

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**PA6 MALZEMEDEN YAPILAN KONVEYÖR MAKARALARININ
SODYUM PENTABORAT İLAVESİ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ VE
ÖMRÜNÜN ARTTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÜMİT KÖSEOĞLU

BALIKESİR, HAZİRAN - 2016

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



PA6 MALZEMEDEN YAPILAN KONVEYÖR MAKARALARININ
SODYUM PENTABORAT İLAVESİ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ VE
ÖMRÜNÜN ARTTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÜMİT KÖSEOĞLU

Jüri Üyeleri : **Yrd. Doç. Dr. Recep KOÇ (TezDanışmanı)**
Prof. Dr. İrfan AY
Prof. Dr. Muammer GAVAS

BALIKESİR, HAZİRAN - 2016

KABUL VE ONAY SAYFASI

Ümit KÖSEOĞLU tarafından hazırlanan "PA6 MALZEMEDEN YAPILAN KONVEYÖR MAKARALARININ SODYUM PENTABORAT İLAVESİ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ VE ÖMRÜNÜN ARTTIRILMASI" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 23.09.2016 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

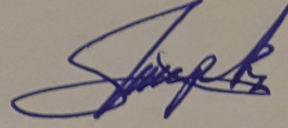
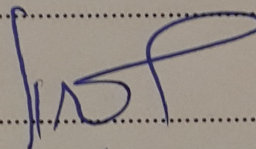
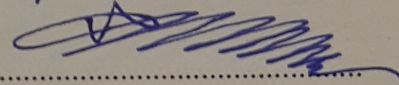
Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Recep KOÇ

Üye
Prof. Dr. İrfan AY

Üye
Prof. Dr. Muammer GAVAS


.....

.....

.....

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

Bu tez çalışması Balıkesir Üniversitesi Araştırma Projeleri Birimi tarafından 2015/181 nolu proje ile desteklenmiştir.

ÖZET

**PA6 MALZEMEDEN YAPILAN KONVEYÖR MAKARALARININ
SODYUM PENTABORAT İLAVESİ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ VE ÖMRÜNÜN
ARTTIRILMASI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÜMİT KÖSEOĞLU
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSİLİĞİ ANABİLİM DALI
TEZ DANIŞMANI: YRD. DOÇ. DR. RECEP KOÇ
BALIKESİR, HAZİRAN 2016**

Nükleer uygulamalar, metalurji, enerji, alev geciktirici, tarım, temizleme ve beyazlatma sanayi, seramik sanayi, cam sanayi gibi daha birçok alanda kullanılan bor mineralinin günümüzde kullanım alanı her geçen gün artmaktadır.

Bu çalışmada dünya borat rezervlerinin %72'sini topraklarında barındıran Türkiye'de borun ülkemiz açısından önemini anlatılmasıyla beraber, borun saflaştırılmış hali olan sodyum pentaboratı ($\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_{16} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) PA6 (Poliamid-6) malzeme içine %5-%10-%20-%30 oranlarında ilave edilerek ortaya çıkan malzemenin yoğunluk, kül miktarı, akma mukavemeti, akma uzaması, kopma mukavemeti, kopma uzaması, çekme modülü, çentikli darbe dayanımı, sertlik, aşınma gibi özellikleri incelendi. Bu özelliklere bakılarak PA6 malzemeye farklı oranlarda eklenen sodyum pentaboratın malzemenin mekanik özelliklerini nasıl değiştirdiği yorumlandı.

Üretim tesislerinde bulunan konveyörlerde dış etkenlere bağlı olarak meydana gelen uzamaların üretim akışına zarar vermesini engellemek amacıyla kullanılan PA6 konveyör makaralarına alternatif olarak kullanılan sodyum pentaborat katkı makaraların çalışma sonuçları yorumlandı.

ANAHTAR KELİMELER: PA6, konveyör, sodyum pentaborat.

ABSTRACT

IMPROVED AND INCREASING LIFE TIME BY THE ADDITION OF SODIUM PENTABORATE CONVEYOR PULLEYS MADE OF PA6

MSC THESIS

ÜMİT KÖSEOĞLU

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

MECHANICAL ENGINEERING

SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. RECEP KOÇ

BALIKESİR, JUNE 2016

The boron used in many area, such as, nuclear applications, metallurgy, energy, flame retardant, agriculture, cleaning and whitening industry, ceramic industry, glass industry is increasing usage with each passing day.

Announced in this study, explained the addition the importance of our country's boron material that the Turkey has borate reserves with %72 around of the world and also studied properties such as density, ash content, tensile stress at yield, tensile strain at yield, tensile stress at break, tensile strain at break, tensile modulus, izod notched impact strength, hardness, abrasion of the resulting material that mixed sodium pentaborate ($\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_{16} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) ration %5-%10-%20-%30 with PA6 material (Poliamid-6) that purified form of the boron. According to these datas, interpreted how to change mechanical properties of the material that mixed different proportion with PA-6 material.

Conveyors used in the production plant of elongation occurring due to external factors used to prevent damage to the production flow of PA6 conveyor pulleys used as an alternative to sodium pentaborate mixed study result were interpreted.

KEYWORDS : PA6, conveyor, sodium pentaborate.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ.....	vi
SEMBOL LİSTESİ.....	vii
ÖNSÖZ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Bor Elementi	1
2. BORUN ENDÜSTRİDEKİ YERİ	3
2.1. Boratın Kullanım Alanları	3
2.1.1 Cam Endüstrisi	3
2.1.2 Yalıtım Cam Elyafı	3
2.1.3 Borosilikat Camlar	4
2.1.4 Tekstil Cam Elyafı	4
2.1.5 Fiber Optikler	5
2.1.6 Deterjan Endüstrisi	6
2.1.7 Sır ve Emaye	6
2.1.8 Seramik Sırları	7
2.1.9 Emaye	7
2.1.10 Alev Geciktiriciler	8
2.1.11 Tarım	8
2.1.12 Metalurji	9
2.1.13 Otomobil Hava Yastıkları, Antifriz	10
2.1.14 Sağlık	10
2.1.15 Füze / Uçuş Yakıtları	10
2.1.16 Atık Temizleme	10
2.1.17 Boya Uygulamaları	10
2.1.18 Enerji Üretimi / Katı Yakıtlar	11
3.1.19 İnşaat.....	11
2.1.20 Diğer	12
3. DÜNYA BOR SEKTÖRÜ.....	13
3.1 Üretim ve Tüketim.....	13
3.1.1 Üretim	13
3.1.2 Tüketim	16
3.2 Dünya Ticareti	16
3.2.1 İhracat	16
3.2.2 İthalat	17
4. POLİMER MALZEMELER.....	18
4.1 Polimer Grupları.....	18
4.2 Polyamid (PA) Malzeme	18
5. SODYUM PENTABORAT KATKILI MALZEME ÜRETİMİ.....	20
5.1 Üretim Akış Diyagramı	20
5.2 Granür Halde PA6 Katkılı Sodyum Pentaborat Üretim Akışı	21
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	26
6.1 Vidalı Extruderler	26
6.1.1 Vidalı Extruder Çalışma Prensipleri	26

6.2 Plastik Enjeksiyon Makinesi	28
6.2.1 Plastik Enjeksiyon Makinesi Çalışma Prensibi	28
6.3 Yoğunluk Tayini	29
6.4 Katkı Oranı	30
6.5 Akma Mukavemeti	30
6.6 Akma Uzaması	32
6.7 Kopma Mukavemeti	32
6.8 Kopma Uzaması	32
6.9 Elastisite Modülü	32
6.10 İzod Çentik Darbe Dayanımı	33
6.11 Sertlik	34
6.12 Aşınma Testi	34
6.12.1 Adhesiv Aşınma Testi	34
6.12.2 Aşınma Testi Uygulaması	35
6.12.3 Aşınma Yüzeyleri İnceleme Metodu	38
6.13 Sodyum Pentaorat Katkılı Konveyör Makaralarının Uygulanması	39
7. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMESİ.....	42
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	57
9. KAYNAKLAR.....	59
EKLER.....	62
EK A: Bant Sürtünme Rulosu Çizimi	63
EK B: Çekme Testi Numunesi Görseli	64
EK C: Kullanılmış Numune Görselleri	65
EK D: Çekme Deneyi Sonucu Görseli	65
EK E: Aşınma Testi Sonrası Pim Görünümü	66

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Yalıtım cam elyafı [6].	4
Şekil 2.2: Fiber optik kabloların görünüşü [8].	5
Şekil 5.1: Granür besleme hunileri	22
Şekil 5.2: Sonsuz vida rezistans değerleri.	22
Şekil 5.3: Üretim sırasında verilen kayıplar.	23
Şekil 5.4: Sonsuz vida çıkışı.	23
Şekil 5.5: Havuz konveyör.	24
Şekil 5.6: Kesme bıçağı.	24
Şekil 5.7: Toplama teknesi.	25
Şekil 6.1: Analitik terazi [20].	29
Şekil 6.2: Kül fırını [20].	30
Şekil 6.3: Çekme cihazı [20].	31
Şekil 6.4: Çentik darbe cihazı [20].	33
Şekil 6.5: Sertlik cihazı [20].	34
Şekil 6.6: Adhesiv aşınma test modeli [22].	35
Şekil 6.7: Hassas terazi ölçümü.	37
Şekil 6.8: Su terazisi dengesi.	37
Şekil 6.9: Ağırlıkların bağlanması.	37
Şekil 6.10: Loadcell bağlanması.	37
Şekil 6.11: LabVIEW programı takibi	37
Şekil 7.1: Yoğunluk değişim grafiği.	42
Şekil 7.2: Akma mukavemeti değişim grafiği.	43
Şekil 7.3: Akma uzaması değişim grafiği.	44
Şekil 7.4: Kopma mukavemeti değişim grafiği.	44
Şekil 7.5: Kopma uzaması değişim grafiği.	44
Şekil 7.6: PA6 malzeme çekme testi.	45
Şekil 7.7: PA6-%5 sodyum pentaborat çekme testi.	45
Şekil 7.8: PA6-%10 sodyum pentaborat çekme testi.	46
Şekil 7.9: PA6-%20 sodyum pentaborat çekme testi.	46
Şekil 7.10: PA6-%30 sodyum pentaborat çekme testi.	47
Şekil 7.11: Elastite modülü değişim grafiği.	48
Şekil 7.12: İzod çentik darbe dayanımı değişim grafiği.	48
Şekil 7.13: Sertlik değişim grafiği.	49
Şekil 7.14: SEM mikroskop görüntüleri.	52
Şekil 7.15: Sürtünme katsayısı grafiği (PA6 katkısız).	54
Şekil 7.16: Sürtünme katsayısı grafiği (PA6-%5 sodyum pentaborat).	55
Şekil 7.17: Sürtünme katsayısı grafiği (PA6-%10 sodyum pentaborat).	55
Şekil 7.18: Sürtünme katsayısı grafiği (PA6-%20 sodyum pentaborat).	56
Şekil 7.19: Sürtünme katsayısı grafiği (PA6-%30 sodyum pentaborat).	56

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1: Dünya Bor Rezervleri Bin- Ton B ₂ O ₃	14
Tablo 3.2: Dünya Bor Üretimi (Thousand metric tons).....	15
Tablo 7.1: Burç olarak kullanılan bazı polimerlerin ortalama fiyat tablosu	50
Tablo 7.2: Sodyum Pentaborat katkılı PA6 Polimer Kompozitlerinin Mekanik Özellikleri.....	53
Tablo 7.3: Aşınma Testi Sonuçları Tablosu.....	54

SEMBOL LİSTESİ

N	: Devir
V	: Kayma Hızı
μ	: Sürtünme Katsayısı
F_s	: Sürtünme Kuvveti
F_n	: Nominal Kuvvet
Wa	: Aşınma Oranı
Δm	: Aşınma Miktarı
S	: Kayma Yolu
p	: Yoğunluk
D	: Kayma Çapı

ÖNSÖZ

Çalışmada, bugün dünyada birçok alanda kullanılan ve ülkemizin rekor seviyede rezerve sahip olduğu borun ülkemiz açısından önemini, kullanım alanlarını ve genel özelliklerini açıklamakla beraber, PA6 polimer malzemeye borun saflaştırılmış hali olan sodyum pentaboratın farklı oranlarda eklenmesiyle ortaya çıkan malzemenin mekanik özellikleri incelendi. Bununla beraber taşıma konveyörlerinde PA6 konveyör makaralarına alternative olarak sodyum petaborat katkılı makaralar denendi.

Çalışma süreci boyunca ilminden faydalandığım, insani ve ahlaki değerleri ile de örnek edindiğim, yanında çalışmaktan onur duyduğum, tecrübelerinden yararlanırken göstermiş olduğu hoşgörü ve sabırdan dolayı değerli hocam Yrd.Doç.Dr. Recep KOÇ'a ve ayrıca ülkemizin birçok üniversitesinin araştırma projelerine katkı sağlayan bizlere de bor ürünü sodyum pentaboratın temini konusunda destek olan değerli bilim insanı Faruk DURUKAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Ümit KÖSEOĞLU

HAZİRAN - 2016

1. GİRİŞ

Bor ve türevleri uzun yıllardan beri dünyanın her yerinde kullanılmaktadır. Tarihe bakarsak, bor tuzlarının 4 bin yıl önce ilk kez Tibet'te kullanıldığı, Babiller tarafından değerli eşyaların ergitilmesinde, Mısırlılarca mumyalamada, Eski Yunan ve Romalılarca da zemine serpilerek arena temizliği için kullanıldığı görülmüştür. 875 yılında ise, Araplar tarafından ilk kez bor tuzlarından ilaçlar yapılmıştır. Modern Bor Endüstrisi, 13. yy' da Marco Polo tarafından Tibet' ten Avrupa'ya getirilmesiyle başlar [1].

Doğada yaklaşık 230 çeşidi bulunan bor, 2300 °C 'de erime, 2500 °C 'de kaynama özelliğine sahiptir. Doğada tuz görünümünde ve diğer elementlerle bileşik olarak bulunmaktadır.

Türkiye'de gerçek anlamda bor üretimi, 1968 yılında Bandırma'da Etibank Boraks ve asitborik fabrikalarında önce kolemanitten başlayarak yapılmıştır. Ülkemizdeki başlıca bor yatakları, Balıkesir, Kütahya, Bursa ve Eskişehir'de bulunurken; bor işletmeleri de Kırka (Eskişehir), Emet (Kütahya), Bigadiç (Balıkesir), ve Kestelek (Kütahya)'te yer almaktadır [2].

Türkiye'de boratların tüketimi çok düşük seviyededir. Dünya tüketiminin %1-2'sini oluşturur. 2000 yılı itibariyle Türkiye'de borun %27'si demir-çelik, %12'si cam ve cam elyafı, %38'i seramik ve firit, %12'si deterjan, %5'i kimya ve %6'sı diğer sektörlerde tüketilir [3].

1.1. Bor Elementi

Bor, periyodik tabloda B simgesi ile gösterilen, atom numarası 5, atom ağırlığı 10,81 olan metalle ametal arası yarı iletken özelliğinde bir elementtir. Periyodik tabloda 3A grubunun ilk ve en hafif üyesidir. Temel halinin elektron konfigürasyonu $1s^2 2s^2, 2p^1$ ' dir.

Çeşitli metal yada ametal elementlerle yaptığı bileşiklerin gösterdiği farklı özellikler, bor bileşiklerinin birçok endüstride kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bor, bileşiklerinde metal dışı bileşiklere benzer özellikler gösterir, fakat farklı olarak saf bor, karbon gibi elektrik iletkenidir. Kristalize bor, görünüm ve optik özellikleri açısından elmasa benzer ve neredeyse elmas kadar sert yapıya sahiptir.

Bor, biri amorf ve altısı kristalin polimorf olmak üzere, çeşitli allotropik formlarda bulunur. Alfa ve beta rombohedral formlar en çok çalışılmış olan kristalin polimorflardır. Alfa rombohedral yapı 1200 C'nin üzerinde bozulur ve 1500 C'de beta rombohedral form oluşur. Amorf form yaklaşık 1000 C'nin üzerinde beta rombohedrale dönüşür ve her türlü saf bor ergime noktasının üzerinde ısıtılıp tekrar kristalleştirildiğinde beta rombohedral form özelliğini alır [4].

Bor, yer kabuğunda yaygın olarak bulunan 51. elementtir. Bor tabiiatta hiçbir zaman serbest halde bulunmaz. Doğada yaklaşık 230 çeşit bor minerali olduğu bilinmektedir. Yaygın olarak bulunan bor minerallerinden bir tanesi bir tür aluminoborosilikat minerali olan ve yapısında %10'a kadar bor içerebilen Turmalin'dir. Ancak, sanayide alkali ve toprak alkali bor mineralleri olan tinkal ($\text{Na}_4\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), kernit ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), kolemanit ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ve üleksit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) kullanılır. Ticari maden yatakları sayıları sınırlı olup en çok Türkiye ve ABD'de bulunur [4].

2. BORUN ENDÜSTRİDEKİ YERİ

2.1. Boratın Kullanım Alanları

2.1.1 Cam Endüstrisi

Boraların ana kullanım yeri cam endüstrisidir. Bütün dünyada bor kullanımının %42'sini cam endüstrisi oluşturur. Bor oksit; borosilikat camlar, tekstil cam elyafi ve yalıtım cam elyafının önemli bir bileşimidir. Bu üç ürün cam endüstrisinde bor bileşiklerinin ana tüketim alanıdır. Düz cam ve konteyner cam gibi birçok üründe az miktarda bor bileşikleri bulunabilir. Bor oksit, susuz boraks, borik asit gibi bor bileşikleri halinde veya boraks ya da kolemanit gibi mineraller şeklinde cama katılarak kullanılır. Bor oksit, çok kuvvetli bir fluktur, cam yapıcı özelliğe sahiptir. Diğer bir ifade ile devitrifikasyonu önler. Genleşmeyi düşürdüğünden ısı şoklarına dayanımı artırır [3].

2.1.2 Yalıtım Cam Elyafı

İzolasyon cam elyafı üretimi amacıyla bünyeye %4-5 oranında ilave edilen bor oksit, camın ergime sıcaklığını düşürür, yeniden kristallenmeyi önler ve üretilen elyafların dayanıklılığını artırır.

Cam elyafı yeni binaların yapımı sırasında tavan ve duvarlarda yalıtım amacıyla kullanılmaktadır. Mevcut binalarda ise çatı aralarında ve boşluk alanlarda kullanılması tavsiye edilmektedir. Ayrıca, mevcut binalarda köpük yalıtıcıların (veya ABD'de selülozik izolasyon) duvar boşluklarında kullanılması bu tür yalıtıcıların küçük deliklerde bile uygulanabilmesi sebebiyle tercih edilmektedir. Cam elyafı, aynı zamanda ses izolasyonu amacıyla tabanın altındaki ve tavanın üzerinde boşluklar ile odalar arasındaki bölümlerde kullanılabilir. Bunlara ilaveten cam elyafı, borularda, kaynatıcı ve tank döşemelerinde, otomobillerde izolasyon panellerinde ve ses izolasyonu uygulamalarında da kullanılmaktadır [5].



Şekil 2.1: Yalıtım cam elyafı [6].

2.1.3 Borosilikat Camlar

Camların yüksek sıcaklıkta kullanılabilmesi ya da kullanılmayacağı, ısı genleşme katsayısına da bağlıdır. Camın lineer genleşme katsayısı, artan sıcaklıkla birlikte lineerden pek az sapma yapar ve ortalama lineer genleşme katsayısı belirli bir sıcaklık sahası için verilebilir. Camın pek az ısı iletme kabiliyetinden dolayı ısı genleşme katsayısı, sıcaklık değişimlerine dayanım üzerine farklı etki yapar. Kuvars camların lineer genleşme katsayıları $0,5 \cdot 10^{-6} 1/K$ ve teknik camların 3 ila $10 \cdot 10^{-6} 1/K$ iken, borosilikat camlar 3 ila $6 \cdot 10^{-6} 1/K$ ile bu sahanın alt bölümünde bulunur. Bundan dolayı, borosilikat camlar, yüksek sıcaklıklara kadar kullanılabilirler ve borsuz teknik camlara nazaran daha hızlı bir şekilde ısıtılabilir ve soğutulabilirler [7].

2.1.4 Tekstil Cam Elyafı

Tekstil fiber glasnın en önemli özelliklerinden bazıları, gerilmelere, darbelere ve kimyasallara yüksek mukavemeti ve hafif olmasıdır. Bu özelliklerden dolayı tekstil cam elyafı plastik ve kompozitlerde kuvvetlendirici olarak sanayide kullanılır. Değişik cam formülasyonları kontinu lif cam elyafı üretmek için kullanılabilir. Kolemanit minerali alkali içermez ve bu özelliği nedeniyle düşük alkali borosilikat cam (E-glass) üretiminde tercih edilmektedir. Bor tekstil cam elyafına, kolemanit minerali veya bor bileşiklerinden borik asit olarak eklenir. Modern E-glas % 6–10 oranında B_2O_3 içerir. Bor oksit cama kararlılık verir. Toplam alkali içeriği, yüksek elektrik direnci sağlamak için %1 ile sınırlandırılmıştır. Sodyum istenmediğinden boraks ve boraks bileşikleri kullanılmamaktadır. Borik asit pahalı olduğundan

sodyum içermeyen kolemanit mineralinin kullanımı tercih edilmektedir. Düşük alkali camın erimesini zorlaştırır. Bor oksit ise camın erimesini kolaylaştırır. Kolemanit minerali harmana CaO olarak da katkıda bulunur. Böylece kireç katkısı için daha az gereksinim olur. E-glas bot, uçak, otomobil gibi endüstrilerde kullanılmaktadır. E-glas bir kalsiyum alüminosilikat camı olup mekanik, kimyasal ve elektrik özellikleri belirli bir dengeye sahiptir. Bu yüzden E-glas kompozitlerde kullanılmaktadır. Düşük dielektrik özelliklerine sahip yüksek gerilim cam malzemeleri, radar tarafından algılanmadığından gizlilik için değerli malzemelerdir [3].

2.1.5 Fiber Optikler

Bor, ayrıca fiber optiklerde kullanılmakta ve ışık fotonlarının iletişim sistemlerinde etkin biçimde transferi sağlanmaktadır. Fiber optikler iç çekirdek ve dış bölüm olmak üzere farklı kısımlardan oluşmaktadır. İç çekirdek yüksek kırılma indisine, dış bölüm ise en düşük kırılma indisine sahip camdan üretilir. İç çekirdeğe kırılma oranını değiştirmek için çok az miktarda germanyum ya da bor gibi başka maddeler de katılır [8].



Şekil 2.2: Fiber optik kabloların görünüşü [8].

2.1.6 Deterjan Endüstrisi

Modern deterjanlar birçok maddeden oluşur. Bunlardan yüzey aktif maddeler (sülfonatlar), suyun yüzey gerilimini düşürmektedir. Böylece kumaşın ıslanmasını sağlar, yağ ve diğer lekeleri kumaştan uzaklaştırır. Deterjan geliştiriciler sert sularda kullanıldığı zaman kalsiyum ve magnezyum iyonlarını sudan uzaklaştırır. Böylece yüzey aktif maddesinin veriminin artmasını sağlar. Ağartıcılar (perborat ve hipoklorit), oksidasyon ile lekeleri uzaklaştırır. Ağartma aktivatörü TEAD (tetraacetyl ethylene daimine) veya sodyum tuzları, düşük sıcaklıkta ağartma verimini artırmak için kullanılır.

Son yıllarda ağartıcı aktivatörlerin girişi, perborat ağartıcıların düşük sıcaklıkta kullanımını mümkün kılmıştır. Daha düşük yıkama sıcaklığı, kullanılan perboratın tipini belirler. Sodyum perborat tetrahidrat, monohidrat yapısından daha az çözünürdür. Çözünmezlik sebebiyle ağartma verimi yeterince hızlı değildir. Bu yüzden deterjan üreticileri tetrahidrattan daha pahalı olmasına rağmen monohidratı kullanmaktadırlar. ABD’de deterjanlarda klor bazlı ağartıcı kullanılmamasına karşı insanlardan gelen çevresel baskılar artıyor. Bu yüzden beyaz çamaşır deterjanlarında, perborat bazlı ağartıcılara talep her geçen gün artmaktadır [3].

2.1.7 Sır ve Emaye

Bor ürünleri, seramik sırların ana kompozisyonunda bağlayıcı özellikleri nedeniyle önem kazanmaktadır. Bor ürünlerinin bileşime ilavesi sonucunda, kaplamalarda ergime ve yapışma olayı nispeten daha düşük sıcaklıkta gerçekleşmektedir. Boratlar, camın akışkanlığını ve yüzey gerilimini düşürerek, sırların hızlı üretilmesini ve düzgün bir yüzeyin oluşumunu sağlar. Ayrıca bor ürünleri, mekanik ve kimyasal mukavemeti artırarak, seramik ürünlerinin fiziksel darbeler karşısında kırılma ve çizilme direncini artırır, kimyasal ortamlarda dayanımını güçlendirir ve aynı zamanda renk verme katkı maddesi için ortam rolünü görür [9].

2.1.8 Seramik Sırları

Sırlar yer karosu, duvar karosu, sofraya eşyası, sıhhi tesisat seramiği, kemik porseleni ve porselen gibi seramiklerde kullanılır. Boratların sırda kullanımı suda çözünürlüğüne göre değişir. Suda yüksek oranda çözünen bor minerali boraks ve bor bileşiklerinden borik asit, boraks pentahidrat gibi maddelerdir. Suda çözünen boratların sır hammaddesi olarak kullanılması durumunda bu maddeler fritleştirilmelidir. Fritleştirme, sır hammaddelerinin eritilerek suda çözünmeyen inert bir cama dönüştürülmesi işlemidir. Özellikle yer ve duvar seramiklerinde büyük miktarda frit kullanılmaktadır. Bu oran %90'a kadar çıkmaktadır. Düşük sıcaklık sırlarında bor oksit kaynakları (boraks ve borik asit) suda eriyen özellikte olduğundan frit yapılarak kullanılır. Herhangi bir sır 1200 °C altında olgunlaşıyorsa düşük sıcaklık sırları olarak bilinir. Yüksek sıcaklık sırlarında hammaddeler, frit yapılmadan kullanıldığından suda çözünmeyen mineraller veya oksitler tercih edilir. Kolemanit minerali, B₂O₃ kaynağı olup suda çözünmez, bu yüzden bazı sırlarda çok popüler hale gelmiştir. Boratlar sırnın kırınım indisini artırır. Parlaklığı artırarak sırnın viskozitesini ve yüzey gerilimini düşürür. Sırnın olgunlaşmasını hızlandırır ve düzgün bir yüzey oluşturur. Borat ilavesi mekanik dayanımı ve çizilmeye dayanımı artırır, kimyasallara ve su şoklarına dayanıklılık sağlar [3].

2.1.9 Emaye

Emayeler, metallerin kaplanmasında kullanılmaktadır. Metallerin emaye ile kaplanması alt tabakayı kimyasal olarak inert, ısıya dirençli hale getirmekle beraber dekoratif görünümü iyileştirir. Borik asidin eklenmesi sırnın daha düşük sıcaklıkta alt tabakaya kaplanmasını ve yapışmasını sağlamaktadır. Emaye fritleri, metallerin değişik bir kaplama uygulamasıdır. Fırın ve çamaşır makinası gibi beyaz eşyalar, alttaki metal yüzeyi korozyondan korumak ve aynı zamanda dekoratif görünüm vermek için emaye ile kaplanır. Emaye fritleri hammadde harmanının belli sürede eritilmesiyle yapılır. Burada elde edilen cam ürünündeki hammaddeler kuvars, feldspat ve borakstır. Emaye friti püskürtme, daldırma veya elektrostatik püskürtme ile uygulanır [3].

2.1.10 Alev Geciktiriciler

Günümüzde polietilenik polimerler, ev eşyaları, taşıma, elektrik mühendisliği gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu polimerler kimyasal bileşimi nedeniyle kolayca alevlenir. Bu yüzden günümüzde alev geciktiriciler söz konusu polimerler için önemli bir gereklilik haline gelmiştir. Birçok alev geciktirici madde vardır. Günümüzde bu amaçla halojen bileşikleri yaygın olarak kullanılır, ancak korozif olması, yanma ürünlerinin ve dumanının zehirli olması dikkatleri bu alana çekmiştir. Sonuç olarak bu endüstrideki sektörler, halojen içermeyen çinko borat, alüminyum hidroksit veya magnezyum hidroksit gibi alev geciktiriciler ile ilgilenmektedirler. Çinko boratlar, alüminyum hidroksit ve magnezyum hidroksit dolgulu PVA ile birlikte çalışan alev geciktiricilerdir. Boratlar, yanmayı geciktirici özelliğinden dolayı, cam elyafı halinde tekstil üretiminde kullanılır. Alev geciktiriciler, malzemelerin alev alabilme seviyesini azaltmak için kullanılmaktadır.

Çinkoborat, borik asit ile çinko oksidin reaksiyonu sonucu üretilen bir bor bileşimidir. Çinkoborata, alümina hidratlar ile birlikte alev geciktirici olarak kullanımı artmaktadır. Çünkü bu iki malzeme üretim sırasında yanarak kömür halinde halojen vermez ve yanma durumunda az bir duman ve toksik içerir. Boratlar, değişik malzemelerde alev geciktirici olarak kullanılır. Boratlar eriyerek malzemenin üzerini kaplar ve oksijenle alevin temasını keserek alev almayı önler. Çinko boratlar, plastiklerde kullanılır. Çinko boratlar, borik asit, boraks pentahidrat ve boraks dekahidrat gibi çözünen boratlar selülozik malzemelerde işlenerek kullanılır [3].

2.1.11 Tarım

Günümüzde tarımda bor oksit düşük konsantrasyonlarda gübrelere mikrobesein olarak ve yüksek konsantrasyonlarda bitki öldürücü olarak iki zıt yerde kullanılmaktadır. Dökme gübrelere bor, bakır, demir, mangan, molibden ve çinko bazen kobalt elementleri mikrobesein olarak eklenir. Bor, granüller halinde dökme gübrenin harman bileşimine ve püskürtme işleminden önce sıvı gübreye eklenir. Bor eksikliğinde bitkilerde gövde kısa, yapraklar şekilsiz, kalın, kırılabilir ve küçüktür. Bor eksikliği meyve ağaçlarında, kahve, tütün ve zeytin ağaçlarında bulunur. Elma ve armut ağaçları bor eksikliğinde mantar oluşturur. Mikrobeseinli süper cins gübreler en

az 200 ppm bor içerir. Tarımda bugün bor kaynağı olarak en yaygın kullanılanlar borik asit, sodyum oktaborat, boraks pentahidrat ve borakstır. Borun az bir miktarı bitkiler için gerekli olmasına rağmen yüksek miktarı zehirlidir. Bu toksiteden dolayı boratlar bitki öldürücü olarak kullanılabilir. Ancak selektif olmadığından tarımda kullanımı sınırlıdır. Bu yüzden sıklıkla tarım dışı uygulamalarda, yabancı otların önlenmesinde kullanılır.

Ayrıca boraks, testere ile kesilmiş keresteyi böceklerin saldırmasından korumak için kullanılır. Bor bileşikleri özellikle kınkanatlı böcekler için zehirlidir. Bu böcekler keresteyi bozarlar. Bazı böcekler kontrplağa saldırırlar. Ağacın kabuğu soyulduktan sonra her bir kontrplak kaplanma, tek tek sıcak bir konsantre bor çözeltisine derhal daldırılmalıdır. Borik asit ve boraks pentahidrat veya benzer formülasyon, bor içeren bileşimlerdir. Güzel tarafı, işlem keresteye ne koku ne de renk verir.

Toprak çözeltisindeki borun temel kaynağı adsorbe edilmiş bor olup, toprakta bor absorpsiyonu yıkanmayı ve kaybolmayı önemli ölçüde önler. Bor içerikleri yüksek olan alkalın topraklarda bor temelde adborbe edilmiş bulunur. Organik madde içeriği yüksek, ince tekstürlü topraklarla, alkali Ph'a sahip toprakların adsorbe edilmiş bor içerikleri yüksektir. Topraklarda bitkiye yarayışlı borun önemli bir bölümü organik maddeye bağlanmış bir şekildedir. Bu nedenle organik madde içerikleri yüksek olan topraklarda genellikle bor miktarı da yüksektir [10].

2.1.12 Metalurji

Günümüzde çelik üreticileri sıklıkla fluks olarak flüorit kullanmakta ve flüorit tüketimini azaltmak için basınç altında üretim yapmaktadır. Türkiye’de demir çelik endüstrisinde fluks olarak florit yerine kolemanit minerali kullanımı gitgide yaygınlaşmaktadır. Boratlar demir çelik hammaddelerinin erime sıcaklığını düşürmek suretiyle tüketilen enerjide maddi yönden tasarruf sağlar. Cürufun akışkanlığını artırır [3].

2.1.13 Otomobil Hava Yastıkları, Antifriz

Kaza anında hava yastıklarının bir an önce şişmesini bekleriz. Bor hava yastıklarının hemen şişmesini sağlamak amacıyla kullanılır. Çarpma anında, elementel bor ile potasyum nitrat toz karışımı elektronik sensör ile harekete geçirilir. Sistemin harekete geçirilmesi ve hava yastıklarının harekete geçirilmesi için geçen toplam zaman 40 milisaniyedir. Bunun yanında otomobillerde antifriz olarak ve hidrolik sistemlerde de kullanılmaktadır [3].

2.1.14 Sağlık

BNCT (Boron Neutron Capture Therapy) kanser tedavisinde kullanılmaktadır. Özellikle; beyin kanserlerinin tedavisinde hasta hücrelerin seçilerek imha edilmesine yaraması ve sağlıklı hücrelere zararının minimum düzeyde olması nedeniyle tercih edilir. Metabolizmadaki bor, kalsiyum, magnezyum ve fosfor dengesini tam olarak ayarlar. Sağlıklı kemiklerin oluşumuna, kasların ve beyin fonksiyonlarının gelişimine yardımcı olur. Ayrıca teke spermalarının saklanması için yapılan çalışmalar olumlu sonuçlar vermiştir [3,11].

2.1.15 Füze / Uçuş Yakıtları

Günümüzde bor ürünleri özellikle füze yakıtı olarak kullanılır. Sodyum tetraboratlar, özel uygulamalarda yakıt katkı maddesi olarak da kullanılmaktadırlar.

2.1.16 Atık Temizleme

Sodyum borohidrat sanayide sıklıkla atık sularındaki civa, kurşun, gümüş gibi ağır metallerin sulardan arındırılması amacıyla kullanılır.

2.1.17 Boya Uygulamaları

Mineral esaslı katkı maddeleri boya içerisinde %20-50 arasında kullanılmaktadır. Kullanım miktarının bu kadar fazla olması, bu mineral katkıların uygun bir şekilde seçilmesi ile optimum boya özelliklerinin elde edilmesini sağlamaktadır. Bu çalışmada kalsiyum içeren bir bor minerali olan kolemanitin, dış

cephe boyalarda dolgu maddesi olarak kullanımı incelenmiştir. Kolemanit içeren boyalar yaş ve kuru standart boya analizlerine tabi tutulmuş ve kolemanitin, boyanın özellikle örtücülük ve viskozitesi üzerinde olumlu etkisinin olduğu, daha önemlisi, kolemanitin boyaya önemli oranda yangın geciktirme özelliği sağladığı tespit edilmiştir [12].

2.1.18 Enerji Üretimi / Katı Yakıtlar

Bor özellikle yakıt pili sistemlerinde, temiz bir enerji yakıtı olarak hidrojen karşımıza çıkmaktadır. Fakat hidrojen temininde kullanılacak her yenilenebilir ve temiz enerji kaynağının farklı çevresel etkilere ve sorunlara neden olmayacağı söylenemez. Bu noktada karşımıza hem NaBH₄ (sodyum bor hidrür bileşiği) ile hidrojen kaynağı olabilen hem de kendinden enerji elde edilebilen elementler arasında birinci sırada yer alan bor elementi çıkmaktadır. Bor gerek hidrojen temininde kullanılabilen gerekse kendinden enerji elde edilebilen temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak şimdiden geleceğin petrolü unvanını kazanmıştır. Ticari öneminin fazla olmasının nedenleri;

1. Hidrojen taşıyıcısı olarak bor mineralinden faydalanma.
2. Hidrojenden daha iyi bir enerji hammaddesi olması.
3. Füzyon reaktörlerinde yakıt olarak bor kullanımı [13].

3.1.19 İnşaat

Borun çimentoda da kullanımı ile pişme sıcaklığı düşürülerek üretim enerjisinde tasarruf sağlanmakta, çevre kirliliği emisyonu düşürülmekte, beton mukavemeti artırılmakta, hidrasyon ısı düşürülmekte ve yüksek nötron tutma özelliği ve radyasyona karşı koruma sağlanmaktadır. Borun bu katkıları nedeniyle, dünya genelinde baraj, kanal, köprü ve tünel gibi yapılarda, ülkemizde ise mukavemeti yüksek çimento ve yapı malzemelerine olan talebi karşılamak amacıyla borlu çimento kullanımının artması öngörülmektedir [14].

2.1.20 Diğer

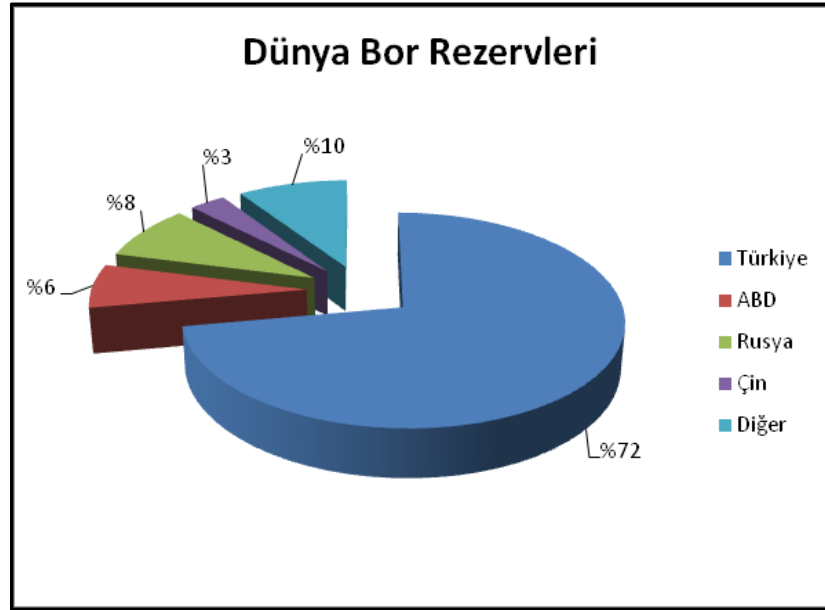
Fiber optik sanayi, kozmetik sanayi, kauçuk ve plastik sanayi, fotoğrafçılık, patlayıcı maddeler, antifrizler, hidrolik yağlar, petrol boya ları, yanmayan ve erimeyen boyalar, tekstil boya ları, zımpara ve aşındırıcılar, kompozitler, manyetik cihazlar, ileri teknoloji araştırmaları (moleküler biyoloji vb.) Bunların dışında son zamanlarda araç yakıtı olarak borlu hidrojen bileşiklerinin kullanılabilirliği konusunda ciddi çalışmalar yapılmakta ve sonucunun olumlu olduğu bilinmektedir.

3. DÜNYA BOR SEKTÖRÜ

3.1 Üretim ve Tüketim

3.1.1 Üretim

Dünyada bor üretimi yapan en önemli ülkeler Türkiye, ABD, Arjantin, Rusya, Çin ve Şili'dir. Türkiye ve ABD, dünya bor madeni üretiminin %72'sini oluşturmaktadırlar. Dünya bor madeni üretimi 1970'de 768.000 ton iken, 2004 yılından da 1.696.000 ton olmaktadır. En önemli iki üreticiden, Türkiye'de bor üretimi ise 1970'de 122.000 ton B_2O_3 iken, 2004 yılında 670.988 ton B_2O_3 'e ulaşırken, ABD'nin bor üretimi 510.000 ile 627.000 ton B_2O_3 arasında değişim göstermektedir. Dünyadaki bor üretim miktarının yıllar itibariyle artışının en önemli nedeni, Türkiye bor üretim miktarının artışından kaynaklanmaktadır. Çünkü, 2002 yılında B_2O_3 bazında dünya bor üretiminin %35'i Türkiye'ye, %34'ü ABD'ye ait iken; 2004 yılında Türkiye'nin Dünya bor üretimindeki payı %40'a yükselmekte iken, ABD'nin payı %33'e gerilemektedir.



Şekil 3.1: Dünya bor rezervleri [15].

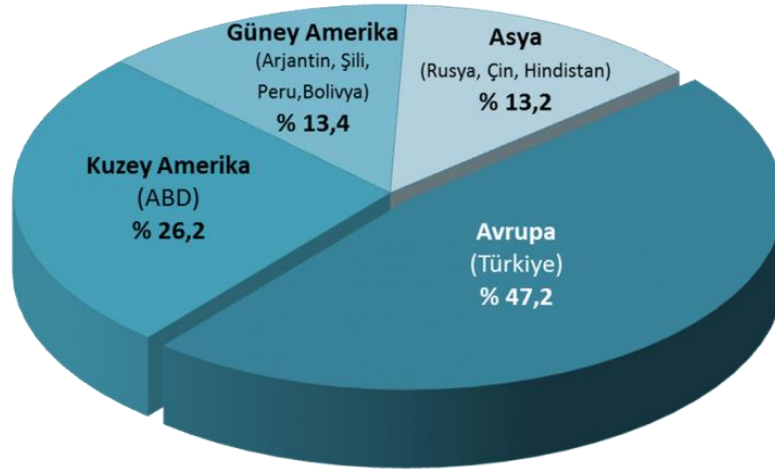
Tablo 3.1: Dünya Bor Rezervleri Bin-Ton B₂O₃ [16].

ÜLKE	GÖRÜNÜR EONOMİK REZERV	MUHEMEL MÜMKÜN REZERV	TOPLAM REZERV	TOPLAM REZERVDEKİ PAY %
TÜRKİYE	227 000	624 000	851 000	72,2
ABD	40 000	40 000	80 000	6,8
RUSYA	40 000	60 000	100 000	8,5
ÇİN	27 000	9 000	36 000	3,1
ARJANTİN	2 000	7 000	9 000	0,8
BOLİVYA	4 000	15 000	19 000	1,6
ŞİLİ	8 000	33 000	41 000	3,5
PERU	4 000	18 000	22 000	1,8
KAZAKİSTAN	14 000	1 000	15 000	1,9
SİRBİSTAN	3 000	0	3 000	0,3
TOPLAM	369 000	807 000	1 176 000	100

Türkiye'den sonra, Dünya'nın bilinen en önemli bor yatakları ABD'nin Kaliforniya eyaletindeki Mojave Çölü'nde bulunmaktadır. Yine aynı bölgede Searles Gölü'nde önemli borat yatakları mevcuttur [17].

Tablo 3.2: Dünya Bor Üretimi (Thousand metric tons) [16].

ÜLKE	2012	2013	2014
ARJANTIN	510	545	560
BOLIVYA, ÜLEKSİT	40	110	110
ÇİN, ÜLEKSİT	431	401	401
ÇİN	145	130	135
ALMANYA, BORAKS	1	1	1
İRAN, BORAKS	2	3	3
KAZAKİSTAN	30	30	30
PERU	7	9	9
RUSYA	1000	1000	500
TÜRKİYE	1346	1370	1450
A.B.D	1050	1150	1210
TOPLAM	4560	4750	4410



Şekil 3.2: Dünya bor üretimi grafiği [18].

3.1.2 Tüketim

Son zamanlarda bor ürünlerinin çok geniş bir kullanım alanı olmakla birlikte en temel tüketim alanı cam endüstrisidir. Dünya toplam tüketiminin % 43'ünün bu alanda tüketildiği tahmin ediliyor. % 17 ile deterjan sanayi, %12 ile seramik sanayi, % 5 ile gübre sektörü bor ürünlerinin en çok tüketildiği alanlar olarak görülmektedir. Bölgesel tüketim açısından toplam B₂O₃ bazında Batı Avrupa % 46 ile birinci büyük tüketici konumundadır. Kuzey Amerika % 25, Asya % 11 ve Latin Amerika % 10 ile diğer sıralardadır.

Dünyada bor ürünlerine en çok talebin olduğu ülke ise, bor ürünlerine bağlı sanayinin en çok gelişmiş olduğu ülke olan ABD'dir.

Çok geniş ve çeşitli alanlarda ekonomik olarak kullanılan bor mineral ve bileşiklerinin kullanım alanları günlük yaşamımıza ve sanayinin her alanına girmiş olup, gün geçtikçe daha da artıyor. Tüketimde bölgelere göre önemli farklılıklar gözlenmektedir. Örneğin Avrupa'da en fazla tüketim deterjan sanayinde kullanılan sodyum perborat üretiminde olurken, Kuzey ve Orta Amerika'da izolasyon cam yününde (fiberglas) olmaktadır. Japonya'daki tüketimin ise tekstil ürünlerinde kullanılan borlu fiberlerde olduğu tahmin edilir. Dünya bor tüketiminin yaklaşık olarak % 80'ini ABD ve Batı Avrupa ülkeleri yapıyor. Dünya tüketiminin %75'ini Eti Bor (Eti Holding) ve Rio Tinto'nun ABD'de kurulu Borax Ltd. karşılamakta. Türkiye'deki yataklar dünyanın gereksinimini bugünkü tüketim hızı ile 400 yıldan uzun bir süre karşılayabilecek düzeydedir [16].

3.2 Dünya Ticareti

3.2.1 İhracat

Dünya toplam ticaret hacminin % 75'i Türkiye ve ABD tarafından karşılar. Sahip olunan rezerv boyutu ile orantılı olarak dünyanın en büyük cevher ihracatçısı Türkiye'dir. Diğer cevher ihracatçısı ülkeler ise Arjantin, Şili ve Peru'dur [10].

3.2.2 İthalat

Bor madeni kaynaklarına sahip olmayan ancak büyük miktarlarda bor bileşikleri üretimin gerçekleştiren ve bor tüketimi olan Avrupa ülkeleri en büyük bor cevherleri ithalatçısıdır. Dünyanın en fazla bor cevherleri ithal eden ülkeleri; İtalya, Fransa, ABD, Almanya, Japonya, İskandinav ülkeleri, ve Belçika'dır. 2000 yılının dünya maden ithalatında ilk sıralarda yer alan ülkeler Japonya, ABD, Kore, Almanya, Çin ve İtalya'dır [10].

4. POLİMER MALZEMELER

4.1 Polimer Grupları

Polimer, en basit tanımıyla monomer denilen küçük moleküllerin birbirlerine eklenmesiyle oluşan uzun zincirli büyük molekül ağırlıklı bileşikler. Polimerler monomerlerin birbirine kovalent bağ ile bağlanmasından oluşur. Polimerler düşük üretim maliyetleri, kolay şekil almaları ve amaca uygun üretilibilmeleri nedeniyle her alanda yaygınlaşmıştır. PVC (Poly Vinyl Chloride), Teflon (politetrafloroetilen - PTFE) hayatımıza giren polimer örneklerdir.

Fiziksel özelliklerine göre polimerler 3 farklı gruba ayrılır.

- Termoplastikler = Isıtıldıklarında yumuşayan, soğutulduklarında tekrar sertleşen plastik grubudur.
- Termosetler = Isıtıldıklarında sertleşen ve bu halini sonsuza dek koruyan plastiklerdir.
- Elastomerler = Yapılarında viskosite ve elastisiteyi bir arada barındıran, lineer polimerler olan termoplastiklerin bir alt üyesidir. Zorlanma durumunda % 1000'e kadar uzama kabiliyetine sahiptirler. Zorlanma durumu ortadan kalktığında şekil değişimi ortadan kalkar ve eski ölçülerine geri dönerler. Dikkat edilmesi gereken bir nokta, zorlanma doğrultusunda düzenlenen bu zincirlerin elastiklik modüllerinin de doğru orantılı olarak artmasıdır. Bu, belli bir gerilme seviyesi aşıldığında yük kaldırıldığında ilk haline dönen malzemenin Hooke Kanunu'na aykırı olarak doğrusal olmayan bir davranış göstermesine sebebiyet verir.

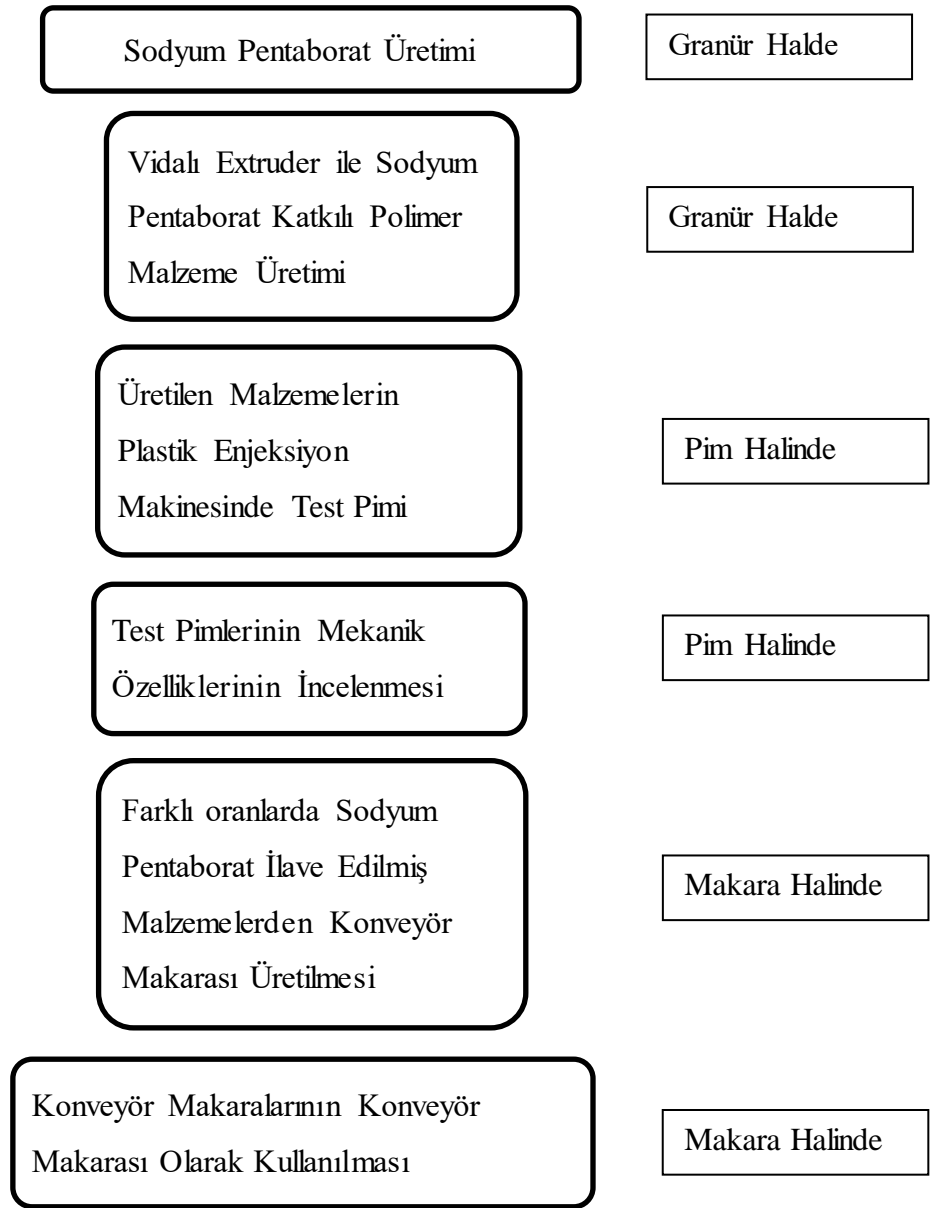
4.2 Polyamid (PA) Malzeme

Makina endüstrisinde çok kullanılan bir malzemedir. Nispeten sertlik rijit, kaygan ve iyi mekanik dayanım değerlerine sahip bir malzemedir. Dışli uygulamalarından tekerlek yapımına kadar birçok kullanım alanı vardır. Kimyasal mukavemeti orta değerdedir, bazı asit ve bazlara karşı mukavemeti vardır. Polyamid

6 bünyesinde su toplama özelliğine sahiptir. Bu özelliklerin iyi ve kötü yanları vardır. İyi yönleri parçanın titreşim ve ani darbelere karşı dayanımı artırır. Böylece parça kullanım esnasında oluşacak dinamik gerilmelerin parçanın bünyesinde yok edilmesine olanak verir. Kötü yönü ise malzemede ölçü stabilitesine ulaşmak zorlaşır. Yani malzeme havadaki nemden dahi etkilenerek ölçü değişikliklerine uğrar parçaya son işlem yapılmadan toleranslara dikkat edilmelidir.

5. SODYUM PENTABORAT KATKILI MALZEME ÜRETİMİ

5.1 Üretim Akış Diyagramı



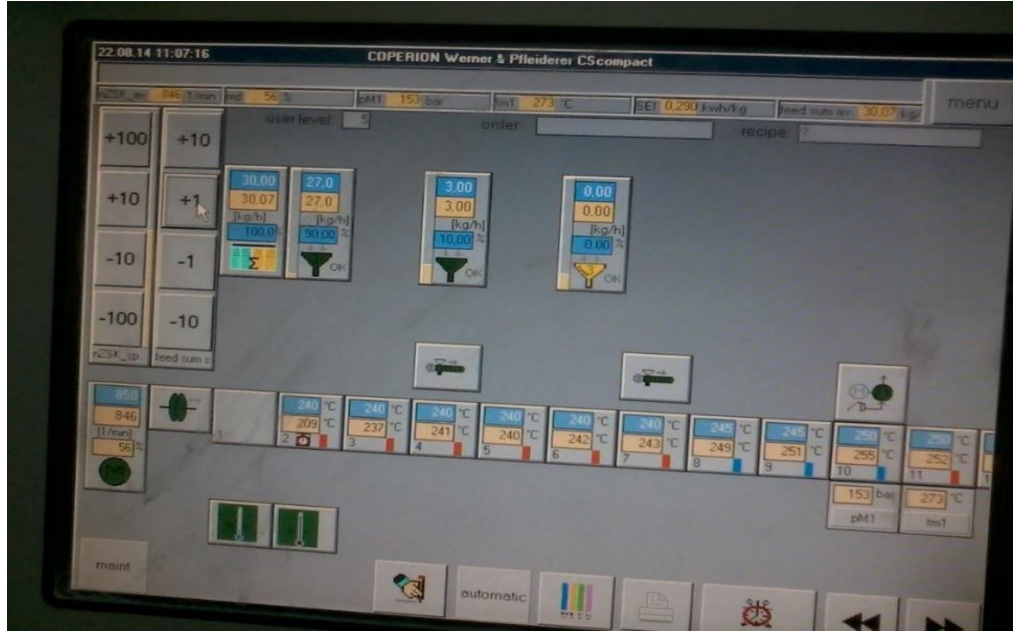
5.2 Granür Halde PA6 Katkılı Sodyum Pentaborat Üretim Akışı

Üretim Basamakları ;

1. Ergitirmek için PA6 granürü ile sodyum pentaborat istenilen oranlarda besleme hunisi ile kovan içerisine alındı (Şekil 5.1).
2. Motor ve redüktörden tahrik alan taşıma ve sıkıştırma özelliği olan sonsuz vida ile granür haldeki malzeme hareket eder. Kovanın ısınması ve vidaların sürtünmesi ile granür haldeki malzeme ergitildi. Sonsuz vidanın farklı yerlerinde bulunan rezistanslar ve soğutucular sayesinde malzeme adım adım istenilen sıcaklıklarda ısıtılabilir. Böylece malzemenin yapısının ani bozulmasının önüne geçilir (Şekil 5.2).
3. Proses başlangıç ve bitişine kadar geçen sürede kontrol ünitesi sayesinde ısı, basınç, kapasite, hız gibi unsurlar ile ayarlama yapılarak nihai ürünün kalitesi, hız gibi unsurlar ile ayarlama yapılarak nihai ürününün kalitesi en üst seviyede tutuldu.
4. Bu ısı, basınç, hız, kapasite gibi unsurların parametrelerini makineye adapte edene kadar bazı malzeme kayıpları verildi (Şekil 5.3).
5. Doğru parametreler ayarlandığında vida çıkışındaki malzeme akış stabil olmaya başladı (Şekil 5.4).
6. Malzeme sonsuz vidadan çıkar çıkmaz havuz konveyörde katı fazına geçirildi. Yaklaşık 30 °C'lik suda fırçalar vasıtası ile taşındı (Şekil 5.5).
7. Havuz konveyörden çıkan şerit şeklini alan malzeme kesme bıçağında rulolar arasında sıkıştırılarak kesme bıçağında kesildi (Şekil 5.6).
8. Granür hale gelmiş olan malzeme toplama teknesi ile toplanarak, nem almayan poşetlerde muhafaza edildi. Böylece PA6 katkılı sodyum pentaborat malzemesi elde edilmiş oldu (Şekil 5.7).



Şekil 5.1: Granül besleme hunileri.



Şekil 5.2: Sonsuz vida rezistans değerleri.



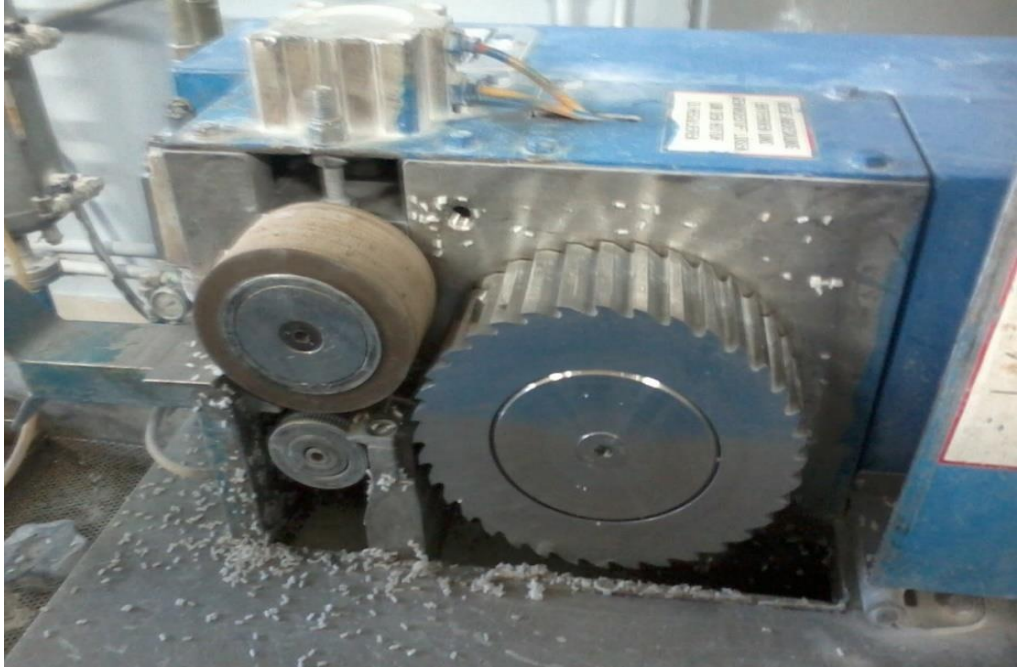
Şekil 5.3: Üretim sırasında verilen kayıplar.



Şekil 5.4: Sonsuz vida çıkışı.



Şekil 5.5: Havuz konveyör.



Şekil 5.6: Kesme bıçağı.



Şekil 5.7: Toplama teknesi.

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1 Vidalı Extruderler

6.1.1 Vidalı Extruder Çalışma Prensibi

Bir standart ekstruderin parçaları şunlardır:

1. Vida
2. Silindir
3. Besleme bunkeri
4. Tahrik motoru
5. Redüksiyon dişlisi
6. Silindir için ısıtma elemanları

Ergitilmek istenen granül, toz, kırma vs. plastik malzemeler, besleme hunisi ile kovan içerisine manuel veya otomatik sistemler ile aktarılır. Kovan içerisinde bulunan ve motor - redüktör sisteminden tahrik alan taşıma ve sıkıştırma özelliği olan sonsuz bir vidanın kanalları arasında ilerleyen plastik malzemeler, kovanın ısıtılması ve plastiğin kovan civarında sıkışarak kendi yarattığı sürtünme ile ergime başlar. Sonsuz vidanın yapısı gereği farklı bölümlerden geçen plastik malzeme, kovan ve vidanın sıcaklık değerlerinin ısıtıcı ve soğutucular ile ayaklanması ve kontrol edilmesi sonucunda tam ergimiş durumda, yüksek basınçta kovan çıkışına ulaşarak kalıptan çıkış yapar.

Proses başlangıç ve bitişine kadar geçen sürede kontrol ünitesi sayesinde ısı, basınç, kapasite, hız gibi unsurlar ile ayarlama yapılarak nihai ürünün kalitesi, hız gibi unsurlar ile ayarlama yapılarak nihai ürününün kalitesi en üst seviyede tutulur.

Ekstrüzyon prosesi sonrası nihai ürünün, soğutulması, kalibre edilmesi, doğrutulması, kesilmesi veya sarılması sağlayan yardımcı proses ekipmanları ile sistemin tümü 'proses hattı' olarak tanımlar.

Ekstrüzyon işleminde metod, sabit çaplı bir silindir içinde vida dönüşü ile malı vida dişleri arasında vida sonundaki çıkış açıklığına getirmektir.

Ekstruder, karışım nakliyesi, ve eritme işleminden başka, erimiş kompaundu sıkıştırılmalı ve homojenleştirmelidir.

Karışım işleminin anlamı plastik ham maddesinin stabilizerler boyar maddeler gibi yardımcı işleme malzemeleri ile karıştırılması ve granül halinde veya başka bir formda kesilip ara mamul olarak elde edilmesidir.

Tek başına bir ekstruder tam bir plastik işleme makinesi değildir, fakat erimiş plastik tedarikinde birinci makinedir. Bununla birlikte bir ekstrüzyon fabrikasında en önemli ekipmandır. Eğer kalıp ekstruderin kafasına monte edilirse erimiş plastik kalıptaki şekli alacak ve kalıp açıldığında hava ile karşılaşacaktır. Malzemenin ekstruder silindirinden dışarı çıkmasından sonra, malzemenin yumuşak halde bulunması nedeniyle işlenen plastikteki boyut kararlılığını (stabilizasyonunu) sağlamak üzere ekstrudere bir cihaz monte edilmelidir.

Ekstruderler tek vidalı ve çok vidalı olmak üzere alt gruplara ayrılırlar. Çift vidalı ekstruderler özellikle toz halindeki plastik maddelerin işlenmesi için geliştirilmişlerdir.

Ekstruderler her zaman her yerde kullanılırlar, yani ekstruderler mümkün olan bütün plastik karışımların işlemeye muktedirler. Fakat farklı plastik malzemeler sıcaklık ve makaslama kuvveti (shear stress) konusunda farklı uygulamalar gerektirir. Vida hızı, sıcaklığa duyarlı plastiklerle çalışıldığında genellikle mümkün olduğu kadar düşük seçilmelidir. Bu, neden büyük makinalarda son derece değişken dişli sistemlerinin kullanıldığını ve hızı kontrol edilebilen motorların istenildiğini gösterir. Bağımsız olarak her bölgede, ısıtma elemanlarından başka soğutma elemanları da durumlara bağlı olarak gerekli olabilir. Bu durumda her ısıtma elemanı yanına bir de soğutma cihazı monte edilir.

Silindirin bir bölümü direkt olarak besleme hunisi ile irtibatlıdır. Burası, malzemenin eriyip, beslenen malzemenin vidaya olan akışını engellenememesi yani blokaj olmaması için soğutulur [19].

6.2 Plastik Enjeksiyon Makinesi

6.2.1 Plastik Enjeksiyon Makinesi Çalışma Prensibi

Sıcaklık yardımı ile ergitilmiş plastik hammaddenin kalıp içine enjekte edilerek şekillendirilmesi ve tekrar soğutularak kalıptan çıkarılmasını içeren bir imalattır. Bu metot ile en küçük komponentlerden, bahçe ürünlerine kadar çeşitli ebat ve kategorilerde plastik parçalar yapılır. En yaygın üretim yöntemlerinden biridir.

Klasik bir plastik enjeksiyon parçası makine içinde aşağıdaki 6 temel aşamadan geçerek oluşur.

1. Kapama = Bir enjeksiyon makinesi üç ana parçadan oluşur: kapama ünitesi, enjeksiyon ünitesi ve kalıp. Kapama ünitesi, enjeksiyon ve soğutma esnasında kalıbı basınç altında tutan ünedir. Daha basit olarak enjeksiyon kalıbının iki tarafını (dişi ve erkek) birleştiren ünedir.
2. Enjeksiyon = Enjeksiyon sırasında, granül halindeki plastik malzeme enjeksiyon ünitesi üzerindeki hazneye ilk aşamada dökülür. Oradan rezistanslı ısıtıcılar ile ısıtılan silindir içine, elektrik motoru ile kumanda edilen bir vida vasıtası ile alınır. Vida sıkıştırma işlemi yaparak sıcaklık ve basınç altında eriyik hale gelen plastik malzemeyi silindirin sonuna kadar yürütür. Vidanın önüne kalıbı doldurmak için yeterince malzeme alındığında enjeksiyon işlemi başlar. Ergimiş plastik, makinenin ucundaki bir meme vasıtası ile kalıbın içine gönderilir. Bu işlem esnasındaki basınç ve hız hidrolik motor ile otomatik olarak kontrol edilir.
3. Ütüleme = Parçanın istenen ölçülerde olması ve görünümünde çeşitli hatalar (çöküntü, yamulma, eğilme, vs.) olmaması için bu işlem uygulanır. Bu aşamada kalıp içine enjekte edilmiş olan plastik eriyiğin, basınç uygulanarak kalıp boşluğunu iyice doldurması ve hava kalmaması sağlanır. Plastik, kalıp içinde katı hale gelinceye kadar işlem sürer. Kullanılan hammaddenin özelliğine, parça ebatlarına ve ağırlığına bağlı olarak işlemin süresi değişkenlik gösterebilir.

4. Soğutma = Ergimiş plastiğin son formunu alma işlemidir. Kalıbın soğutulması genellikle kalıp içindeki su kanalları vasıtasıyla yapılır.
5. Kalıp Açma = Kapama ünitesi kalıbın iki tarafını birbirinden ayıracak şekilde açılır.
6. İtici = Kalıp tipine göre maçalar veya iticiler yardımı ile son ürün kalıptan çıkarılır.

6.3 Yoğunluk Tayini

Plastik hammaddelerin (özellikle kalıplanmış hallerinin) yoğunluğunu tayin etmek için kullanılır.

Analitik terazilerde yoğunluk, malzemelerin önce havada daha sonra yoğunluğu önceden bilinen sıvı içerisinde tartılmasıyla hesaplanarak bulunur.

Referans standart: ISO 1183

Kullanılan cihaz: Analitik terazi / Yoğunluk kiti



Şekil 6.1: Analitik terazi [20].

6.4 Katkı Oranı

Plastik hammaddelerin kül miktarını belirlemede kullanılır. Isıtıcı rezistansların yardımı ile fırının içerisindeki havanın ısıtılması prensibine dayanır.

Referans standart: ISO 3451

Kullanılan cihaz: Kül fırını - Nüve MF120 Çalışma Sıcaklığı : 750 ± 50 °C



Şekil 6.2: Kül fırını [20].

6.5 Akma Mukavemeti

Malzemelerin elastik bölgeden , plastik bölgeye geçiş gerilme noktası olarak tarif edilir. Çekme deneyi aşağıdaki şekilde yapılır :

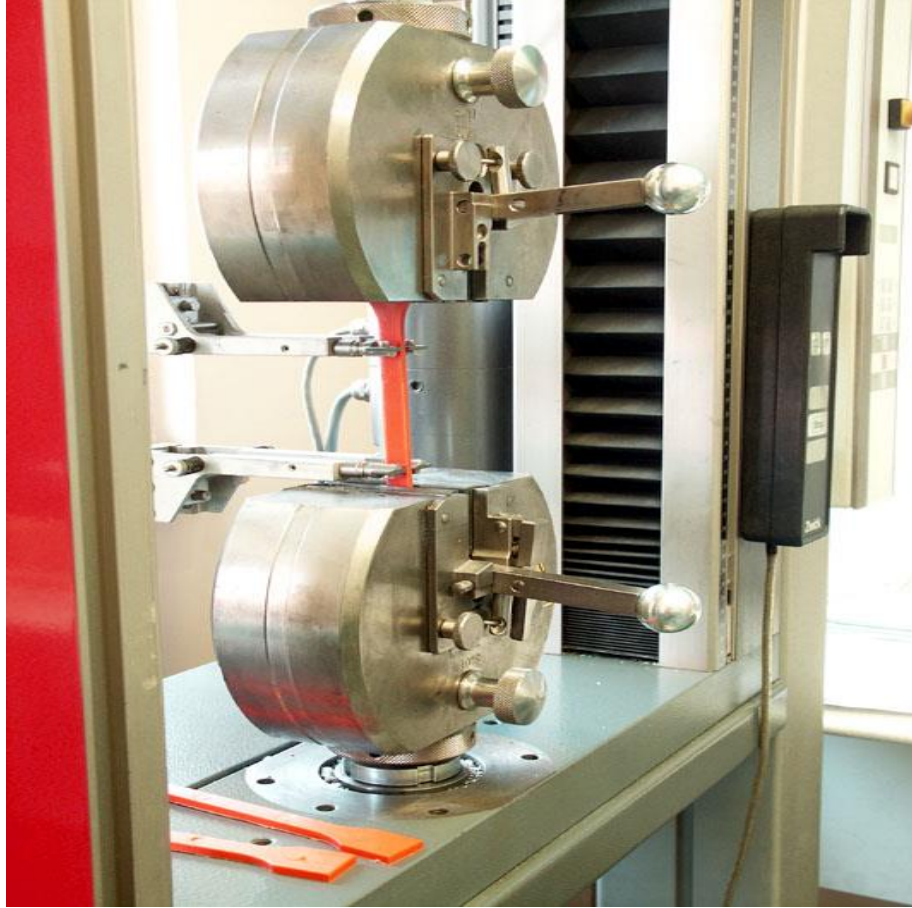
Çekme ve eğme testi için hazırlanacak çubuklar ISO 527-2 ve ISO 178'e göre hazırlanır. Çekme testinde; deney parçası, sabit hızda, uzunlamasına eksen boyunca kopana kadar veya gerilme (yük) veya zaman (boyut değişimi) değeri önceden belirlenmiş bir değere ulaşana kadar çekilir. Bu işlem sırasında, deney parçasının

dayanabildiği yük ve uzama değerleri kayıt altına alınır. Eğme testinde bir kiriş gibi desteklenen deney parçası ortasına uygulanan bir kuvvetle kırılıncaya veya deformasyon önceden belirlenen bir değere ulaşıncaya kadar sabit bir hızla eğilir. Bu işlem sırasında deney parçasına uygulanan kuvvet tespit edilir.

Çekme numuneleri çizimi ve çekme sonucu görseller EK B, EK C, EK D 'de belirtilmiştir.

Referans standart: ISO 527 & ISO 178

Kullanılan cihaz: Zwick z020



Şekil 6.3: Çekme cihazı [20].

6.6 Akma Uzaması

Akma sınırı malzemelerin en önemli mekanik özelliklerinden biridir. Malzemenin deformasyon tipinin elastikten, plastiğe geçtiği sınır olarak tarif edilir. Bu değerin üzerindeki zorlanmalarla da malzeme bir daha eski haline dönemez ve plastik deformasyona uğrar. Malzemenin akma anında gösterdiği uzama olarak tarif edilir.

6.7 Kopma Mukavemeti

Malzemenin temel mekanik özelliklerinden biridir. Malzemenin aksenal olarak bir gerilim altında kopmadan dayanabileceği en yüksek değeri ifade eder. Malzemenin plastik şekil değiştirmeden sonra kesin olarak koptuğu, nihai hasarın olduğu andır. Artık geri dönüş yoktur.

6.8 Kopma Uzaması

Yüzde kopma uzaması çekme numunesinin boyunda meydana gelen en yüksek yüzde plastik uzama oranı olarak tanımlanır.

6.9 Elastisite Modülü

Malzemenin dayanımının (mukavemetinin) ölçüsüdür. Birim uzama ile normal gerilme (çekme yada basma gerilmesi) arasındaki doğrusal ilişkinin bir sonucu olup birim uzama başına gerilme olarak tanımlanır. Birim uzama ile normal gerilme (çekme yada basma gerilmesi) arasındaki doğrusal ilişki şöyle tanımlanabilir;

$$E = \sigma / \varepsilon$$

Malzemeye kuvvet uygulandığında, malzemede meydana gelen uzamalar elastik sınırlar içinde gerilmelerle orantılıdır. Buna “Hooke Kanunu” adı verilmektedir. Elastisite modülü malzemeye ait karakteristik bir özelliktir.

6.10 İzod Çentik Darbe Dayanımı

Bu test, numunenin salınım yapan bir sarkacın darbesine dayanımını ölçmek için kullanılan bir tek nokta testidir. İzod darbe dayanımı, numunede çatlama başlatmak ve kırılma gerçekleşene kadar devam ettirmek için gerekli kinetik enerji olarak tanımlanır. İzod numunelerine, deformasyonu önlemek için çentik açılır. Bu test, maddenin belirlenen darbe özelliklerine sahip olup olmadığını belirlemek ya da diğer maddelerle sertlik özelliklerini karşılaştırmak için hızlı ve kolay bir kalite kontrol yöntemi olarak kullanılabilir.

REFERANS STANDART: ISO 180/1A

KULLANILAN CİHAZ: ZWICK B5113.300 VE ÇENTİK AÇMA APARATI



Şekil 6.4: Çentik darbe cihazı [20].

6.11 Sertlik

Plastik hammaddelerin shore d cinsinden batma sertliğinin tayini için kullanılır. Belirli şartlar altında batırılan belirli bir ucun batma derinliği ölçülür. Batma sertliği, malzemenin esneklik modülüne ve visko elastik özelliklerine bağlı olup batma miktarı ile ters orantılıdır. Batma ucunun şekli, batma ucuna uygulanan kuvvet ve uygulama süresi elde edilen sonuçları etkiler.

Referans standart: ISO 868

Kullanılan cihaz: Zwick shore-d 3117



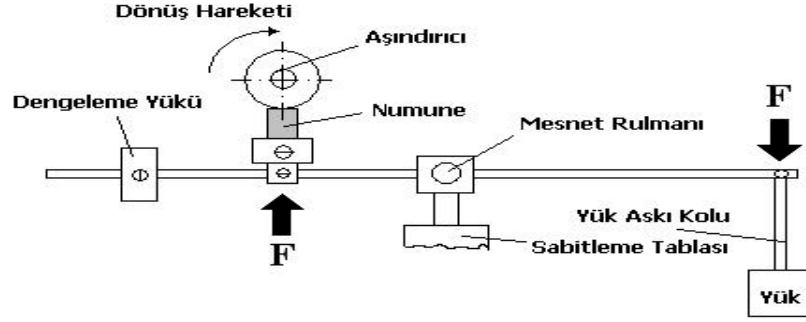
Şekil 6.5: Sertlik cihazı [20].

6.12 Aşınma Testi

6.12.1 Adhesiv Aşınma Testi

Adhesiv Aşınma:

Malzemelerin en iyi işleme kalitesinde bile pürüzlülük tamamen giderilemez. Yükün etkisinde malzemede küçük temaslarda bile büyük basınçlar oluşur. Bunun sonucunda oluşan sürtünme kuvveti malzemenin bağlarının kopmasına sebep olur. Malzemenin bağlarının kopmasından meydana gelen aşınmaya adhesiv aşınma denir.



Şekil 6.6: Adhesiv aşınma test modeli [22].

6.12.2 Aşınma Testi Uygulaması

Aşınma testinde farklı katkı oranları ile üretilen malzemelerin aşınma miktarları ve sürtünme katsayıları karşılaştırıldı.

Aşınma Testi Uygulama Basamakları ;

1. Test piminin hassas terazide ölçülmesi (Şekil 6.7).
2. Test piminin aşınma test cihazına takılması ve su terazisinden doğrusalık kontrolü yapılması (Şekil 6.8).
3. Aşınma test düzeneğinin uç tarafına sürtünme kuvvetini oluşturacak ağırlık takılır (Şekil 6.9).
4. Loadcell sürtünme kuvvetini hesaplamak için test cihazına takılır. Motor çalıştırılır ve sürücü kontrolü ile istenilen devir ayarlanır (Şekil 6.10).
5. LabVIEW programı ile saniyelik olarak sürtünme kuvvetleri bilgisayar üzerinden takip edilir (Şekil 6.11).

Bu çalışma için mandrene 6 mm çapında silindirik deney çubukları deney düzeneğine bağlanmadan önce 1/10000 hassasiyetindeki (Precisa 205 A CS) elektronik terazide ölçümleri yapıldı. Daha sonra değerler not edilerek pim deney düzeneğindeki mandrene bağlandı. Su terazisi ile teraziye alındı ve doğrusalığı kontrol edildi. Su terazisinin doğru olması çok önemlidir. Aksi takdirde sürtünme kuvvetleri yanlış hesaplanabilir. Bu sürtünme kuvvetleri mandrenin sağ tarafında bulunan loadcell yardımı ile LabVIEW programından bilgisayar üzerinden gram cinsinden görülmektedir. Polimer deney malzemesinin C1040 çeliği üzerindeki

sürtünme hızı motor-redüktör grubunu kontrol eden sürücü vasıtası ile istenilen hızda kontrol edilebilmektedir.

Aynı zamanda deney 1-2 saat zaman dilimi aralığında sürdüğünden deneme düzeneği kamera ile ofislerden takip edilebilmektedir.

Aşınma testinde kullanılan bazı formüller; (6.1), (6.2) ve (6.3) aşağıda belirtilmiştir.

Devir Hesaplaması;

$$N = V.1000.60 / \pi . D \quad (6.1)$$

Sürtünme Katsayısı Hesaplanması;

$$\mu = F_s / F_n \quad (6.2)$$

Aşınma Oranı Hesaplaması;

$$W_a = \Delta m / S \times \rho \times F_n \quad (6.3)$$

Bu denklemlerde semboller ve birimleri aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$N = \text{Devir (dev/dk)}$

$\mu = \text{Sürtünme Katsayısı}$

$V = \text{Dönme Hızı (m/sn)}$

$F_n = \text{Nominal Kuvvet (N)}$

$F_s = \text{Sürtünme Kuvveti (N)}$

$W_a = \text{Aşınma Oranı (cm}^3\text{/ Nm)}$

$\Delta m = \text{Aşınma Miktarı (gr)}$

$S = \text{Kayma Yolu (m)}$

$P = \text{Yoğunluk (g/cm}^3\text{)}$

$D = \text{Kayma Çapı (mm)}$



Şekil 6.7: Hassas terazi ölçümü.



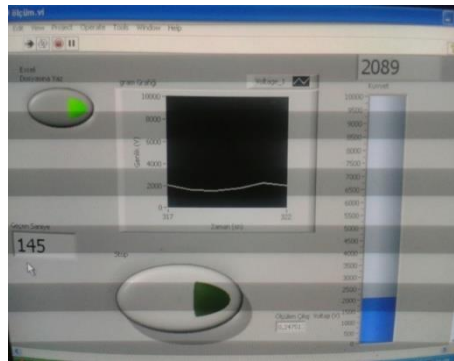
Şekil 6.8: Su terazi dengesi.



Şekil 6.9: Ağırlıkların bağlanması.



Şekil 6.10: Loadcell bağlanması.



Şekil 6.11: LabVIEW programı takibi.

6.12.3 Aşınma Yüzeyleri İnceleme Metodu

Aşınma sonrasında aşınan yüzeylerin incelenmesi ve yorumlanması malzeme hakkında bilgi alınması için çok önemlidir. Deney numuneleri aşınma sonucunda Balıkesir Üniversitesi Araştırma Laboratuvarında SEM (Taramalı Elektron mikroskobu) ile aşınma yüzeylerin gözlemlenmiştir.

Taramalı Elektron Mikroskobunda (SEM) görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir. SEM-Görüntüleme laboratuvarındaki elektron mikroskobunda bu algılayıcılardan gelen sinyaller dijital sinyallere çevrilip bilgisayar monitörüne verilmektedir. Mikroskobun basit bir dijital fotoğraf makinesini aratmayacak kadar kolay kullanışlı bir ara yüzü vardır (Graphical User Interface-GIU). Biyolojik ve biyolojik olmayan materyaller (örn. endüstriyel materyaller) için otomatik ön ayarları olduğu gibi, manuel ayarlar da mevcuttur. 25 nm ayırma (image resolution) sahip olan mikroskop, optik mikroskopların erişemeyeceği canlı görüntüleme ve fotoğraflama yeteneğindedir. Herhangi bir ayar ya da parça değişimi gerektirmeden 10X-20000X aralığında büyütme yapabilir. Önceden yüklenmiş parametre dosyalarıyla kullanıcılar geniş aralıkta bir örnek yelpazesini inceleyebilirler. Örnekler 3 dk içinde incelenmeye hazır hale gelir. Biyolojik materyallerden, değişik malzemelere kadar farklı örnekleri yüksek ve düşük vakum modlarında incelemek mümkündür. İkincil elektron ve geri saçılmış elektronlar görüntülenebilir. 5, 10, 15 kV voltajlarında görüntüleme yapabilir. Örnek tablası 50 mm kalınlığında örnekleri kabul eder ve daha geniş örneklerden net fotoğraflar alınabilir [21].

6.13 Sodyum Pentaorat Katkılı Konveyör Makaralarının Uygulanması

Sanayide hammadde, yarı mamül ve mamüller makine veya proses çıkışlarında bir noktadan diğer noktaya transferlerinde taşıma konveyörleri kullanılır. Taşıma konveyörleri belli sıcaklıklar altında çalışma koşullarında zamanla uzamalar göstermektedir. Bu uzamalar konveyör altlarında sarkmalara neden olur. Sarkma sonucu konveyör pimleri aşırı yükten kırılmakla beraber iş güvenliği tehlikesi ve kötü görüntü oluşturmaktadır.

Yoğun çalışan işletmeler üretim proseslerini durdurmak istemezler. Polimer malzemeden yapılan taşıma konveyörleri çeşitli ortam koşullarında zamanla uzadıklarında konveyör şasesine sürterek kopmalara sebep olur. Aynı zamanda motor-redüktör tahrik sisteminin daha ağır yüke maruz kalması ile motorda yanma veya redüktörde zorlamalar olur. Bu sebeple hatlarda arıza duruşları meydana gelir. Hat duruşları işçilik, üretim ve zaman kaybı anlamına gelir. Ayrıca arıza sonrası hat devreye alma sırasında başlangıç kayıpları üretimde ciddi duruşlara sebep olur.

Taşıma konveyörlerinin altında bu sarkmaları engellemek için konveyör makaraları kullanılır. Bunlar zamanla uzayan konveyörlerin altına monte edilerek sarkmalar sonucu oluşabilecek hat duruşları engellenir.

Bu deneyde Eker Süt Ürünleri A.Ş. fabrikasında bitmiş ürün taşıyan ve polimer malzemeden imal edilen konveyör altında kullanılan PA malzeme konveyör makaralarına alternatif olarak üretilen sodyum pentaborat katkılı makaralar imal edilerek konveyör altına monte edildi. Parça çizimi EK A'da belirtilmiştir.



Şekil 6.12: Yoğurt taşıma konveyörü.



Şekil 6.13: Konveyöre monte edilen deney parçalarının çalışma görüntüsü.



Şekil 6.14: İşletmede çalışan PA makaraları görüntüleri.

7. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMESİ

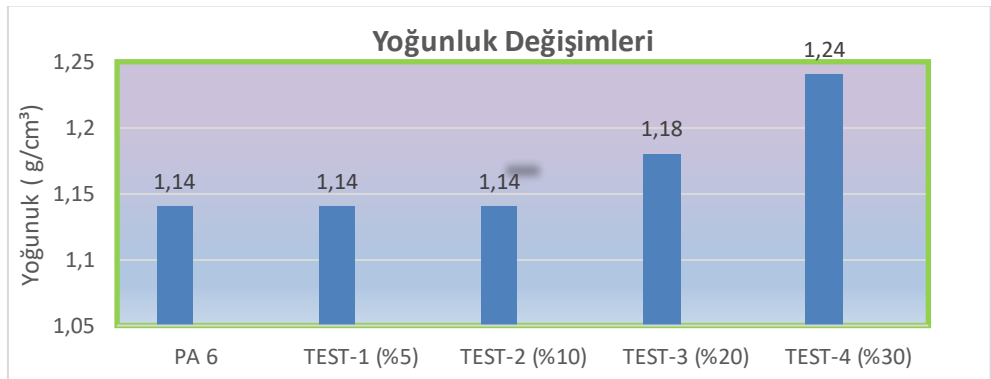
Emaş A.Ş. firmasında yapılan çalışmalarda sodyum pentaboratın başka bir polimer malzeme olan polyamid 6 ile karıştırılması sonucu ortaya çıkan malzemenin özellikleri incelendi. Öncelikle bu araştırma için Bursa'da hizmet veren Emaş Plastik A.Ş. ile görüşmeler yapılarak numune üretimleri ve analiz sonuçları için randevular alındı. Daha sonrasında vidalı plastik extruder makinesi ile PA6 (polyamid 6) içerisine %5-10-20-30 gibi farklı oranlarda sodyum pentaborat ($\text{NaB}_5\text{O}_8 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) eklendi. Ortaya çıkan malzemelerin yoğunluk, akma mukavemeti, akma uzaması, kopma mukavemeti, kopma uzaması, çekme modülü, izod çentikli darbe dayanımı ve sertlik gibi özelliklerine bakıldı.

Balıkesir Üniversitesi Edremit Meslek Yüksek Okulu'nda yapılan aşınma testleri ile bu malzemelerin sürtünme kuvvetleri ve aşınma oranları incelendi.

Eker Süt Ürünleri A.Ş fabrikasında yoğurt ve ayran üretim hattının konveyöründe zamanla meydana gelen uzamaların dengelenmesinde kullanılan PA6 malzemeye alternatif olarak sodyum pentaborat katkılı malzemeler denendi.

Yoğunluk Değişimi ;

Genellikle yoğunluk artışı polimer malzemelerde istemediğimiz bir özelliktir. Şekil 7.1'de görüleceği üzere katkı oranındaki artışa göre yoğunluğun az miktarda artışı gözlemlendi.

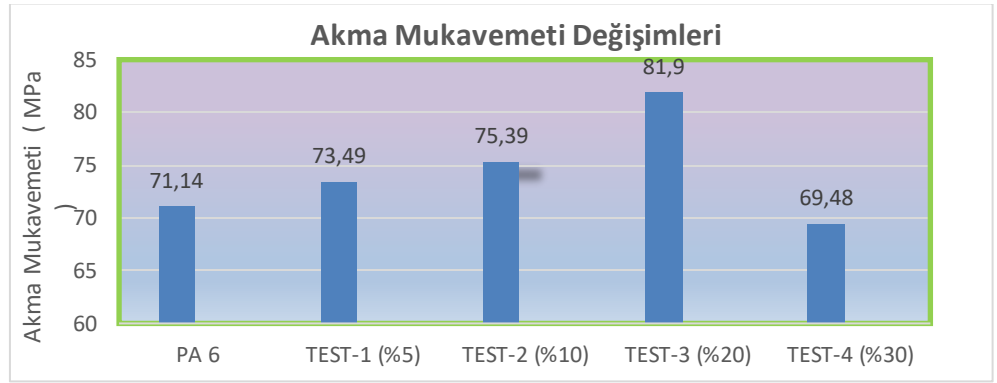


Şekil 7.1: Yoğunluk değişim grafiği.

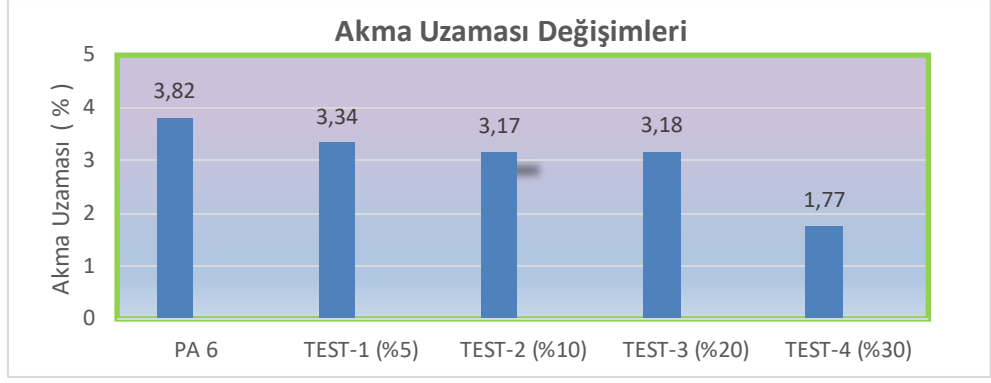
Akma Mukavemeti ve Kopma Mukavemeti Değişimi;

Şekil 7.2, Şekil 7.3, Şekil 7.4 ve Şekil 7.5’de görüleceği üzere PA6 malzemeye sodyum pentaborat ilave edildiğinde belli orana kadar mekanik özelliklerin iyileştiği gözlemlendi. %5-10-20 oranlarında sodyum pentaborat eklendiğinde akma ve kopma mukavemetinde katkı oranı artışına göre artış gözlemlendi. PA6 malzeme akma mukavemeti 71,14 MPa iken % 20 katkılı malzemede akma mukavemeti 81,9 MPa ‘a yükseldi (% 14 ‘lük artış gözlemlendi). EK B, EK C, EK D ‘de görseller bulunmaktadır.

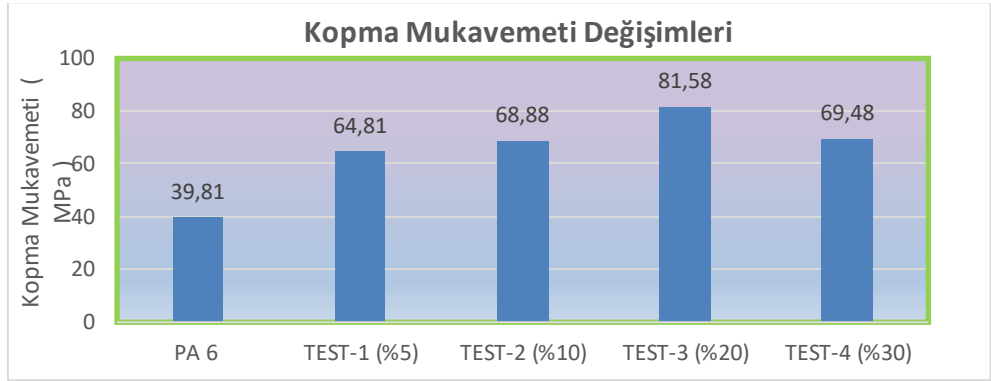
Akma ve kopma uzamasındaki azalmaların temel sebebi Şekil 7.13’de sertlik değişim grafiğinden de anlaşılacağı üzere sertliğin artmasıdır.



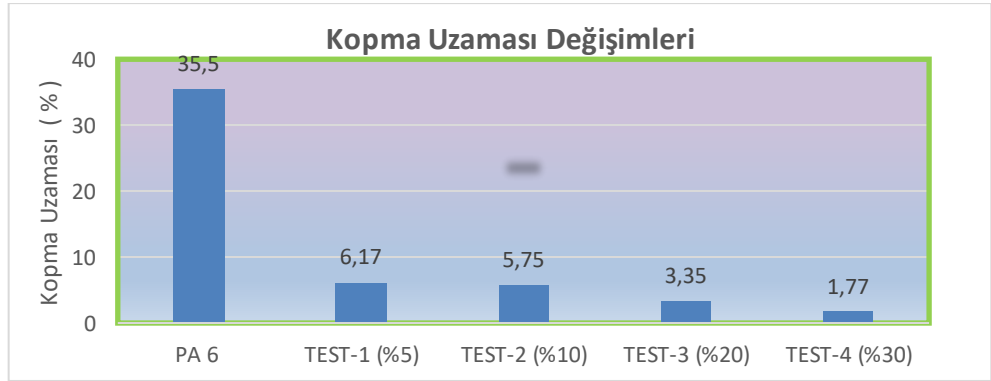
Şekil 7.2: Akma mukavemeti değişim grafiği.



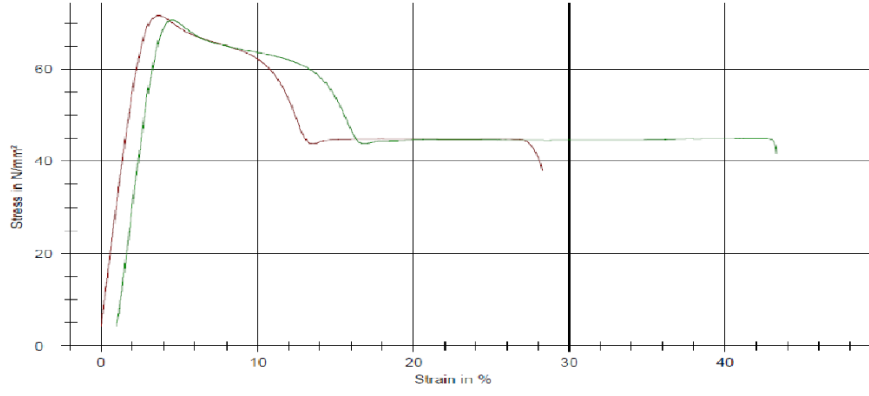
Şekil 7.3: Akma uzaması değişim grafiği.



Şekil 7.4: Kopma mukavemeti değişim grafiği.

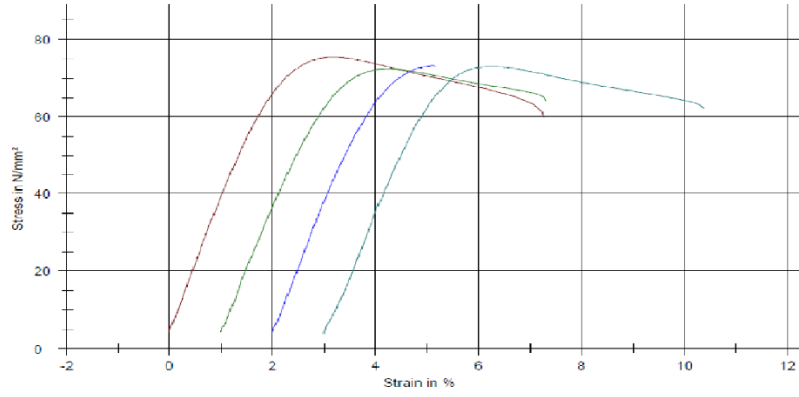


Şekil 7.5: Kopma uzaması değişim grafiği.



Şekil 7.6: PA6 malzeme çekme testi.

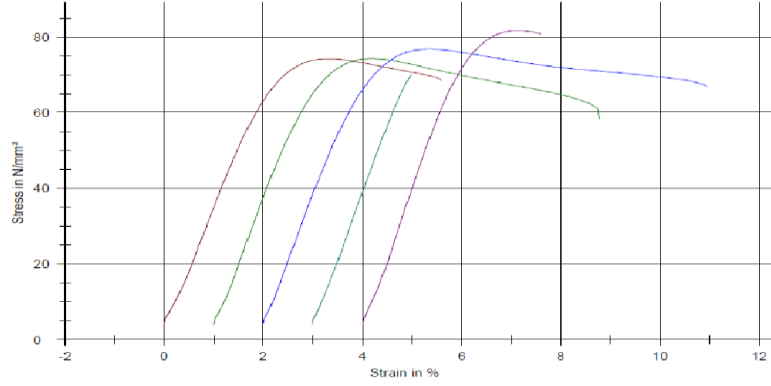
- PA6 malzeme 71,14 MPa'da akma meydana gelirken, %3,82' lik akma uzaması gösterdi. Malzemede 39,81 MPa'da kopma gözlemlendi. Tablo 7.2'de yukarıdaki Şekil 7.6'da çekme testi uygulanan 2 adet numunenin ortalaması belirtilmiştir.



Şekil 7.7: PA6-%5 sodyum pentaborat çekme testi.

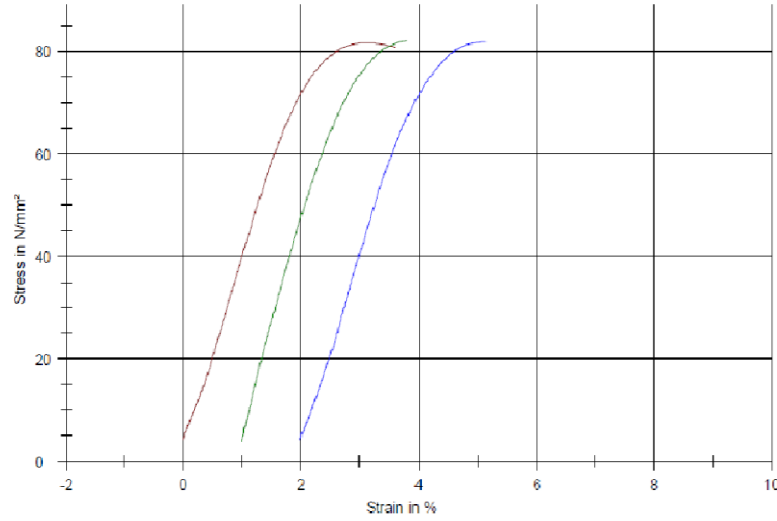
- PA6-%5 malzeme 73,49 MPa'da akma meydana gelirken, %3,34'lük akma uzaması gösterdi. Malzemede 64,81 MPa'da kopma gözlemlendi. Tablo

7.2'de yukarıdaki Şekil 7.7'de çekme testi uygulanan 4 adet numunenin ortalaması belirtilmiştir.



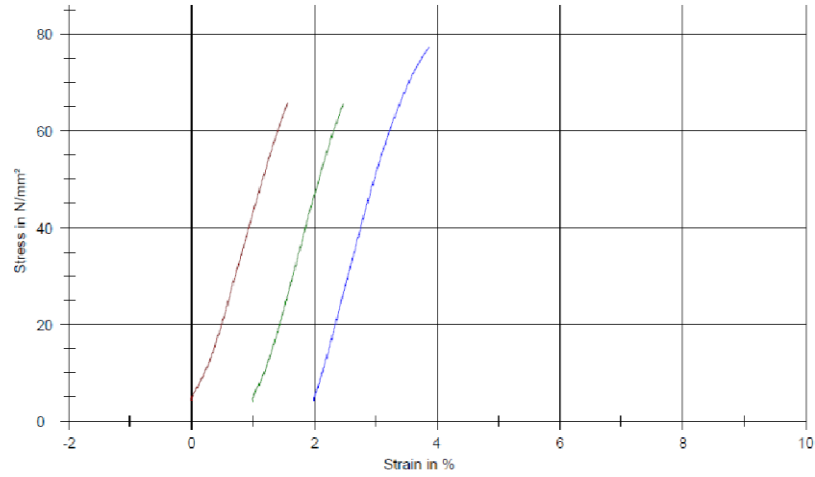
Şekil 7.8: PA6-%10 sodyum pentaborat çekme testi.

PA6-%10 malzeme 75,39 MPa'da akma meydana gelirken, %3,17'lik akma uzaması gösterdi. Malzemede 68,88 MPa'da kopma gözlemlendi. Tablo 7.2'de yukarıdaki Şekil 7.8'de çekme testi uygulanan 5 adet numunenin ortalaması belirtilmiştir



Şekil 7.9: PA6-%20 sodyum pentaborat çekme testi.

- PA6-%20 malzeme 81,9 MPa'da akma meydana gelirken, %3,18'lik akma uzaması gösterdi. Malzemede 81,58 MPa'da kopma gözlemlendi. Tablo 7.2'de yukarıdaki Şekil 7.9'da çekme testi uygulanan 3 adet numunenin ortalaması belirtilmiştir.

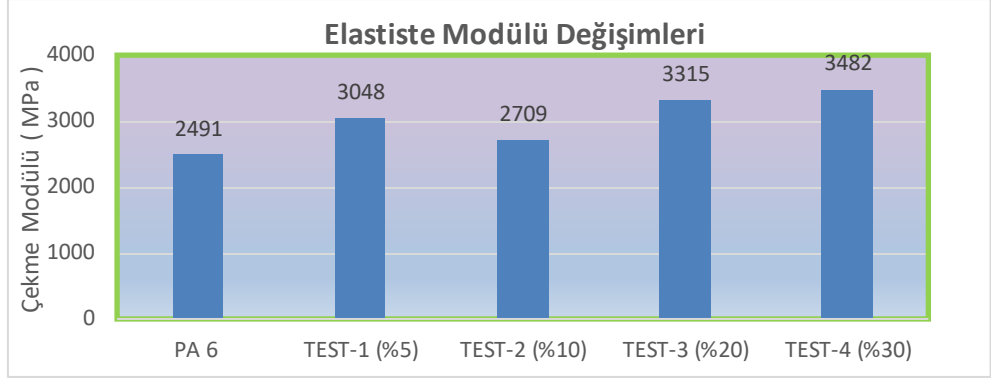


Şekil 7.10: PA6-%30 sodyum pentaborat çekme testi.

- PA6-%30 malzeme 69,48 MPa'da akma meydana gelirken, %1,77'lik akma uzaması gösterdi. Malzemede 69,48 MPa'da kopma gözlemlendi. Tablo 7.2'de yukarıdaki Şekil 7.10'da çekme testi uygulanan 3 adet numunenin ortalaması belirtilmiştir.

Elastite Modülü Değişimi ;

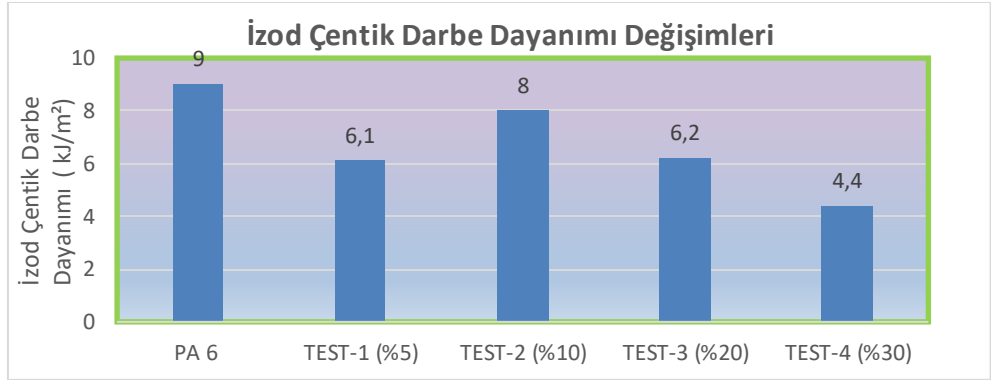
Daha önce de açıklandığı gibi Elastite Modülü malzelerdeki mukavemet ölçüsüdür. PA6 saf malzemeye belli oranlarda eklenen sodyum pentaborat ile malzemenin çekme modülünde artış gözlemlendi. Şekil 7.11'de görüleceği gibi PA6 katkısız elastite modülü 2491 MPa iken %30 sodyum pentaborat katkılı malzemede 3482 MPa değerine ulaştığı gözlemlenmiştir.



Şekil 7.11: Elastite modülü değişim grafiği.

İzod Çentik Darbe Dayanımı Değişimi ;

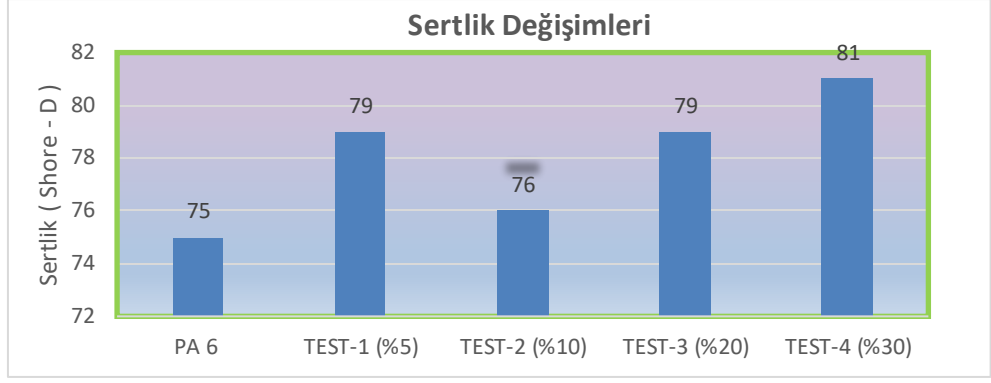
Eklenen sodyum pentaborat ile beraber malzemede sertlik artmasıyla beraber çentik darbe dayanımında düşüş gösterdi. Şekil 7.12’de görüldüğü gibi PA6 katkısız malzemede izod çentik darbe dayanımı 9 kJ/m² iken PA6-%30 sodyum pentaborat katkılı malzemede 4,4 kJ/m² değerine kadar düşüş gösterdi.



Şekil 7.12: İzod çentik darbe dayanımı değişim grafiği.

Sertlik Değişimi;

Şekil 7.13’de açıkça görüleceği üzere PA6 malzeme saf halde 75 shore sertlik gösterdi fakat eklenen sodyum pentaborat ile beraber bu sertlik artmaya başladı. Hatta vidalı extruder makinesi üretim sırasında %30 sodyum pentaborat oranından fazla miktarda zorlanmaya başladı ve makine arıza moduna geçti. PA6-%30 sodyum pentaborat katkısında sertlik 81 shore değerine kadar ulaştı.



Şekil 7.13: Sertlik değişim grafiği.

Sürtünme Katsayısı Değişimi;

Polimer malzemelerde genellikle malzemenin yapacağı işe göre düşük sürtünme katsayılı malzemeler seçmek isteriz. Bu özellik malzemeye kayganlık ve kolay hareket kabiliyeti verir. Sanayide birçok alanda sürtünme katsayısı düşük olan malzemelerin yataklama burcu olarak rulman yerine kullanıldığı bilinir.

Yapılan çalışmada katkısız PA6 malzemeye eklenen sodyum pentaborat oranına göre sürtünme katsayısının düştüğü gözlemlendi (Tablo 7.3).

Aşınma test cihazında yapılan denemeler sonucunda ortaya çıkan numune görselleri EK E'de belirtilmiştir

Konveyör Makaraları Uygulaması ;

Bu çalışma Eker Süt Ürünleri A.Ş. fabrikasında yoğurt üretimi yapan konveyör makaralarında uygulandı. Yaklaşık 6 ay boyunca PA6 malzemeye alternatif olarak uygulanan bu sodyum pentaborat katkılı makaralar sağlıklı sonuç verdi. PA6 malzemede kısa tozlar ve çizikler sodyum petaborat katkılı makaralarda gözlenmedi.

Hat duruşları işçilik, üretim ve zaman kaybı anlamına gelir. Ayrıca arıza sonrası hat devreye alma sırasında başlangıç kayıpları üretimde ciddi duruşlara sebep

olur. PA6 malzemeler yaklaşık 1 yıllık (12 ay) sürede üzerindeki aşınma ve çiziklerden dolayı değişmek zorunda kalırken, sodyum pentaborat katkı polimer makaralar yaklaşık 2 ile 3 yıl (24-36 ay) arasında kullanılabilir. Birim fiyat bazında % 26 oranında PA6 malzemeye göre daha pahalı olan (Tablo 7.1) sodyum pentaborat ilavesiyle konveyörlerde makara ömrü 2-3 katına çıkabilir.

Fakat zaman zaman yıkanan konveyörlerle birlikte nem almaya müsait durumda olan bu malzemeler içerisine nem aldı ve hassas terazideki ağırlık karşılaştırmaları doğru sonuçlar vermedi.

Tablo 7.1: Konveyör makarası olarak kullanılan bazı polimerlerin ortalama fiyat tablosu [23].

FİYATLAR	TL/kg
Sodyum pentaborat	7,83
PA6	6,35
PE	2,4
PTFE	5,5
POM	5,4

SEM Görüntüleri ile Aşınma Yüzeyleri Değişimleri;

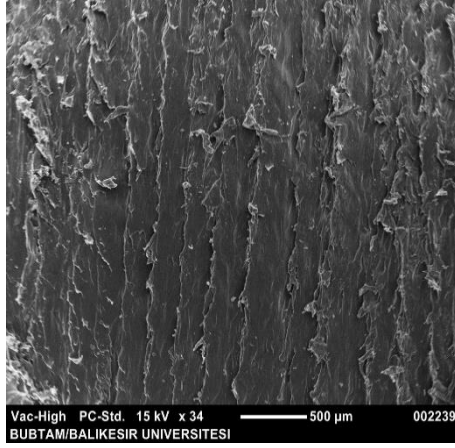
Abrasiv aşınmaya maruz kalan test numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde PA6 saf malzemenin aşınma çizgilerinin çok doğrusal olduğu görülüyor. Bu da malzemenin katkısız olduğundan iç yapısının ve bağlarının homojen ve düzgün olduğunun göstergesidir. Şekil 7.14'de yine aynı homojen yapıyı PA6-%5 sodyum pentaborat numune SEM görüntülerinde de azda olsa görmekteyiz.

PA6-%10, PA6-%20, PA6-%30 SEM görüntülerinde homojen yapının ve aşınma çizgilerinin PA6 ve PA6-%5 sodyum pentaborata göre daha düzensiz olduğu

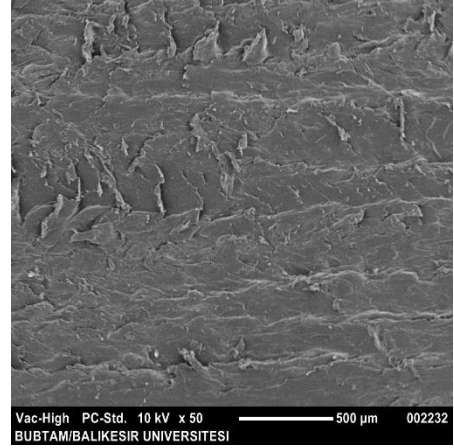
görüntülerden net olarak görülebilmektedir. Ayrıca katkı oranı arttıkça malzemelerde aşınma parçaların azaldığı görülüyor.

PA6-%10 sodyum pentaborat katkılı malzemede aşınma yüzeylerinde parçacık halinde kopmalar görünürken, PA6-%20 sodyum pentaborat katkılı malzemede ve PA6-%30 sodyum pentaborat katkılı malzemede bu kopmaların azaldığı görülüyor.

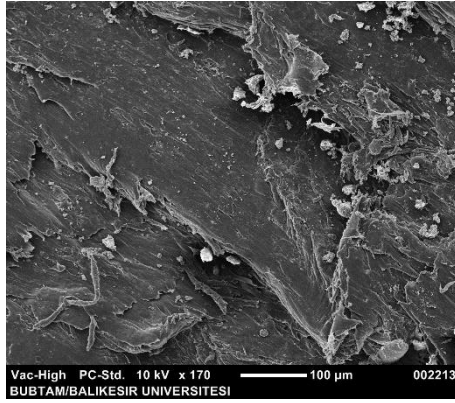
Alınan görüntüler sonucunda Şekil 7.14'de PA6-%10 sodyum pentaborat katkılı malzemede aşınma parçacıklarının kopması PA6 saf malzeme ve PA6-%5 sodyum pentaborat katkılı malzemeye göre daha fazla olduğu gözlemlendi. Bu da aşınmanın sadece eklenen katkı oranı ile değil aynı zamanda malzemenin moleküler bağlarının düzenli olmasından kaynaklandığını gösteriyor. Bu durumdan sodyum pentaborat katkı oranının artması ve moleküler bağların düzenli olması aşınma miktarında azaltıcı yönde rol oynadığı görülüyor.



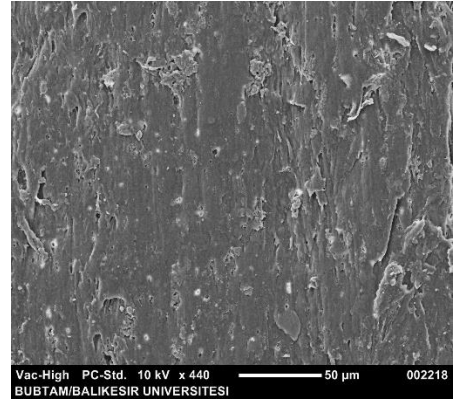
PA6-katksız SEM.



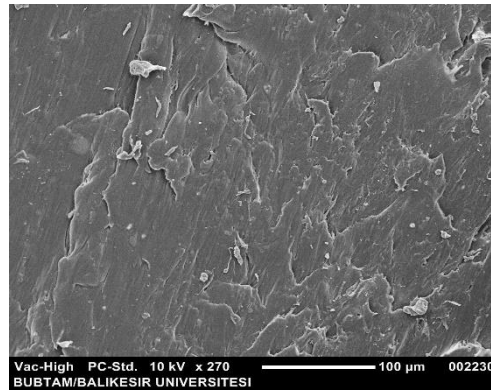
PA6-%5 PA6 SEM.



PA6-%10 PA6 SEM.



PA6-%20 PA6 SEM.



PA6-%30 PA6 SEM.

Şekil 7.14: SEM mikroskop görüntüleri.

Tablo 7.2: Sodyum Pentaborat katkılı PA6 Polimer Kompozitlerinin Mekanik Özellikleri.

DENEME NO	BİRİM	İSO	PA6	PA6-%5	PA6-%10	PA6-%20	PA6-%30
Yoğunluk	g/cm ³	ISO 1183	1,13	1,14	1,14	1,18	1,24
Katkı Oranı (30dk / 800°C)	%	ISO 3451/1	0	4,29	6,55	12,93	22,77
Akma Mukavemeti	MPa	ISO 527-1,2	71,14	73,49	75,39	81,9	69,48
Akma Uzaması	%	ISO 527-1,2	3,82	3,34	3,17	3,18	1,77
Kopma Mukavemeti	MPa	ISO 527-1,2	39,81	64,81	68,88	81,58	69,48
Kopma Uzaması	%	ISO 527-1,2	35,5	6,17	5,75	3,35	1,77
Elastisite Modülü	MPa	ISO 527-1,2	2491	3048	2709	3315	3482
Izod Çentikli Darbe Dayanımı	kJ/m ²	ISO 180/1A	9	6,1	8	6,2	4,4
Sertlik	Shore-D	ISO 868	75	79	76	79	81

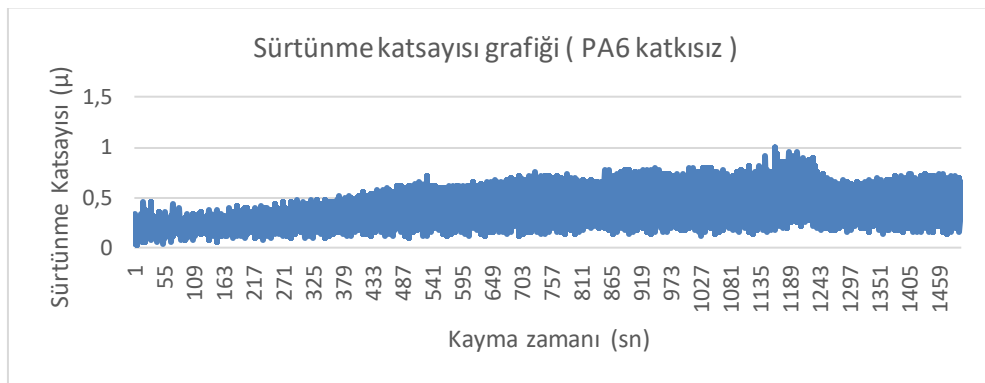
Tablo 7.2’de Sodyum pentaborat katkı PA6 polimer kompozitlerinin mekanik özellikleri görülmektedir.

Tablo 7.3: Aşınma testi sonuçları.

Denemeler	PA6	PA6- %5	PA6- %10	PA6- %20	PA6- %30
Sürtünme Katsayısı (μ)	0,41	0,48	0,33	0,26	0,35

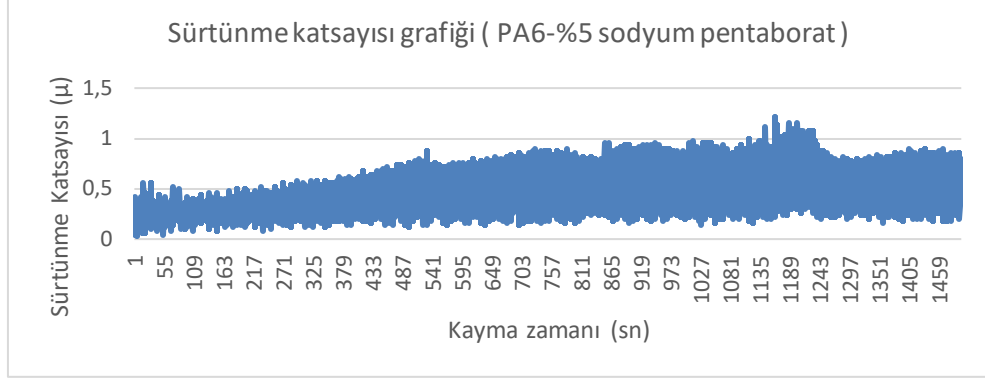
Tablo 7.3’de ortaya çıkan değerler 50N yük altında, 1500 metre kayma yolunda, 0,5m/s dönme hızında yapıldı.

Sürtünme katsayısı eklenen sodyum pentaborat ile aşağıdaki grafiklerden anlaşılacağı gibi düşüş gösterdi. Katkısız PA6 malzemede sürtünme katsayısı 0,41 iken sodyum pentaborat eklendikçe bu katsayıda düşme meydana geldi. Sürtünme katsayısı PA6-%20 malzemede 0,26’ya kadar düşüş gösterdi. Malzeme iç yapısındaki boşluklardan kaynaklanan problemlerden dolayı bazı katsayılar hesaplanırken değerlerde farklılıklar meydana geldi.



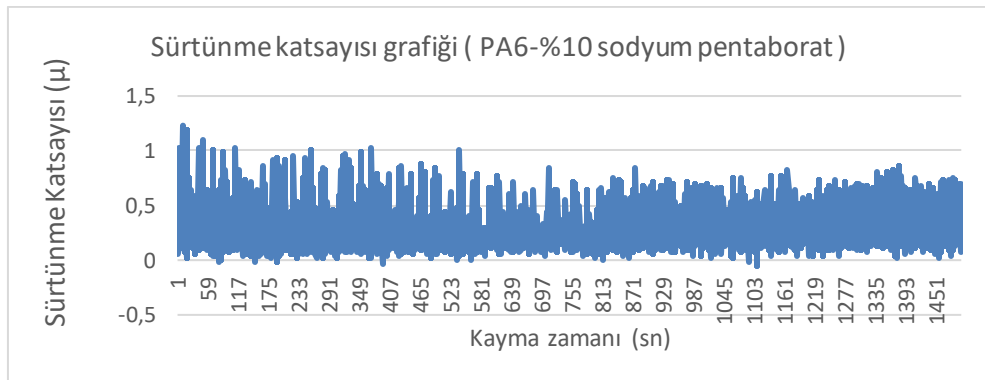
Şekil 7.15: Sürtünme katsayısı grafiği (PA6 katkısız).

Şekil 7.15 PA6 katkısız sürtünme katsayısı grafiği 50N yük altında, 1500 metre kayma yolunda, 0,5m/s dönme hızında ortaya çıkan bir grafiğdir. Deneyin sonucunda ortaya çıkan ortalama sürtünme katsayısı 0,41 olarak kayıt edildi.



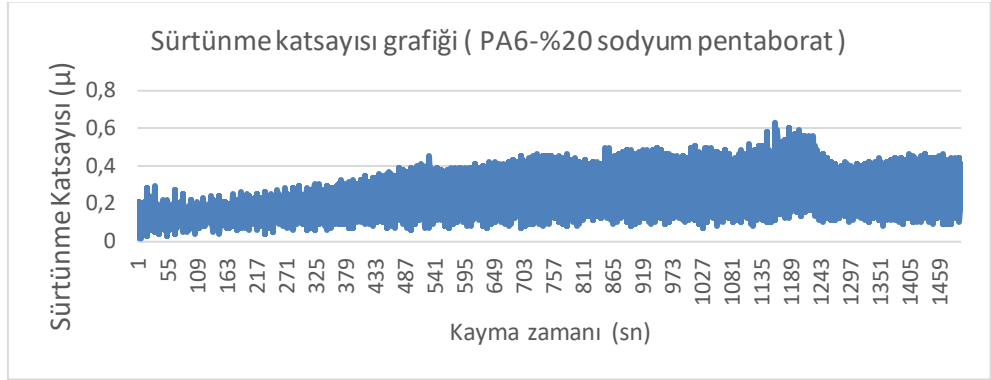
Şekil 7.16: Sürtünme katsayısı grafiği (PA6-%5 sodyum pentaborat).

Şekil 7.16 PA6-%5 sodyum pentaborat katkılı sürtünme katsayısı grafiği 50N yük altında, 1500 metre kayma yolunda, 0,5m/s dönme hızında ortaya çıkan bir grafiğdir. Deneyin sonucunda ortaya çıkan ortalama sürtünme katsayısı 0,48 olarak kayıt edildi.



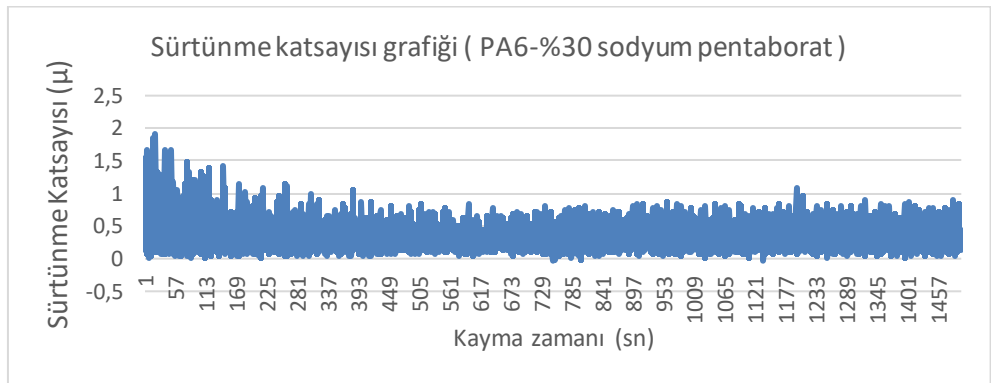
Şekil 7.17: Sürtünme katsayısı grafiği (PA6-%10 sodyum pentaborat).

Şekil 7.17 PA6-%10 sodyum pentaborat katkılı sürtünme katsayısı grafiği 50N yük altında, 1500 metre kayma yolunda, 0,5m/s dönme hızında ortaya çıkan bir grafiğdir. Deneyin sonucunda ortaya çıkan ortalama sürtünme katsayısı 0,33 olarak kayıt edildi.



Şekil 7.18: Sürtünme katsayısı grafiği (PA6-%20 sodyum pentaborat).

Şekil 7.18 PA6-%20 sodyum pentaborat katkılı sürtünme katsayısı grafiği 50N yük altında, 1500 metre kayma yolunda, 0,5m/s dönme hızında ortaya çıkan bir grafikdir. Deneyin sonucunda ortaya çıkan ortalama sürtünme katsayısı 0,26 olarak kayıt edildi.



Şekil 7.19: Sürtünme katsayısı grafiği (PA6-%30 sodyum pentaborat).

Şekil 7.19 PA6-%30 sodyum pentaborat katkılı sürtünme katsayısı grafiği 50N yük altında, 1500 metre kayma yolunda, 0,5m/s dönme hızında ortaya çıkan bir grafikdir. Deneyin sonucunda ortaya çıkan ortalama sürtünme katsayısı 0,35 olarak kayıt edildi.

8.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzde gittikçe önem kazanan bor minerali önümüzdeki yıllarda dünyada belkide en önemli kaynak haline gelecek. Dünyada fosil yakıtlarının 100 yıllık ömrü kaldığı düşünülerek çok büyük bir bor rezervine sahip olduğu bu topraklarda bor elementine gösterilen hassasiyetin artan bir ivme göstermesi gerekiyor.

Bu çalışmada bor ürünü olan sodyum pentaboratın PA6 polimeri içerisine farklı oranlarda katılarak ortaya çıkan malzemenin mekanik özellikleri incelendi ve PA6 konveyör makaralarına alternative olarak yeni yapılan sodyum pentaborat katkılı makaralar konveyör baklarında meydana gelen uzamaların dengelenmesi amacıyla işletme içinde kullanıldı.

Ortaya çıkarılan malzemenin yoğunluk, akma mukavemeti, akma uzaması, kopma mukavemeti, kopma uzaması, çekme modülü, çentik darbe dayanımı, sertlik, aşınma gibi özellikleri incelendi. Ayrıca SEM görüntüleri ile aşınma yüzeyleri hakkında bilgiler verildi.

1-) Çalışmada ortaya çıkan sonuçlara bakılacak olursa saf PA6 malzemeye farklı oranlarda eklenen sodyum pentaborat malzemeye daha sert bir yapı kazandırdı. %30 sodyum pentaborat katkısından sonra vidalı extruder makinesi aşırı zorlanma hatası vererek daha fazla katkı oranına izin vermedi. Katkı oranı arttıkça sertlik artışı Tablo 7.2'den görmekle beraber sertliğin artmasıyla çentik darbe dayanımının düştüğünü ve elastite modülündeki artışı yine aynı tablodan görmek mümkün.

2-) Eklenen sodyum pentaborat oranına göre malzemenin yoğunluğu %1 ile %6 arasında artış gösterdi.

3-) PA6 saf malzemeye sodyum pentaborat eklendikçe akma ve kopma mukavemeti de artış gösterdi. Katkısız PA6 malzemesinin akma mukavemeti 71,14 MPa iken % 20 katkılı malzemedeki akma mukavemeti 81,9 MPa 'a yükseldi (% 14 'lük artış gözlemlendi). Fakat PA6-%30 sodyum pentaborat ürününe baktığımızda PA6-

%20 sodyum pentaborata göre düşüş olduğunu görmekteyiz. Bu da PA6 malzemenin içerisine alabileceği maksimum sodyum pentaboratın %20 - %25 arasında olduğunu bizlere gösteriyor.

4-) Aşınma testlerine bakıldığında katkısız PA6 malzemeye farklı oranlarda eklenen sodyum pentaboratın malzemenin sürtünme katsayısını düşürdüğünü Tablo 7.3'den açıkça görmekteyiz. PA6 katkısız malzemenin sürtünme katsayısı (μ) 0,41 iken PA6-%20 sodyum pentaborat katkılı malzemede bu katsayının 0,26'ya kadar düştüğünü görmekteyiz.

5-) Malzemelerin SEM görüntüleri incelendiğinde aşınma ve yüzey pürüzlülüğü malzemenin sadece katkı oranı değil, iç yapısındaki bağlarında düzeniyle alakalı olduğu görüldü. Katkısız PA6 numunesi doğrusal aşınma çizgilerine sahip iken sodyum pentaborat oranı arttıkça aşınma çizgilerinin düzensizleştiğini görüldü. Aynı zamanda PA6-%10 sodyum pentaborat katkılı malzemede kopmaların PA6-%30 sodyum pentaborat katkılı malzemede kopmalara oranla daha büyük olduğu SEM görüntülerinden anlaşılmaktadır.

6-) Konveyör makara numunesi olarak kullanılan sodyum pentaborat katkılı malzemeler yerine kulanıldıkları PA6 malzemeye göre daha az toz ve talaş kaldırdı.

PA6 makaraların yaklaşık 1 yıl (12 ay) sürede değiştiğini varsayarsak, sodyum pentaborat katkılı malzemeler 2-3 yıl (24-36) ay arasında kullanılabilir. 100 metre ve üzeri hatlarda her 2 metrede bir makara dizisi kullanıldığını ve her dizide 3 makara olduğunu varsayarsak yaklaşık 150 makaranın değişim ömrü artırılabilir. Tesislerdeki hat duruşları iyileştirilir.

Genel anlamda katkısız PA6 malzemeye eklenen sodyum pentaboratın malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirdiği gözlemlendi. Fakat PA6 malzemeye eklenecek en iyi sodyum pentaborat oranının %10-%20 aralığında olması gerektiği yapılan çalışmalar sonucunda ortaya çıkarılmıştır.

9. KAYNAKLAR

- [1] Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü, "Bor Tarihçesi", (15 Şubat 2016), <http://www.boren.gov.tr/tr/bor/bor-tarihcesi>, (2014).
- [2] Eska Yalıtım, "Kısaca Borun Tarihçesi", (16 Mayıs 2016), <http://www.eskayalitim.com/index.php/kisaca-borun-tarihcesi>, (2006).
- [3] YENİALACA, Ç., "Bor Kullanım Alanları", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fizik Eğitim Dalı, Ankara, (2009).
- [4] Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü, "Bor Elementi", (20 Şubat 2016), <http://www.boren.gov.tr/tr/bor/bor-elementi>, (2014).
- [5] Eti Holding A.Ş. Genel Müdürlüğü, "Tekstil Tipi Cam Elyafı Ön Fizibilite Etüdü", (20 Mart 2016), <http://www.kutso.org.tr/wp-content/uploads/2014/11/Fiberglass-%C3%96n-Fizibilite-Et%C3%BCd%C3%BC.pdf>, (2003).
- [6] Celal Bayar Üniversitesi, "Yalıtım Teknolojisi", (25 Şubat 2016), <http://tekintezcan.cbu.edu.tr/files/01CAMYUNU.pdf>, (2009).
- [7] Ankara Camcılar Odası Resmi İnternet Sitesi, "Cam Üretimi", (11 Nisan 2016), <http://www.ankaracamcilarodasi.org.tr/incele.php?id=NDI>, (2008).
- [8] Online Fizik, "Fiber Optik Kablolar", (11 Nisan 2016), <http://www.onlinefizik.com/fiber-optik-kablolar/>, (2016).
- [9] Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, "Seramik", (15 Mart 2016), <http://www.etimaden.gov.tr/d/page/seramik>, (2016).
- [10] Demirtaş, A., "Bor Bileşikleri ve Tarımda Kullanımı", *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg.*,37,111-115,(2006).

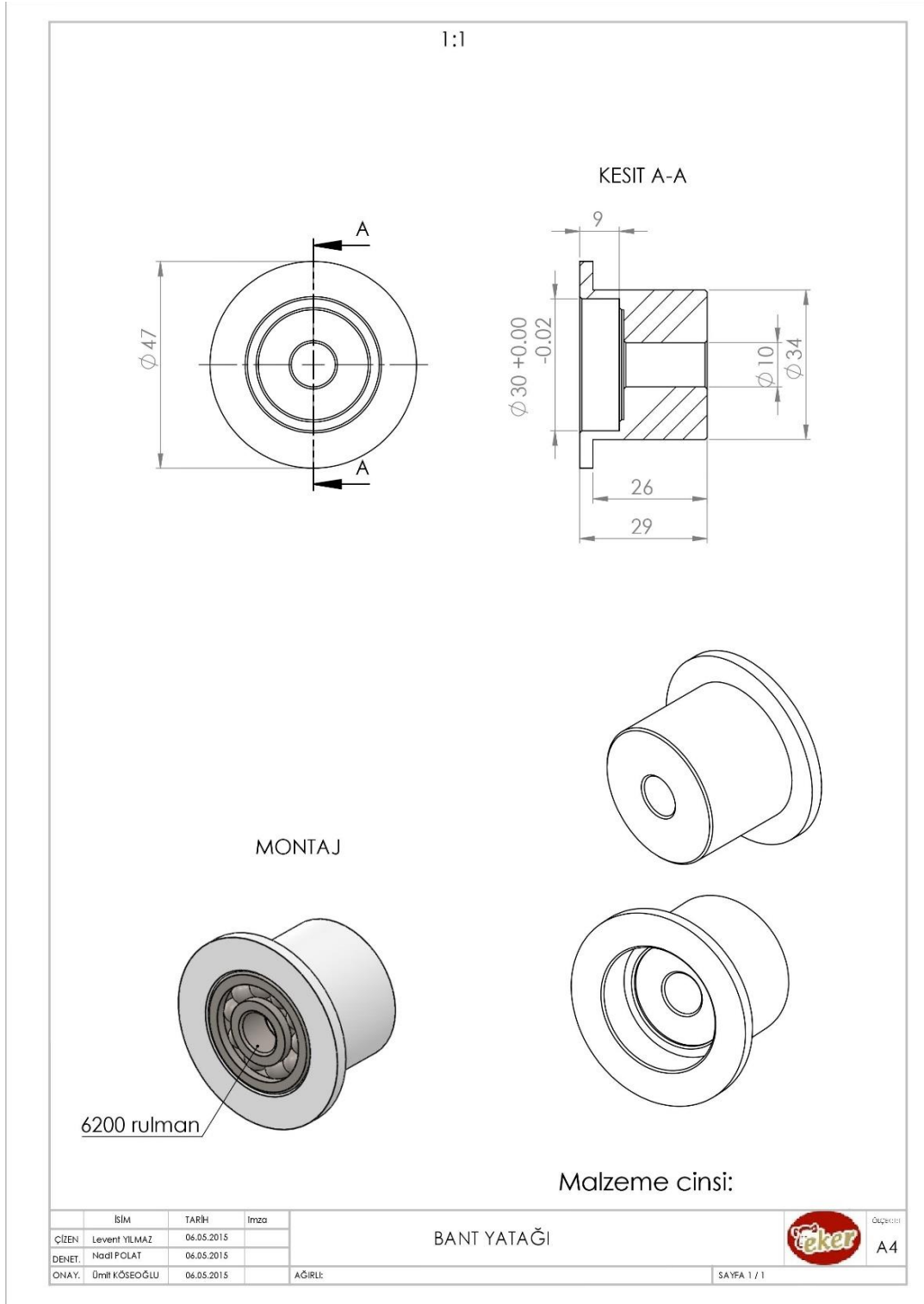
- [11] Tırpan B.M.ve Tekin N., “Effects of boron (Sodium penraborate), added instead of tris coponents, on freezing and post-thaw quality of Angora buck semen”, *Ankara Üniv. Vet. Fak. Derg.*, 62, 295-302, (2015).
- [12] Paint Surface, “Kolemanit Mineralinin Su Bazlı Boyalarda Kullanımı”, (18 Mayıs 2016), <http://www.ippcm.com/Haber/Kolemanit-Mineralinin-Su-Bazli-Boyalarda-Kullanimi.html>, (2016).
- [13] Kocaeli Aydınlar Ocağı, ” Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Bor”, (20 Mart 2016), <http://www.kocaeliaydinlarocagi.org.tr/Yazi.aspx?ID=205>, (2008).
- [14] Mimar ve Mühendisler Grubu, “Yeni Türkiye’nin Yeni Eneri Kaynağı Bor”, (20 Mart 2016), <http://www.mmg.org.tr/yazar/doc-dr--abdulkerim-yorukoglu/231-yeni-turkiye%E2%80%99nin-yeni-enerji-kaynaklari--bor-.html>, (2015).
- [15] Güney Marmara Kalkınma Ajansı, “Balıkesir İli Maden Potansiyeline Bir Bakış”, (28 Mart 2016), <http://docplayer.biz.tr/6954-Maden-potansiyeline-bir-bakis.html>, (2011).
- [16] Sarihan E.. *Bor Sektör Profili*, İstanbul Ticaret Odası, (2006).
- [17] Buluttekin, M.B., “Bor Madeni Ekonomisi: Türkiye’nin Bor Piyasasındaki Yeri”, 2.Ulusal İktisat Kongresi, (2008).
- [18] Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü, “Bor Üretimi”, (20 Şubat 2016), <http://www.boren.gov.tr/tr/bor/bor-uretimi>, (2014).
- [19] E-Portal Plastikçiyiz Biz, “Extruder Çalışma Prensipleri”, (15 Nisan 2014), <http://www.plastikciyiz.biz/index.php?s=haber-detay&hid=3345>, (2015).
- [20] Emaş Plastik San. ve Tic. A.Ş., “Kalite ve Laboratuvar”, (5 Mart 2016), <http://www.emasplastik.com.tr/kalite.html>, (2011).
- [21] İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü, “SEM Görüntüleme Laboratuvarı”, (18 Mart 2016), <http://fen.istanbul.edu.tr/biyoloji/?p=6575>, (2010).

[22] Yıldız, T. ve Gür A.K.,”Aşınma Sistemleri”, (17 Ocak 2016), wep.firat.edu.tr, (2006)

[23] Geri Kazanım Avrasya, “Plastik Hammadde Fiyatları ve Stokları”, (21 Mart 2016), <http://www.gerikazanimavrasya.com>, (2013).

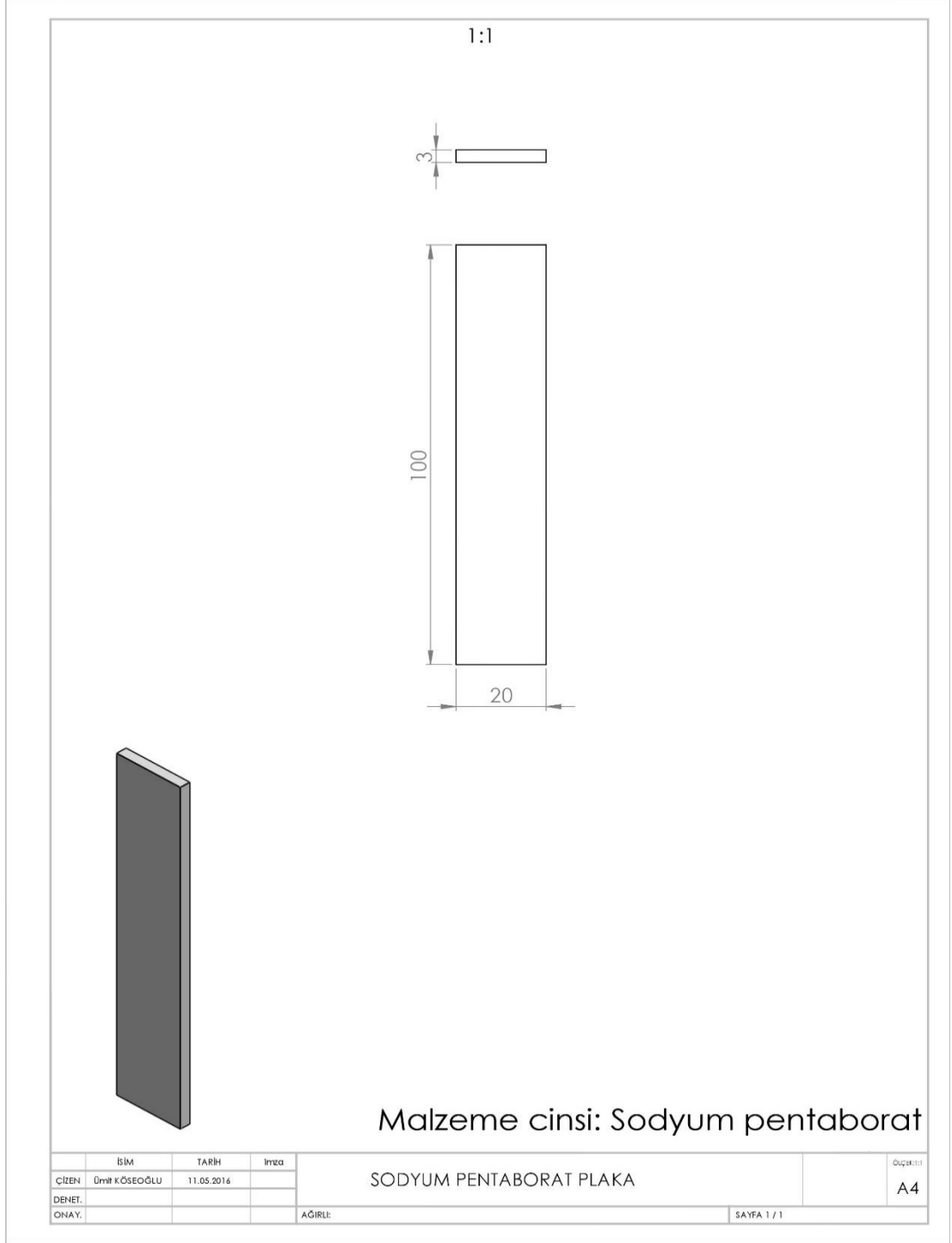
EKLER

EK A: Bant Sürtünme Rulosu Çizimi



Şekil A: Bant sürtünme rulosu çizimi.

EK B: Çekme Testi Numunesi Görseli



Şekil B: Çekme testi numunesi görseli.

EK C: Kullanılmış Numune Görselleri



Şekil C: Kullanılmış numune görselleri.

EK D: Çekme Deneyi Sonucu Görseli



Şekil D: Çekme deneyi sonucu görseli.

EK E: Aşınma Testi Sonrası Pim Görünümü



Şekil E: Aşınma testi sonrası pim görünümü.