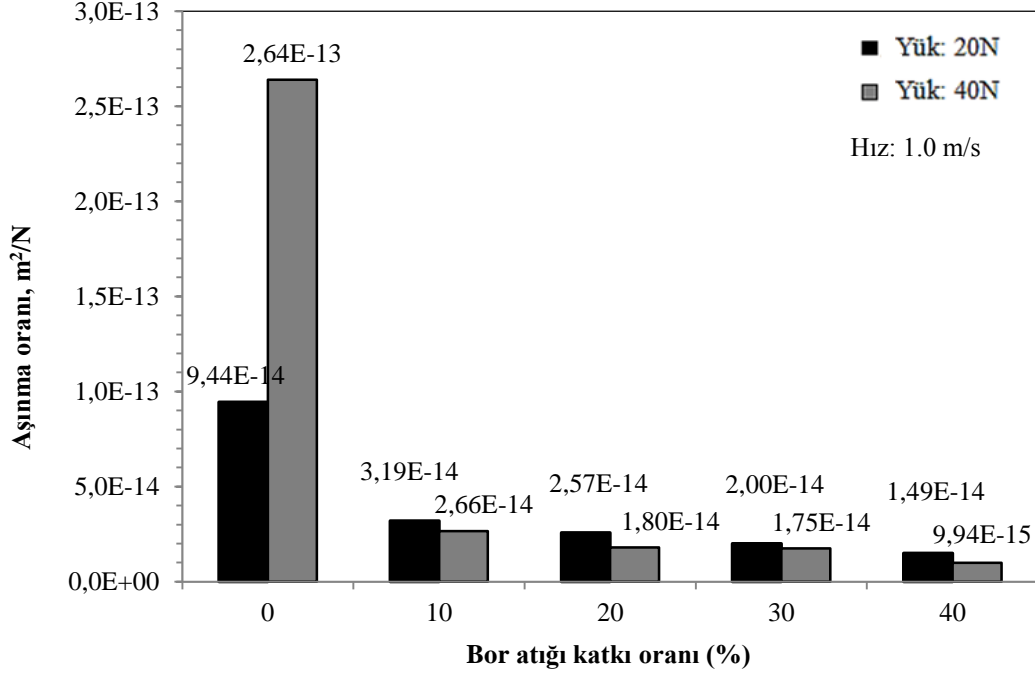


Şekil 5.14. Bor atığı ve PP-g-MA uyumlaştırıcı katkılı Polipropilen polimer kompozitlerin sürtünme katsayısı- bor atığı katkı oranı ilişkisi

Şekil 5.14.'de katkısız PP polimeri ve farklı oranlarda bor minerali atığı katkılı uyumlaştırıcı modifiyeli PP kompozitlerin sürtünme katsayısı ile bor minerali atığı (BA) katkı oranı arasındaki ilişki görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi katkısız PP malzemeye göre bor mineral atığı ve uyumlaştırıcı katkısı ile sürtünme katsayısı değerleri düşüş göstermiş ve bu katkı miktarının artması ile de değerler %10, %20 ve %30BA katkılı kompozit malzemelerde birbirine yakın seyretmiştir. Fakat %40BA katkılı uyumlaştırıcı içeren PP kompozit malzemede sürtünme katsayısı değeri büyük oranda düşmüştür. Bu arada dikkat edilecek bir başka husus ise 40 N yükte PP malzemede sürtünme katsayısı değeri, 20 N yükteki değere göre daha fazla iken BA katkısı ile bu durum tersine dönmüş ve 40 N yükte BA katkısı ile sürtünme katsayısı değeri, 20 N yükteki değere göre daha düşük seyretmiştir.

PP malzemeye ilave edilen bor atığı, sürtünme katsayısı değerinin düşmesinde önemli bir rol oynayarak uygulanan yükün miktarının artması ile sürtünme katsayısı değerlerinin düşmesine neden olmuştur. Bu kompozit malzemeye ilave edilen uyumlaştırıcı ise bor atığı katkısının en fazla olması durumunda yani %40 BA katkı

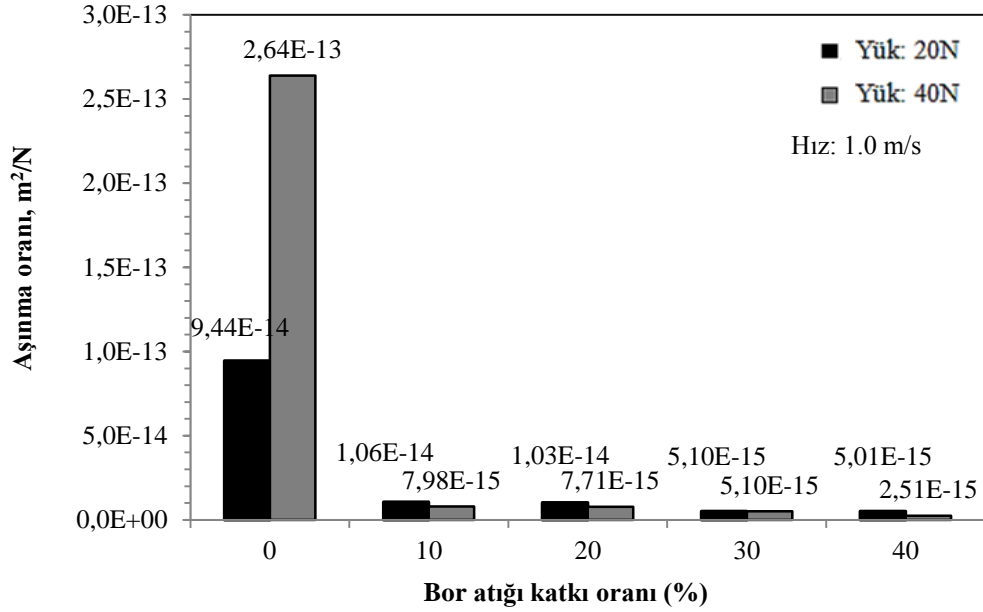
oranında, sürtünme katsayısı değerini önemli derecede düşürmüş olup 0,38 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.15. Bor atığı katkılı Polipropilen polimer kompozitlerin spesifik aşınma oranı-bor atığı katkı oranı ilişkisi

Şekil 5.15.'de saf PP polimeri ve farklı oranlarda bor minerali atığı katkılı PP kompozitlerin aşınma oranı ile bor atığı katkı oranı arasındaki ilişki görülmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere saf PP malzemeye göre bor atığı katkısı ile oluşan kompozit malzemenin aşınma oranı önemli oranda azalmıştır. 20 N yük altında 1.0 m/s kayma hızında saf PP'nin spesifik aşınma oranını  $9,44 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  iken %10, %20, %30 ve %40 bor atığı katkılı PP kompozitlerin aşınma oranları sırasıyla  $3,44 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $2,57 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $2,00 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $1,49 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak belirlenmiştir. Yani bor atığı katkı oranının artması ile spesifik aşınma oranları değerleri azalmıştır. Bu azalma oranı saf PP'ye göre sırasıyla %66, %72, %78 ve %84 olarak gerçekleşmiştir. 40 N yük altında 1.0 m/s kayma hızında saf PP'nin spesifik aşınma oranını  $2,64 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$  iken %10, %20, %30 ve %40 bor atığı katkılı PP kompozitlerin aşınma oranları sırasıyla  $2,66 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,80 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ ,  $1,75 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$  ve  $9,94 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$  olarak belirlenmiştir. Yani bor atığı katkı oranının artması

ile spesifik aşınma oranları değerleri azalmıştır. Bu azalma oranı saf PP'ye göre sırasıyla %90, %81, %81 ve %89 olarak gerçekleşmiştir.

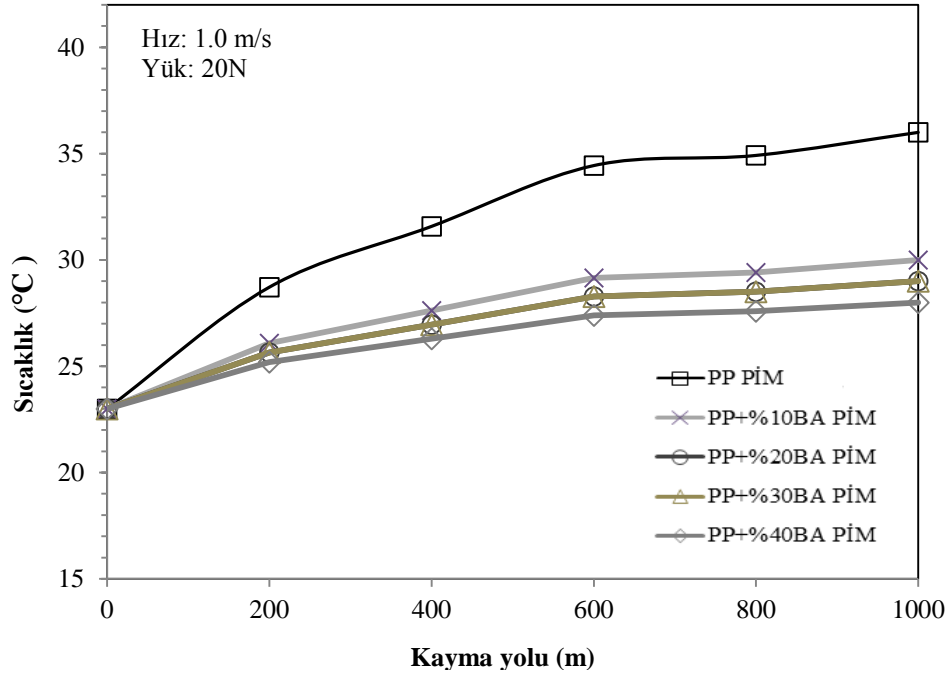


Şekil 5.16. Bor atığı ve PP-g-MA uyumlaştırıcı katkılı Polipropilen polimer kompozitlerin spesifik aşınma oranı-bor atığı katkı oranı ilişkisi

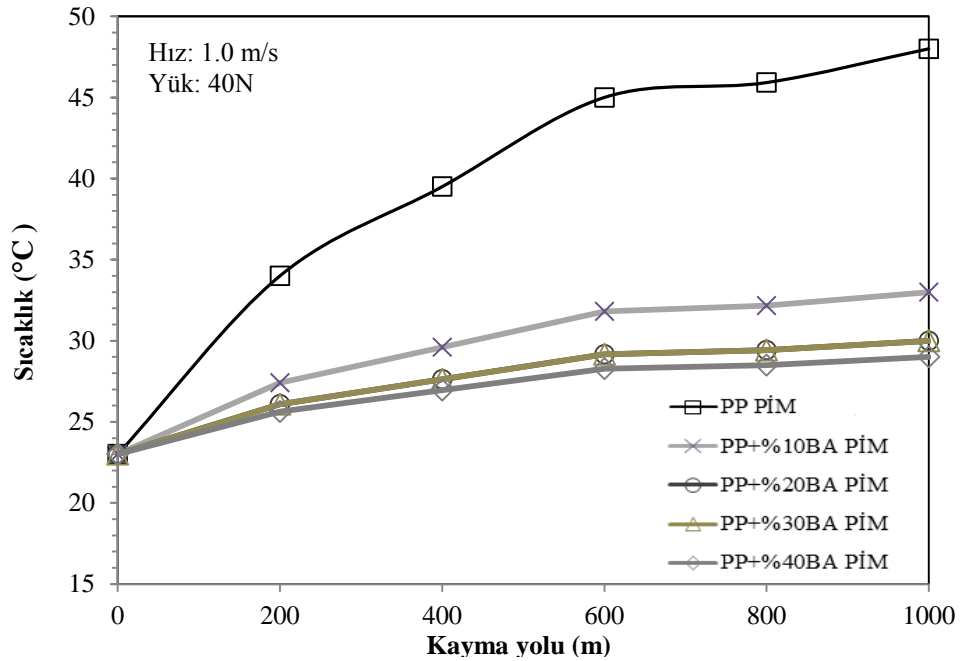
Şekil 5.16'da katkısız PP polimeri ve farklı oranlarda bor minerali atığı ile uyumlaştırıcı katkılı PP kompozitlerinin aşınma oranı ile bor minerali atığı (BA) katkı oranı arasındaki ilişki görülmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere saf PP malzemeye göre bor atığı katkısı ile oluşan kompozit malzemenin aşınma oranı büyük miktarda azalmıştır. PP+%10BA, PP+%20BA, PP+%30BA ve PP+%40BA kompozitlerin PP-g-MA uyumlaştırıcı katkılı kompozitlerin, uyumlaştırıcı olmadan kullanılan kompozitlerin spesifik aşınma oranları kıyaslandığında PP-g-MA bor katkılı kompozitlerin spesifik aşınma oranlarının azaldığı tespit edilmiştir. Örnek verilecek olunursa bu azalma oranı PP+%10BA, PP+%20BA, PP+%30BA ve PP+%40BA kompozitler için sırasıyla %70, %57, %70 ve %74 şeklinde gerçekleşmiştir.

Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'deki uyumlaştırıcı katkısız malzemedeki aşınma deney sonuçları kıyaslandığında; Bor atığı, aşınma oranı değerlerini düşürmede çok etkili iken, PP-g-MA uyumlaştırıcı katkısı ile bu aşınma oranı değerleri daha da

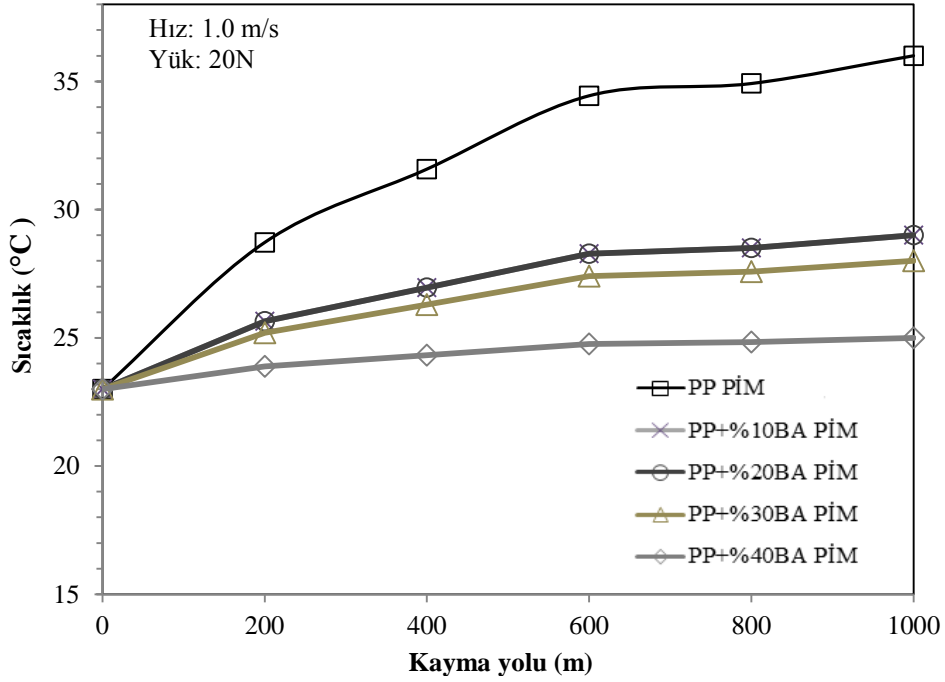
düşmektedir.



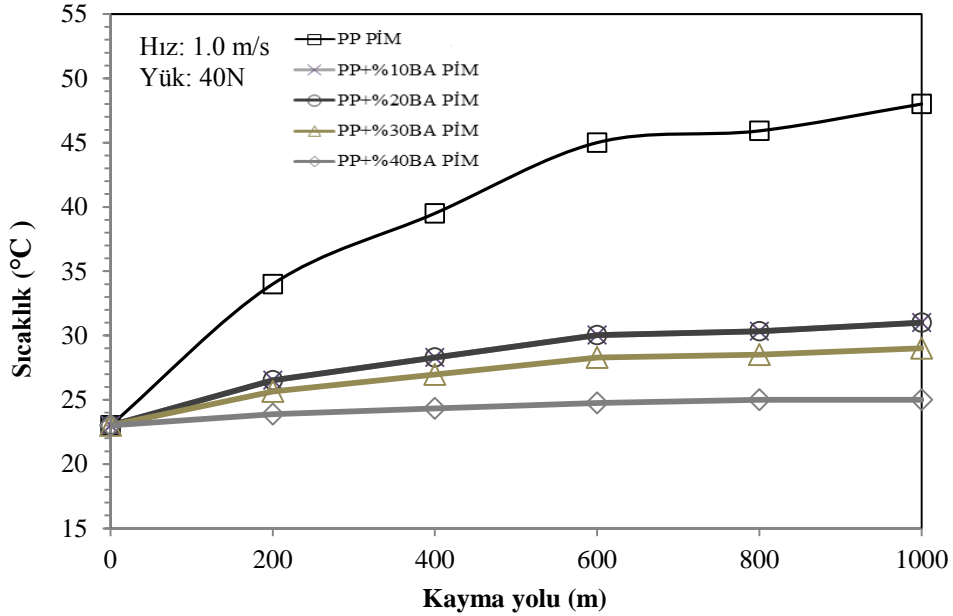
Şekil 5.17. Saf PP polimeri ve %10, %20, %30 ve %40 Bor minerali atığı katkı PP kompozitlerin 20N yükte aşınma süresince oluşan sıcaklık – kayma yolu ilişkisi



Şekil 5.18. Saf PP polimeri ve %10, %20, %30 ve %40 Bor minerali atığı katkı PP kompozitlerin 40N yükte aşınma süresince oluşan sıcaklık - kayma yolu ilişkisi



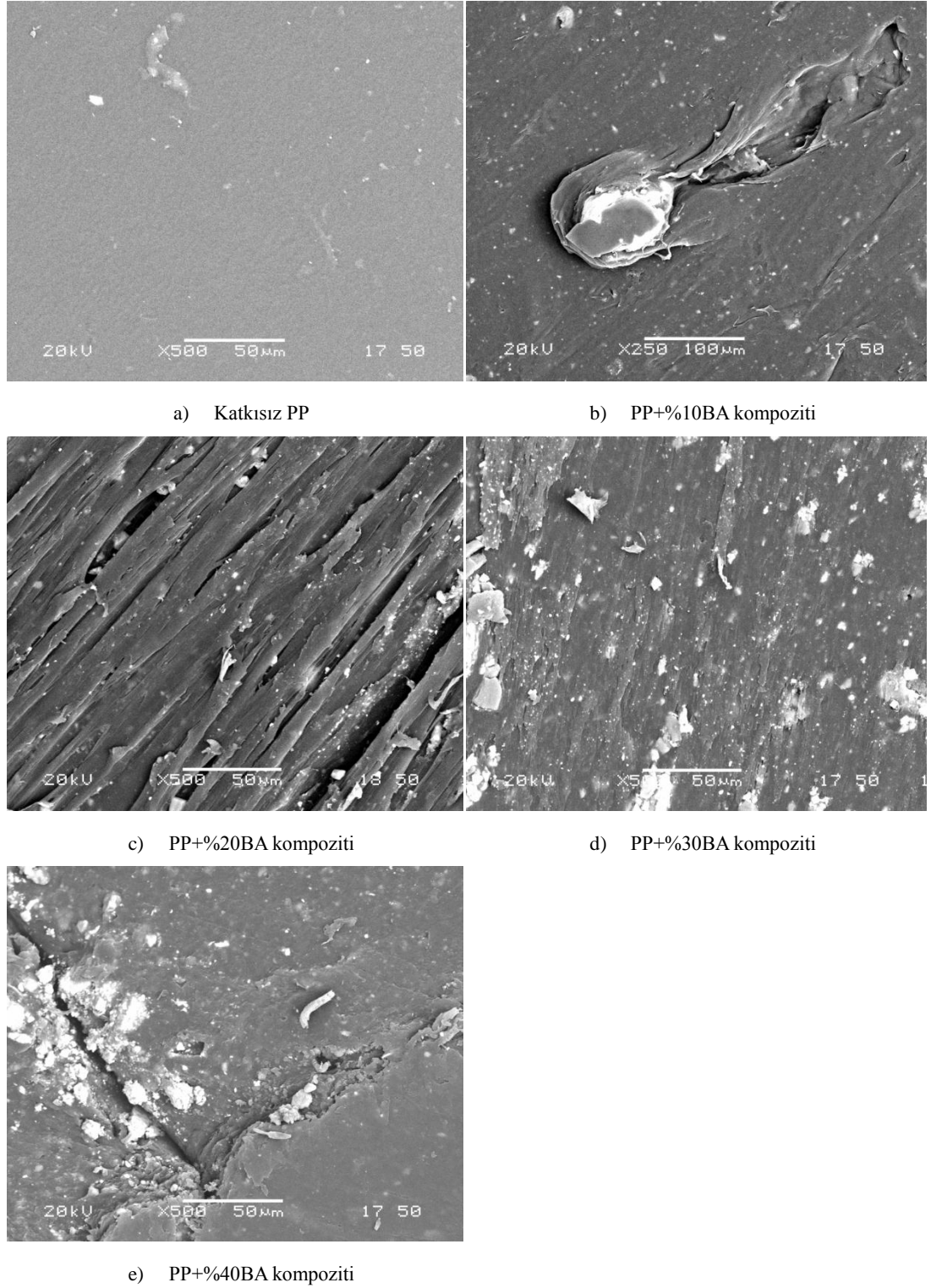
Şekil 5.19.Saf PP polimeri ve %10, %20, %30 ve %40 Bor minerali atığı ile uyumlaştırıcı katkı PP kompozitlerin 20N yükte aşınma süresince oluşan sıcaklık - kayma yolu ilişkisi



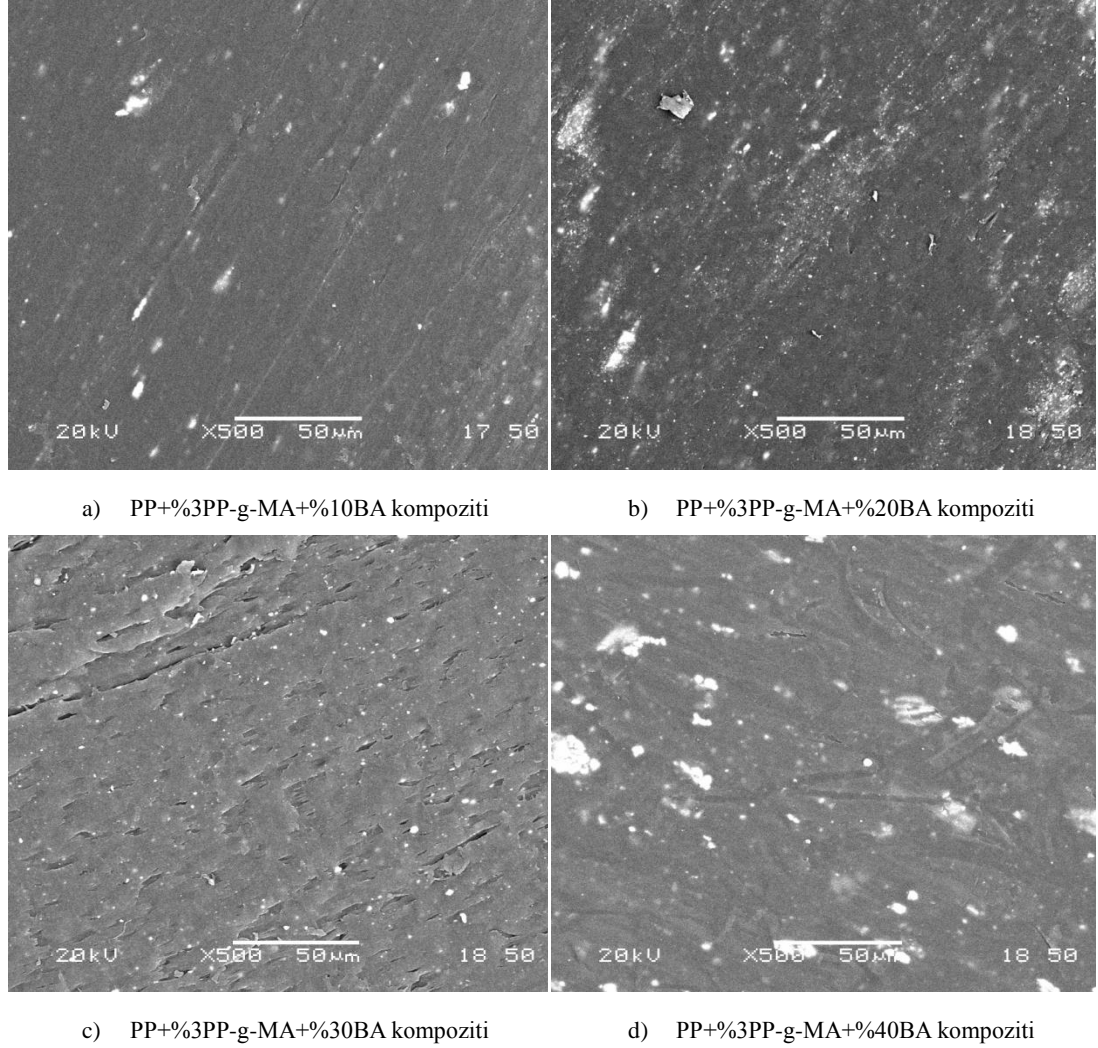
Şekil 5.20.Saf PP polimeri ve %10, %20, %30 ve %40 Bor minerali atığı ile uyumlaştırıcı katkı PP kompozitlerin 40N yükte aşınma süresince oluşan sıcaklık - kayma yolu ilişkisi

Şekil 5.17 ve Şekil 5.18 saf PP polimeri ile PP+BA kompozitlerinin sırasıyla 20 N ve 40 N yük altında ve 1m/s kayma hızındaki sıcaklık – kayma yolu ilişkisini göstermektedir. Şekiller detaylı incelendiğinde saf PP polimerinin BA katkılı kompozitlere göre pim sıcaklıklarının belirgin bir artış gösterdiği gözlenmiştir. 20 N yükte meydana gelen pim sıcaklığı 35°C'ye ulaşırken, 40 N yük altında ise sıcaklık 48°C'ye ulaşmıştır. Fakat BA katkılı PP kompozitlerin pim sıcaklıkları pek yükselmemiş olup, pim sıcaklığı yaklaşık olarak 28-33°C arasında değişmiştir. Şekil 5.19 ve Şekil 5.20'de ise uyumlaştırıcı katkılı kompozitlerde pim sıcaklıklarında benzer davranış gözlenmiştir. Bu verilere göre pim sıcaklığının artması ile PP polimer kompozitlerin sürtünme katsayılarının arttığı gözlenmiştir. Ünlü ve Yılmaz yaptıkları çalışmada [52], borun sürtünme katsayısını azaltıp, aşınma dayanımı artardığını savunmuşlardır.

### 5.3.2. Aşınmış polimer yüzeylerinin (SEM) mikroyapı incelemeleri



Şekil 5.21. Katkısız PP ve farklı oranlarda bor atığı katkılı polipropilen polimer kompozitlerin taramalı elektron mikroskop (SEM) aşınma yüzey görüntüleri (Yük:40N, Hız 1.0m/s)



Şekil 5.22. Farklı oranlarda bor atığı ve PP-g-MA uyumlaştırıcı katkı polipropilen polimer kompozitlerin aşınma yüzeyi taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntüleri (Yük:40N, Hız 1.0m/s)

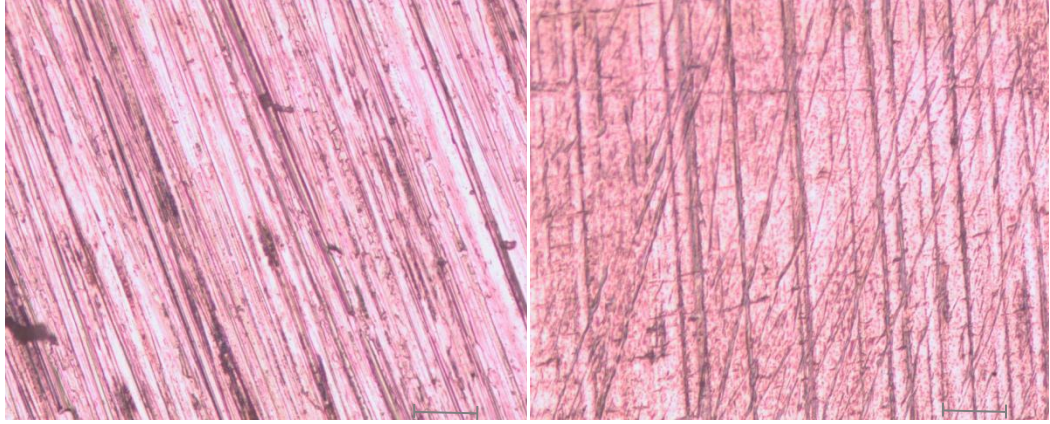
Şekil 5.21 Saf PP ce farklı oranlarda (%10-40) BA katkı içeren PP kompozitlerin 40 N yük altında ve 1m/s kayma hızında elde edilen taramalı elektron mikroskop görüntüleri verilmektedir. Şekil 5.21 (a) incelendiğinde düzgün ve temiz bir aşınma yüzeyi gözlenirken %10 ve %20 BA bor atığı katkıli PP kompozitlerinde derin ve geniş aşınma izleri gözlenmektedir. Yani aşınma mekanizması abrasiv olarak ifade edilebilir. %30 ve %40 BA katkıli PP kompozitlerin taramalı elektron mikroskop görüntülerinde ise aşınma izleri azalmış ve biraz daha düzgün yüzeyler gözlenmektedir.

Şekil 5.22'de PP+PP-g-MA+%10BA, PP+PP-g-MA+%20BA, PP+PP-g-MA+%30BA ve PP+PP-g-MA+%40BA katkıli kompozitlerin 40 N yük ve 1 m/s kayma



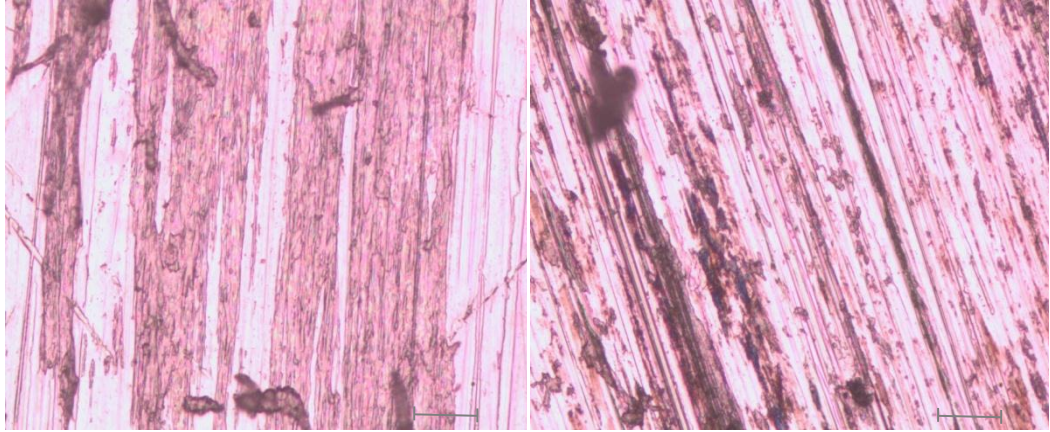
hızındaki taramalı elektron mikroskop görüntüleri verilmektedir. Şekil 5.22 dikkatli bir şekilde incelendiğinde PP-g-MA uyumlaştırıcı katkılı kompozitlerin aşınma yüzeylerinin daha düzgün ve ince aşınma izlerinin olduğu görülmektedir. Aşınma mekanizması olarak abrasiv aşınma olarak ifade edilebilir. Ancak uyumlaştırıcı katkının PP ve BA partiküllerini iyi bağladığı ve bu sebepten sert olan BA partiküllerinin kompozit yüzeyini kapladığı için çizmediği gözlenmiştir.

### 5.3.3. Aşınma - disk mikroyapı incelemeleri



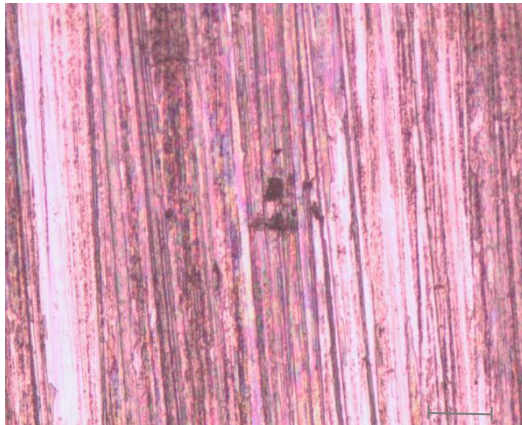
a) Katkısız PP aşınmış disk

b) PP+%10BA kompozit aşınmış disk



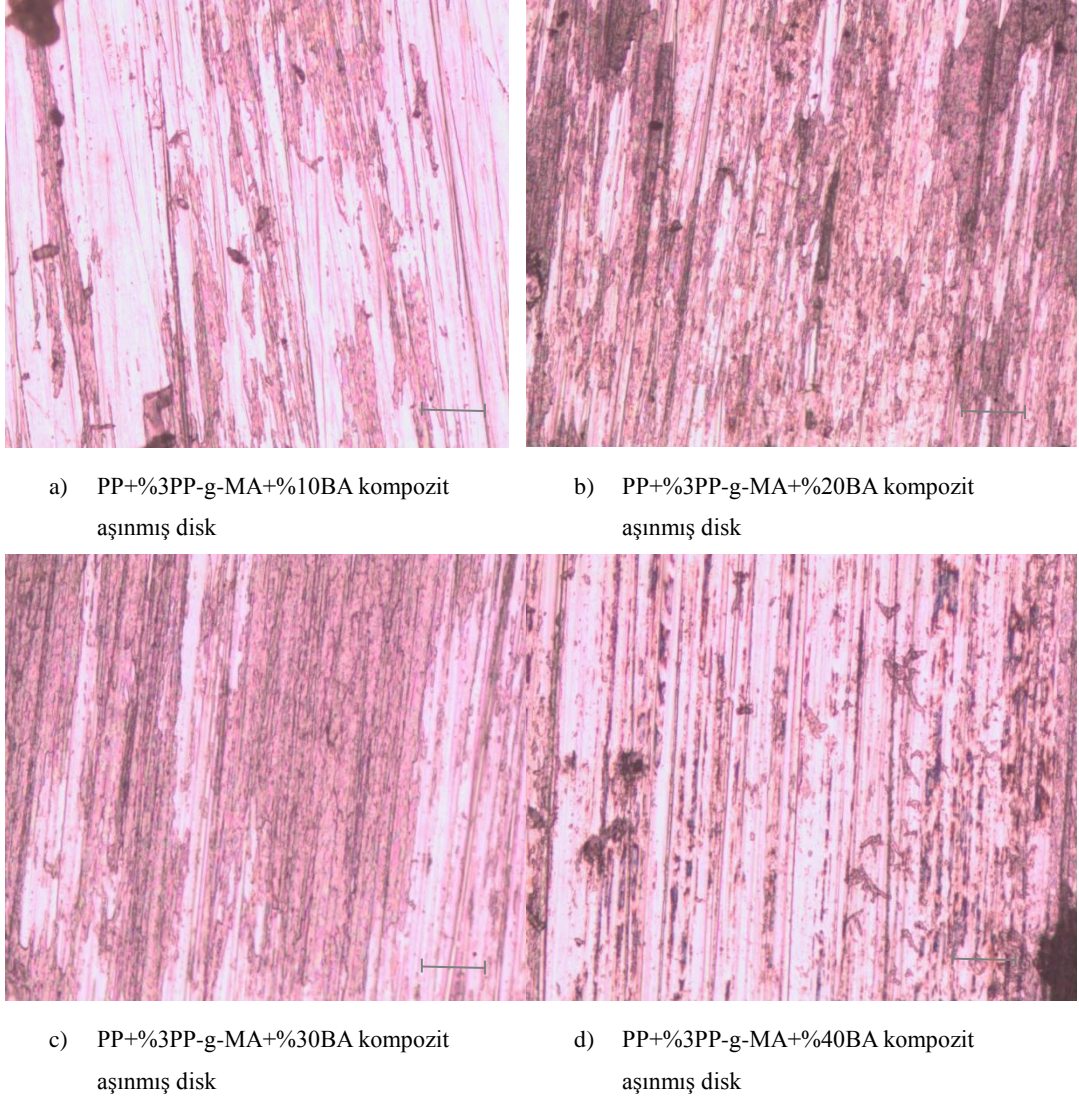
c) PP+%20BA kompozit aşınmış disk

d) PP+%30BA kompozit aşınmış disk



e) PP+%40BA kompozit aşınmış disk

Şekil 5.23. Katkısız PP polimer ve farklı oranlarda bor atığı katkı polipropilen polimer kompozitlerin AISI 316L paslanmaz çelik disk yüzeyinde çalışması durumundaki çelik disk yüzeyi optik mikroyapı görüntüleri (Yük:40N, Hız 1.0m/s) – (x100 büyütme)



Şekil 5.24. Uyumlaştırıcı ve farklı oranlarda bor atığı katkı polipropilen polimer kompozitlerin AISI 316L paslanmaz çelik disk yüzeyinde çalışması durumundaki çelik disk yüzeyi optik mikroyapı görüntüleri (Yük:40N, Hız 1.0m/s)- (x100 büyütme)

Şekil 5.23, 40 N yük ve 1m/s kayma hızında AISI 316L paslanmaz çelik disk yüzeyi üzerinde çalışan saf PP ve bor atığı katkı PP kompozitlerin optik mikroskop aşınma yüzeyi disk görüntülerini göstermektedir. Şekil 5.23 incelendiğinde deneylerde kullanılan tüm malzemelerde disk yüzeyinde ince bir film tabakası olduğu tespit edilmiştir. Bu film tabakası tüm malzemelerin spesifik aşınma oranlarının azalmasına sebep olduğu şeklinde yorumlanabilir.

## BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

### 6.1. Sonuçlar

- a. PP ve farklı oranlarda bor mineral atığı katkılı PP kompozitlerinin çekme ve kopma mukavemetleri ile sürtünme katsayıları azalırken elastiklik modülü, sertlik ve aşınma direnci değeri de artış göstermiştir.
- b. PP-g-MA (uyumlaştırıcı) katkılı kompozitlerin çekme ve kopma mukavemetleri ile sürtünme katsayıları artan BA oranına bağlı olarak azalma göstermiştir. Yine benzer şekilde, bor mineral atığı katkı oranının artması ile çekmedeki elastiklik modülü, sertlik ve aşınma direnci değerlerinin de artış gösterdiği tespit edilmiştir.
- c. PP ve değişik oranlarda bor mineral atığı katkılı PP kompozitlerinin sürtünme katsayısı ve aşınma oranı değerleri bor mineral atığı katkılı oranının artması ile azalırken, saf PP polimerinde yükün artması ile bu değerler artış göstermiştir.
- d. Uyumlaştırıcı (PP-g-MA) ilaveli kompozit malzemelerinin aşınma deneyinde BA oranının ve yük miktarının artması ile aşınma oranı ve sürtünme katsayısı değeri düşerken, saf PP polimerinde ise yükün artması ile bu değerler artış göstermiştir.
- e. Taramalı elektron mikroskop incelemelerinden PP ile bor mineral atığı katkısının birbirlerine PP-g-MA ilavesi ile iyi bağlanabildiği/bağlanabilmeye katkı sağladığı ifade edilebilir. Ayrıca bu sayede aşınma direncinin de arttığından da söz edilebilir.

- f. Yapılan çalışmalar sonucunda kullanılan PP polimeri ile BA katkılı kompozitler arasında en iyi mekanik, fiziksel ve tribolojik özellikler PP+%3PP-g-MA+%40BA kompozit malzemesi göstermiştir.

## 6.2. Öneriler

- a. Toz formunda olan bor atıklarının endüstriye kazandırılması ve ekonomik açıdan fayda sağlaması için farklı polimer malzemelerde kullanılabilir.
- b. Bor'un yanmayı geciktiricilik özelliklerini ön plana çıkararak polimer kompozit malzemelerde yanmayı geciktiricilik özellikleri incelenebilir.
- c. Atıkların değerlendirilmesi, çevreye etkilerin azaltılması, ekonomiklik sağlanması ve plastik sektöründe farklı endüstriyel alanlarda kullanılabilirliği araştırılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Saylan, T., PA 6 Kompozitlerinin termal, mekanik ve tribolojik özelliklerinin incelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- [2] Karaoğlu, Y., Bir Aşınma test cihazının tasarımı ve imalatı. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [3] Topçuoğlu, E., Bayram, G., Sezgi, A., Preparation and characterization of polymer composites containing boron compounds. Yüksek lisans tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 2016.
- [4] Celioğlu, S., Serhatlı, E., Atrp ile bor içeren polimetilmetakrilat sentezi. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2016.
- [5] Cheng, F., Jäkle, F., Boron-containing polymers as versatile building blocks for functional nanostructured materials. Polymer Chemistry, Issue 10, 2011.
- [6] Parab, K., Jäkle, F., Boron containing vinyl aromatic polymers: synthesis, characterization and applications. Graduate School, The State University of New Jersey, 2009.
- [7] Uygunoğlu, T., Güneş, I., Brostow, W., Physical and Mechanical Properties of Polymer Composites with High Content of Wastes Including Boron. Journal of Materials Research,, 2015.
- [8] Yazıcı, D., Çetinkaya, H., Evaluation of boron industrial solid waste in composite materials. Composite Interfaces, VOL. 25, NO. 1, 13–25, 2018.
- [9] Doyle, M., Jaffe, G., Polymer compositions stabilized with boron compounds. United State Patent Office, 1964.
- [10] Gerhart, F., Wiliams, R., Boron polymer. Aerojet General Corporation, Canada, 1966.
- [11] Uslu, I., Daştan, H., Altaş, A., Yaylı, A., Atakol, O., Aksu, L., Preparation and Characterization of PVA/Boron Polymer Produced by an Electrospinning Technique. E-polymers, No:133, 2007.

- [12] Zhang, Y.Q., Joong-Hee, L., Han-Jong, J., Chang-Woon, N., Preparing PP/clay nanocomposites using a swelling agent. *Composites: Part B* 35, 133–138, 2004.
- [13] Qiu, F., Zhao, W., Han, S., Zhuang, X., Lin, H., Zhang, F., Recent Advances in Boron-Containing Conjugated Porous Polymers. *Polymers*, 8, 191, 2016.
- [14] Kurucu, G., Rzayev, Z., Maleik anhidritin ardışık kopolimerlerinin bor içeren türevlerinin sentezi ve karakterizasyonu. Yüksek lisans tezi, Hacettepe Teknik Üniversitesi, 2009.
- [15] Oruç, F., Sabah, E., Erkan E., Türkiye'de Bor Atıklarının Sektörel Bazda Değerlendirme Stratejileri Evaluation Strategies of Boron Tailings according to Sector. II.Uluslararası Bor Sempozyumu, 2004.
- [16] Yadav, A., K., Satapathy, A., Thermal characteristics of boron nitride filled epoxy composites. Graduate School, National Institute of Technology, Mechanical Engineering, 2013.
- [17] Singla, M., Chawla, V., Mechanical properties of epoxy resin-fly ash composite. *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*. 9(3):199-210, 2010.
- [18] Gu, J., Wu, G., Zhang, Q., Preparation and damping properties of fly ash filled epoxy composites. 452-453:614-618, *Materials Science and Engineering A*, 2007.
- [19] Svoboda, P., Changchun, Z., Hua, W., James, L.L., David, L.T., Morphology and mechanical properties of polypropylene/organoclay nanocomposites. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 85, 1562–1570, 2002.
- [20] Yetgin, H., Otomotiv sektörü için polimer köpük malzeme üretimi ve karakterizasyonu. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- [21] Kansu, Y., Cam küre, CaCO<sub>3</sub> ve talk dolgulu polipropilen hibrit kompozitlerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 17-18, 2005.
- [22] Devesh, T., Practical Guide to polypropylene. Rapra Technology Limited, 1-65, UK, 2002.
- [23] Lopez, D., Picazo, G., Merino, J.C.O., Pastor, J.M., Polypropylene–Clay nanocomposites: Effect of compatibilizing agents on clay dispersion. *European Polymer Journal*, *European Polymer Journal*, 39/5, 945–950, 2003.

- [24] Chiu, F.C., Sun-Mou, L., Jong-Wu, C., Pei-Hsien, C., Combined effects of clay modifications and compatibilizers on the formation and physical properties of melt-mixed polypropylene/clay nanocomposites. *Polymer Science: Part B: Polymer Physics*, 2004.
- [25] Karian, H., Handbook of polypropylene and polypropylene composites. 1996.
- [26] Nina, V., Vesna, R., Effect of EPDM on morphology, mechanical properties, crystallization behavior and viscoelastic properties of iPP+HDPE blends. *Macromol. Symp.*, 258, 90-100, 2007.
- [27] Ariffin, A., Mansor, A.S., Jikan, S.S., Mohd, Z.A.I., Evaluation of hybridizing talc and surface-treated kaolin on the properties of PP hybrid composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29: 3429-344, 2010.
- [28] Liu, S.L., Lu, X.H., Liew, F.Y., Lim, S.H., Yong, M.S., Melt processing and properties of intercalated polypropylene/organoclay nanocomposites. *STR/04/004/FT*, 21-27, 2004.
- [29] Durmuş, A., Poliolenin Nanokompozitlerin Hazırlanması. İstanbul Üniversitesi, Doktora tezi, 2006.
- [30] Pavlidou, S., Papaspyrides, C.D., A review on polymer-layered silicate nanocomposites. *Progress in Polymer Science* 33, 1119–1198, 2008.
- [31] Yaman, C., Maraşoğlu, M., Bor minerali atığından üretilen camsı maddenin olası kullanım alanları. 4.Seramik Kongresi. Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 97-102, 1998.
- [32] Hasegawa, N., Kawasumi, M., Kato, M., Usuki, A., Okada, A., Preparation and mechanical properties of polypropylene-clay hybrids using a maleic anhydride-modified polypropylene oligomer. *J. Appl. Polym. Sci.*, 87–92. 1997.
- [33] Zita, M., Dirk, K., Ralf, T., Rolf, M., Eberhard, B., Syndiotactic Poly(propylene)/organoclay nanocomposite fibers: influence of the nano-filler and the compatibilizer on the fiber properties. *Polymers for Advanced Technologies*, 16: 362–369, 2005.
- [34] Lertwimolnun, W., Vergnes, B., Influence of compatibilizer and processing conditions on the dispersion of nanoclay in a polypropylene matrix. *Polymer* 46, 3462–3471, 2005.
- [35] Yiğitbaşoğlu, H., Türkiye için önemli bir maden: Bor. *Coğrafi Bilimler dergisi* 2 , 2, 14, 2004.



- [36] Moseman, R.F., Chemical disposition of boron in animals and humans. *Environmental Health Perspect*, 102: 113-117, 1994.
- [37] DPT, Madencilik özel ihtisas komisyonu raporu. Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara, 2001.
- [38] Sür, A., Sür, Ö., Yiğitbaşıoğlu, H., Mineraller ve Kayaçlar. Bilim Yayıncılık, Ankara, 2001.
- [39] Karadeniz, M., Cevher zenginleştirme tesit artıklarının çevreye etkileri-önlemler. MTA MAT Daire Başkanlığı, Ankara, 332, 1996.
- [40] Griffin, T.S., Downing, T.L., Rio tinto borax's pond reprocessing and sustainable development. *New developments in mineral processing*, 9. Balkan Mineral Processing Congress, Eds önal, Atak, Güney, Çelik&Yiice, İstanbul, 319-324, 2001.
- [41] T., Bentli, O., Özdemir, M.S., Çelik, N., Ediz., Bor atıkları ve değerlendirilme stratejileri. *madencilik dergisi* 253, 2005.
- [42] Akyıldız, A., Beton üretiminde bor atıklarının puzzolan materyal olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi, 2012.
- [43] Kurtuluş. E., Bazı termoplastik kompozit malzemelerin mekanik ve tribolojik özelliklerinin incelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- [44] Oğuz, B., Aşınma sorunları ve dolgu kaynakları, Oerlikon yayını, 1993.
- [45] Dickens, P.M., Sullivan, J.L., Speed effects on the dry and lubricated wear of polymers. *Wear*, 112: 273–289, 1986.
- [46] Varol, N., Plastik malzemelerde aşınma. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Eğitimi Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 1994.
- [47] Dural, A., Özcan, G., Polipropilen/titanyum dioksit nanokompozit liflerin üretimi ve karakterizasyonu. TMMOB Tekstil Mühendisleri Odası, cilt:22 sayı:99, 2015.
- [48] Sevinç, E., Bazı katkılı ve katkısız polimerlerin çok düşük hızlarda sürtünme ve aşınma değerlerinin deneysel olarak tayini, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 1995.
- [49] Uzuner, H., Polimerlerin sürtünme ve aşınma davranışları. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2001.

- [50] Kaştan, A., Oral, O., Polimer Matrisli Kompozitlerin ekme Mukavemetine Nano Katkıların Etkisi. Bartın Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi Cilt 4 Sayı 1 (2016), 35-41, 2016.
- [51] Öztoksoy, M.,E., Poliolefin Nanokompozitlerin Özelliklerine Farklı Uyumlaştırıcıların Etkisinin Araştırılması. Tez (Yüksek Lisans) -- İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014.
- [52] Ünlü, B.,S., Yılmaz, S.,S., Bor Ve Borlamanın Kullanım Alanları. Mühendis ve Makina - Cilt : 47 Sayı: 552, 2015.

## EKLER

### EK A: Deneylerde kullanılan numunelerin akma, çekme ve kopma mukavemet değerleri

| Sıra no | Numue                 | $\sigma_{akma}$<br>N/mm <sup>2</sup> | $\sigma_{çekme}$<br>N/mm <sup>2</sup> | $\sigma_{kopma}$<br>N/mm <sup>2</sup> |
|---------|-----------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1       | PP                    | 14,865                               | 22,6142                               | 14,51                                 |
| 2       | PP+%10BA              | 14,725                               | 21,7654                               | 14,15                                 |
| 3       | PP+%20BA              | 14,5                                 | 21,4472                               | 14,01                                 |
| 4       | PP+%30BA              | 14,26                                | 20,8562                               | 13,95                                 |
| 5       | PP+%40BA              | 14,12                                | 20,1373                               | 13,811                                |
| 6       | PP+%3 (PP-g-MA)+%10BA | 14,555                               | 20,6866                               | 1,14623                               |
| 7       | PP+%3(PP-g-MA)+%20BA  | 14,588                               | 21,4523                               | 0,46404                               |
| 8       | PP+%3(PP-g-MA)+%30BA  | 14,322                               | 21,8051                               | 0,38886                               |
| 9       | PP+%3(PP-g-MA)+%40BA  | 14,111                               | 23,2022                               | 0,68218                               |

**EK B: DeneYlerde kullanılan numunelerin değişik deney sonuçları**

| Sıra | Numune                | E modülü N/mm <sup>2</sup> | Sertlik Shore D | % ek Kopmadaki yüzde uzama | Darbe enerjisi (joule) | Darbe muk. (kJ/m <sup>2</sup> ) |
|------|-----------------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|------------------------|---------------------------------|
| 1    | PP                    | 1150,63                    | 59,4            | 581,095                    | 2,661                  | 665,25                          |
| 2    | PP+%10BA              | 1942,37                    | 59,7            | 495,52                     | 1,79                   | 447,38                          |
| 3    | PP+%20BA              | 2250,45                    | 60,3            | 403,295                    | 1,222                  | 308,88                          |
| 4    | PP+%30BA              | 2850                       | 60,4            | 365,45                     | 0,722                  | 180,43                          |
| 5    | PP+%40BA              | 3254,52                    | 60,5            | 332,52                     | 0,865                  | 216,13                          |
| 6    | PP+%3 (PP-g-MA)+%10BA | 2325,45                    | 60,7            | 512,42                     | 1,872                  | 468,1                           |
| 7    | PP+%3(PP-g-MA)+%20BA  | 2621,19                    | 61,1            | 419,249                    | 2,123                  | 530,7                           |
| 8    | PP+%3(PP-g-MA)+%30BA  | 2802,4                     | 61,4            | 211,498                    | 1,262                  | 303,8                           |
| 9    | PP+%3(PP-g-MA)+%40BA  | 3204,2                     | 61,8            | 140,41                     | 1,305                  | 326,25                          |

**EK C: DeneYlerde kullanılan numunelerin aşınma miktarı ve oranları**

| Sıra no | Numune                 | Yük(N) | Aşınma miktarı (gr) | Aşınma oranı (m <sup>2</sup> /N) | Yol (m) |
|---------|------------------------|--------|---------------------|----------------------------------|---------|
| 1       | PP                     | 20     | 0,0017              | 9,44E-14                         | 1000    |
|         |                        | 40     | 0,0095              | 2,64E-13                         | 1000    |
| 2       | PP+% 10BA              | 20     | 0,0006              | 3,19E-14                         | 1000    |
|         |                        | 40     | 0,001               | 2,66E-14                         | 1000    |
| 3       | PP+% 20BA              | 20     | 0,0005              | 2,57E-14                         | 1000    |
|         |                        | 40     | 0,0007              | 1,80E-14                         | 1000    |
| 4       | PP+% 30BA              | 20     | 0,0004              | 2,00E-14                         | 1000    |
|         |                        | 40     | 0,0007              | 1,75E-14                         | 1000    |
| 5       | PP+% 40BA              | 20     | 0,0003              | 1,49E-14                         | 1000    |
|         |                        | 40     | 0,0004              | 9,94E-15                         | 1000    |
| 6       | PP+% 3 (PP-G-A)+% 10BA | 20     | 0,0002              | 1,06E-14                         | 1000    |
|         |                        | 40     | 0,0003              | 7,98E-15                         | 1000    |
| 7       | PP+% 3(PP-G-A)+% 20BA  | 20     | 0,0002              | 1,03E-14                         | 1000    |
|         |                        | 40     | 0,0003              | 7,71E-15                         | 1000    |
| 8       | PP+% 3(PP-G-A)+% 30BA  | 20     | 0,0001              | 5,10E-15                         | 1000    |
|         |                        | 40     | 0,0002              | 5,10E-15                         | 1000    |
| 9       | PP+% 3(PP-G-A)+% 40BA  | 20     | 0,0001              | 5,01E-15                         | 1000    |
|         |                        | 40     | 0,0001              | 2,51E-15                         | 1000    |

**EK D: Deneylerde kullanılan numunelerin aşınma sırasındaki oluşan sıcaklık farkları**

| Malzeme adı       | Yük | Sıcaklık farkı °C |          |
|-------------------|-----|-------------------|----------|
| PP                | 20N | disk<br>pim       | 9<br>13  |
|                   | 40N | disk<br>pim       | 22<br>25 |
| PP+10BA           | 20N | disk<br>pim       | 5<br>7   |
|                   | 40N | disk<br>pim       | 8<br>10  |
| PP+(PP-G-MA)+10BA | 20N | disk<br>pim       | 4<br>6   |
|                   | 40N | disk<br>pim       | 7<br>8   |
| PP+20BA           | 20N | disk<br>pim       | 4<br>6   |
|                   | 40N | disk<br>pim       | 5<br>7   |
| PP+(PP-G-MA)+20BA | 20N | disk<br>pim       | 4<br>6   |
|                   | 40N | disk<br>pim       | 5<br>8   |
| PP+30BA           | 20N | disk<br>pim       | 4<br>6   |
|                   | 40N | disk<br>pim       | 5<br>7   |
| PP+(PP-G-MA)+30BA | 20N | disk<br>pim       | 3<br>5   |
|                   | 40N | disk<br>pim       | 5<br>6   |
| PP+40BA           | 20N | disk<br>pim       | 3<br>5   |
|                   | 40N | disk<br>pim       | 5<br>6   |
| PP+(PP-G-MA)+40BA | 20N | disk<br>pim       | 2<br>2   |
|                   | 40N | disk<br>pim       | 2<br>2   |

## ÖZGEÇMİŞ

Murat ÖZTÜRK, 19.04.1981 tarihinde Eskişehir’de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Eskişehir’de tamamladı. 1999 yılında Yunussemre Teknik Lisesi Makine bölümünden mezun oldu ve aynı yıl Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Resim Konstrüksiyon bölümüne kayıt oldu. Akabinde 2001 yılında da mezun olduktan hemen sonra Jimsa Spor Makinleri Ltd. Şti’de makine resim konstrüksiyon teknikeri olarak çalışma hayatına giriş yaptı. Yaklaşık 1,5 yıl aynı şirkette çalıştıktan sonra 2002 yılında girdiği dikey geçiş sınavında başarılı olarak Sakarya Üniversitesi Metal Öğretmenliği bölümüne kayıt yaparak tekrar eğitim hayatına giriş yaptı. 2005 yılında da bu bölümden mezun olduktan sonra aynı yıl yüksek lisans yapmak için Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne kayıt yaptırdı. 2006 yılında askerliğini yapmak için Kayseri 2. Ana Bakım Merkezi Komutanlığı’na gitti. Burada tankların modifikasyonu konusunda araştırma etüt merkezinde görev aldı. 2006 yılı sonunda doğru askerliği bitti. Yine aynı yıl Türk Hava Yolları Teknik A.Ş.’nin Uçak Teknisyenliği alımı için yaptığı sınav ve mülakatlarda başarılı olarak 2007 yılı başında tekrar iş hayatına giriş yaptı ve aynı yıl içerisinde evlendi. İstanbul’a taşındığı için Yüksek Lisans’ı bıraktı. 2012 yılında aynı şirket içerisinde “Teknik Öğretmen” ünvanı aldı. 2014 yılında yayınlanan öğrenci affından yararlanarak Sakarya Üniversitesi’de tekrar yüksek lisansa başladı. Halen Türk Hava Yolları Teknik A.Ş.’de öğretmen olarak çalışma hayatına devam etmektedir. Evli olan Murat ÖZTÜRK’ün 3 kızı vardır.