



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



POLİAMİD MALZEMENİN MEKANİK YÜZEY GERİLİMİNİ DEĞİŞTİREREK BOYA TUTUCULUĞUNUN ARTIRILMASI

HÜSEYİN ATAKAN AYTAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Polimer Bilimi ve Teknolojisi Ana Bilim Dalı

DANIŞMAN

Prof. Dr. Memet Vezir KAHRAMAN

İSTANBUL, 2021



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



POLİAMİD MALZEMENİN MEKANİK YÜZEY GERİLİMİNİ DEĞİŞTİREREK BOYA TUTUCULUĞUNUN ARTIRILMASI

HÜSEYİN ATAĞAN AYTAŞ

(526618008)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Polimer Bilimi ve Teknolojisi Ana Bilim Dalı

DANIŞMAN

Prof. Dr. Memet Vezir KAHRAMAN

İSTANBUL, 2021

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmalarına olan katkıları, derin bilgisi ve tecrübesiyle yüksek lisans eğitimimde bana her konuda rehberlik eden ve her türlü desteği sağlayan saygıdeğer tez danışmanım Prof. Dr. Memet Vezir KAHRAMAN'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitim dönemimde çalışmalarımı yönlendiren, tavsiyeleriyle bana yol gösteren ve kapısı her zaman açık olan saygıdeğer hocam Prof. Dr. Nilhan KAYAMAN APOHAN'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitim dönemimde tavsiyeleriyle bana yol gösteren ve her türlü imkânı ve desteğini esirgemeyen saygıdeğer hocam Prof. Dr. Seyfullah MADAKBAŞ'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisansıma başlamamda ve tez projemi yürütmemde bana destek olan ve tüm imkanları sağlayan Farplas firmasına , değerli yöneticilerim Aykut BAŞOL'a, İffet İYİGÜN MEYDANLI'ya ve tüm teknik desteklerini benden esirgemeyen Dr. Yavuz Emre YAĞCI ve Sezer ÖZTÜRK'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez projemi yazmamda bana destek olan ve her türlü imkanı sağlayan değerli yöneticim Avient Mühendislik Polimerleri firması Fabrika Müdürü Mustafa BALKAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez projemi yazmamda tecrübelerini benimle paylaşan ve bana destek olan tüm arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemde ve hayatımın her anında bana destek olan ve olmaya devam eden sevgili aileme teşekkür ederim.

EYLÜL 2021

Hüseyin Atakan AYTAŞ

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
SEMBOLLER	xi
KISALTMALAR	xii
ŞEKİL LİSTESİ	xiii
TABLO LİSTESİ	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1. Polimerin Tarihçesi	3
1.2. Polimer Türleri	4
1.2.1. Poliamid	7
2. MATERYAL ve YÖNTEM	15
2.1. Katkılar	15
2.1.1. Kaolin	16
2.2. Katkıların Polimerlere Katılma Yöntemleri	17
2.2.1. Katkıların Polimere Ayrı Bir Üretim Prosesinde Eklenmesi (Compounding)	17
2.3. Ekstrüzyon	19
2.3.1. Ekstrüder	19
2.4. Enjeksiyon ve Enjeksiyon Makineleri	20
2.5. Plastiklerin Boyanabilirliği	25
2.5.1. Yüzey Pürüzlülüğü	27
2.5.2. Yüzey Islatılabilirliği	28
2.5.3. Difüzyon Teorisi	29
2.5.4. Yüzey- Boya Kenetlenmesi	29
2.5.5. Yüzey Gerilimi ve Yüzey Enerjisi	30
2.6. Poliamidlerin Boyama Reaksiyonu	38
2.7. Konu ile İlgili Yapılan Çalışmalar	40
2.8. Kullanılan Kimyasallar	43
2.9. Kullanılan Ekipman ve Makineler	44
2.9.1. Çekme - Eğme Cihazı	44

2.9.2. Izod&Charpy Darbe Testi Cihazı.....	44
2.9.3. DSC Cihazı (Diferansiyel Taramalı Kalorimetre)	45
2.9.4. FTIR Cihazı (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)	46
2.9.5. Nem Ölçüm Cihazı.....	46
2.9.6. Yoğunluk Ölçüm Cihazı.....	46
2.9.7. Renk Ölçüm Cihazı- Spektrofotometre.....	47
2.9.8. Viskozimetre	47
2.9.9. Kül Fırını	48
2.9.10. İklimlendirme Kabini	48
2.9.11. Boya Kalınlık Ölçüm Cihazı	49
2.9.12. Cross cut Adhesion Test Bıçağı	50
2.9.13. Cross cut Adezyon Test Bandı	50
2.9.14. Test Mürekkebi (Test Kalemleri).....	50
2.9.15. Ekstrüder Makinesi	51
2.9.16. Enjeksiyon Makinesi	53
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	55
3.1. MEKANİK ÖZELLİKLER	55
3.1.1. Çekme - Eğme Testi.....	55
3.1.2. İzod & Charpy Darbe Testi	61
3.1.3 Yoğunluk Tayini	75
3.1.4. Viskozite Tayini	76
3.1.5. FTIR (Foruier Transform Infrared) Analizi	77
3.1.4. DSC (Diferential Scannig Calorimetry) Analizi	78
3.1.5. Kül Tayini	81
3.2. Son ürün Mekanik ve Boya Tutuculuğu Ölçümleri.....	82
3.2.1. Yüzey Enerjisi Ölçümü	83
3.2.2. Adhezyon Cross Cut Testi	84
3.2.3. Renk-Parlaklık Ölçümü.....	85
3.2.4. Boya kalınlığı Ölçümü	87
3.2.5. Hızlandırılmış Yaşlandırma (Accelarated Ageing) Testi.....	87
3.2.6. Isıl Dayanım Testi	88

3.2.7. Ağırlıklı Düşürme Darbe Testi.....	89
3.2.8. Su Dayanımı Testi.....	90
3.2.9. İklimlendirme (Klimatik) Testi	90
3.2.10. Düşme Darbe Testi.....	91
4. SONUÇ.....	92
5. KAYNAKLAR.....	95



ÖZET

POLİAMİD MALZEMENİN MEKANİK YÜZEY GERİLİMİNİ DEĞİŞTİREREK BOYA TUTUCULUĞUNUN ARTIRILMASI

Gelişen otomotiv endüstrisinde; kaynakların azalması, üretim maliyetlerin artması ve CO₂ (karbon dioksit) emisyonu gibi çevreye etki eden faktörlerin iyileştirilmesi kapsamında araç hafifletme çalışmaları sıklaşmıştır. Bununla beraber görsel detaylar kullanıcılar tarafından daha çok ilgi görmekte, kullanım koşullarına bağlı olarak iyi bir dayanıklılık da aynı zamanda beklenmektedir. Otomotiv dış trim parçalarının aracın estetik görünümü oldukça etkilemesi markaların bu zorlu rekabet ortamında sürekli tasarım değiştirmelerine neden olmaktadır ve aynı zamanda dış parça olması nedeniyle çevresel etkilere daha çok maruz kalacağından daha dayanıklı olması beklenmektedir. Bu sebeplerden dolayı plastik dış trim parçalarının hafif, dayanıklı ve estetik görünümlü olması için bu beklentileri karşılayacak polimerler kullanılarak bu dış parçalar üretilmektedir. Estetik görünüm sağlanması için genellikle tasarım, boyama ve kaplamalar kullanılmaktadır. Boyama ve kaplamalar aynı zamanda dış etkilere karşı koruma da sağlamaktadır. Plastik parçanın seri üretilebilirliği, hafif olma ve mekanik dayanımının daha iyi olma beklentileri ve özellikle mekanik olarak %100 geri dönüştürebilir olması nedeniyle polimer olarak poliamid (PA) sıkça tercih edilmektedir. Bu bağlamda, bu tez çalışmasında PA 6 ve PA 6.6 malzemelerine farklı oranlarda doğal kil katkı olan kaolin ilave edilmiş oluşan kompozit malzemenin mekanik özelliklerinin iyileşmesi hedeflenmiştir. Compound hammadde içerisine farklı oranlarda Kaolin katılarak ekstrüder makinesinde çekilmiş ve yeni bir compound malzeme üretilmiştir. Bu compound malzemenin enjeksiyonda ISO standartlarına göre test plaka ve çubukları basılarak mekanik özellikleri kontrol edilmiştir. Mekanik testler öncesi, hazırlanan malzemelere yoğunluk testi, DSC ve FTIR testleri yapılarak malzeme oluşumları doğrulanmıştır. Hazırlanmış olan numune test çubukları; Zwick cihazı çekme testi yapılarak elastisite modülleri, çekme , akma mukavemeti , çekme , akma uzamaları , Zwick Roell Izod ve Charpy darbe testleri yapılarak darbe dayanımları kontrol edilerek farklı oranlardaki katkılı malzeme sonuçları kıyaslanmıştır. PA 6 ve PA 6.6 esaslı kompozit malzemelerden mekanik özelliği iyi olan seçilmiş, katkı ilaveli PA 6 hammadde ile enjeksiyon makinesi ve kalıp kullanılarak otomotiv

plastik jant kapağı üretilmiş ve bu ürün üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu jantlara alev ile dağlama (flamaj) uygulayarak yüzey geriliminde yaptığımız değişiklikler ile boya tutuculuğu değişimi kontrol edilmiştir. Ayrıca ürüne tüm boya kontrol testleri; renk-parlaklık ölçümü, adhezyon çapraz kesme testi, ısıl dayanım, hızlı yaşlandırma, su dayanımı, düşme ve ağırlıklı düşme darbe testleri uygulanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Sonuç olarak kaolin oranının artmasıyla PA 6 malzemenin darbe ve çekme mukavemetinin arttığı tespit edilmiştir. Boyama öncesi jant kapağı yüzeyine uygulanan flamaj işlemi ile, katkı ilaveli PA 6 malzeme yüzey enerjisini artırarak boya tutuculuğunun daha iyi olması sağlanmıştır.

Anahtar sözcükler: Otomotiv, poliamid, PA, PA 6, PA 6.6, yüzey gerilimi, yüzey enerjisi, boya tutuculuğu, kaolin, katkı, mekanik özellikler.

ABSTRACT

IMPROVING THE PAINTABILITY HOLDING BY CHANGEING THE MECHANICAL SURFACE TENSION OF THE POLYAMIDE MATERIAL

In the developing automotive industry; Vehicle weight reduction studies have become more frequent within the scope of improving environmental factors such as decreasing resources, increasing production costs and CO₂ (carbon dioxide) emissions. However, visual details attract more attention by users, and a good durability is also expected depending on the conditions of use. The fact that the automotive exterior trim parts affect the aesthetic appearance of the vehicle causes the brands to constantly change their design in this challenging competitive environment, and concurrently, it is expected to be more durable since it will be more exposed to environmental effects due to being an exterior part. For these reasons, these exterior parts are produced by using polymers that will meet these expectations in order to make the plastic exterior trim parts light, durable and aesthetically pleasing. Design, painting and coatings are generally used to provide an aesthetic appearance. Painting and coatings also provide protection against external influences. Polyamide (PA) is frequently preferred as a polymer due to the mass production of the plastic part, the expectations of being light and having better mechanical strength, and especially because it is 100% mechanically recyclable. In this context, in this thesis, it is aimed to improve the mechanical properties of the composite material, which is the natural clay additive kaolin added to PA 6 and PA 6.6 materials at different rates. Kaolin was added to the composite raw material in different proportions and extruded in the extruder machine and a new composite material was produced. The mechanical properties of this composite material were checked by printing test plates and bars according to ISO standards in injection. Before the mechanical tests, the density test, DSC and FTIR tests were performed on the prepared materials and the material formations were confirmed. Prepared sample test rods; By performing the Zwick device tensile test, elasticity modules, tensile, yield strength, tensile, yield elongation, Zwick Roell Izod and Charpy impact tests were performed and the impact strengths were checked and the results of the additives at different rates were compared. Automotive plastic wheel cover was produced from PA 6 and PA 6.6 based composite materials with selected PA 6

raw material with additives, with good mechanical properties, using an injection machine and mold, and studies were carried out on this product. By applying flame etching (flaming) to these wheels, the change in paint adhesion was controlled by the changes we made in the surface tension. In addition, all paint control tests on the product; color-gloss measurement, adhesion cross-cut test, thermal resistance, rapid aging, water resistance, drop and weighted drop impact tests were applied and the results were evaluated. As a result, it was determined that the impact and tensile strength of PA 6 material improved with the increase of kaolin ratio. With the flaming process applied to the wheel cover surface before painting, the compounded PA 6 material increases the surface energy and provides better paint adherence.

Keywords: Automotive, polyamide, PA, PA 6, PA 6.6, surface tension, surface energy, paint adhesion, kaolin, additive, mechanical properties.

SEMBOLLER

Δe	: Renk farkı
Θ	: Tetra açısı
μ	: Mikron
$\bar{x}$	: Aritmetik ortalama
s	: Standart sapma
J	: Joule
σ	: Gerilim
$\mathcal{E}$	: Birim Şekil değıştirme

KISALTMALAR

ABS	: Akrilonitril bütadien stiren
ASA	: Akrilonitril stiren akrilat
DSC	: Differential Scanning Calorimetry
FTIR	: Fourier Transmission Infrared
GPa	: Gigapascal
ISO	: International Organization of Standardization
MFI	: Melt Flow Index
MPa	: Megapascal
PA	: Poliamid
PC	: Polikarbonat
PE	: Polietilen
PMMA	: Poli(metil metakrilat)
PP	: Poliproilen
PVC	: Poli(vinil klorür)
rpm	: 1 dakika içerisinde gerçekleştirilen dönüş / devir sayısı
SBR	: Stiren butadien kopolimeri
TEM	: Transmission electron microscopy
OJM	: Oscillating Jet Method
cst	: Centistokes (viskozite birimi)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Araçta kullanılan polimer esaslı malzemelere örnekler	1
Şekil 1.2 Fiziksel özelliklerine göre polimerlerin sınıflandırılması [8]	5
Şekil 1.3 Plastiklerin zincir yapılarına göre sınıflandırılması	5
Şekil 1.4 Naylon 6.6'nın kondenzasyon reaksiyonu ile oluşumu	8
Şekil 1.5 Yıllara göre kara araçlarının CO ₂ emisyon miktarındaki değişim [24]	13
Şekil 1.6 Boş bir aracın ve yarı dolu aracın emisyon ve tüketim yüzdeleri [24]	13
Şekil 1.7 ABS kimyasal yapısı	15
Şekil 2.1 Kaolinin yapısal gösterimi	17
Şekil 2.2 Tipik bir compounding ünitesinin akış şeması.....	18
Şekil 2.3 Ekstrüder makinesi.....	19
Şekil 2.4 Ekstrüder makinesi ana hatları	20
Şekil 2.5 Ekstrüder ana elemanları: a) Ekstrüder karıştırıcı ve kırıcıları b) Vida c) Kafa ...	20
Şekil 2.6 Malzeme besleme prosesi ve enjeksiyon makinesi ekipmanları.....	21
Şekil 2.7 Enjeksiyon proses adımları	22
Şekil 2.8 Plastik enjeksiyon makinesi ana üniteleri	24
Şekil 2.9 Boyama teknikleri diyagramı [33]	26
Şekil 2.10 Plastik boyama akış şeması örneği.....	27
Şekil 2.11 Alt katman yüzey alanı uzunluğu ve görüntüsü.....	27
Şekil 2.12 Yüzeyi ıslatmayan ve yüzeyi ıslatan damla temas açısı.....	28
Şekil 2.13 Islanabilirlik ve temas açısı ilişkisi	28
Şekil 2.14 Yüzey enerjisi ve temas açısı ilişkisi	29
Şekil 2.15 Polimerik yüzeye yayılan kaplama moleküllerinin görünümü	29
Şekil 2.16 Katmanlar arasında kenetlenme görünümü.....	30
Şekil 2.17 Yüzeyler arası yüzey gerilimi değişimi.....	31
Şekil 2.18 Flamaj ile yüzey aktivasyon işlemi	34
Şekil 2.19 Boyahane hattında alev ile dağlama noktası	35
Şekil 2.20 Korona cihazı ve çalışma şekli.....	36
Şekil 2.21 Korona şarjı.....	36
Şekil 2.22 Plasma sisteminin çalışma yöntemi.....	38

Şekil 2.23 PA fonksiyonel gruplarına pH aralığının etkisi	39
Şekil 2.24 Poliamidin anyonik boyarmaddelerle boyanma mekanizması [42]	39
Şekil 2.25 a) PA ve b) PP bazlı nanokompozitlerin morfoljisi ve TEM görüntüleri. [51]...	43
Şekil 2.26 Çekme/Eğme testi cihazı.....	44
Şekil 2.27 Izod&Charpy darbe testi cihazı & Çentik açma cihazı	45
Şekil 2.28 DSC cihazı	45
Şekil 2.29 FTIR (Foruier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi)	46
Şekil 2.30 Nem ölçüm cihazı	46
Şekil 2.31 Yoğunluk ölçüm cihazı	47
Şekil 2.32 Renk ölçüm cihazı-Spektrofotometre.....	47
Şekil 2.33 Viskozimetre	48
Şekil 2.34 Kül fırını.....	48
Şekil 2.35 İklimlendirme dolabı.....	49
Şekil 2.36 Boya kalınlık ölçer	49
Şekil 2.37 Cross cut adhezyon bıçağı.....	50
Şekil 2.38 Crosscut adhezyon bandı	50
Şekil 2.39 Yüzey enerjisi test kalemleri.....	50
Şekil 2.40 Coperion çift vidalı ekstrüder	51
Şekil 2.41 a) Engel 50 Ton b) Arburg 75 Ton Enjeksiyon Makineleri	53
Şekil 2.42 Numune hazırlama enjeksiyon parametreleri.....	54
Şekil 3.1 1A tipi çekme testi çubuğu (uzunluk: 170mm, et kalınlığı 4mm)	55
Şekil 3.2 Çekme testi 1A tipi test çubukları.....	55
Şekil 3.3 Gerilme - Uzama Eğrisi	57
Şekil 3.4 D1 numunesi çekme gerinim grafiği.....	57
Şekil 3.5 D2 numunesi çekme gerinim grafiği.....	58
Şekil 3.6 D3 numunesi çekme gerinim grafiği.....	59
Şekil 3.7 D4 numunesi çekme gerinim grafiği.....	59
Şekil 3.8 D5 numunesi çekme gerinim grafiği.....	60
Şekil 3.9 D6 numunesi çekme gerinim grafiği.....	61
Şekil 3.10 Çentikli İzod Darbe Test Çubuğu (Boyut: 80x10x4 mm).....	62

Şekil 3.11 İzod Çentikli Darbe Test Çubukları	62
Şekil 3.12 D1 numunesi 5 adet numune için izod darbe kuvveti grafiği	63
Şekil 3.13 D2 numunesi 5 adet numune için izod darbe kuvveti grafiği	64
Şekil 3.14 D3 numunesi 5 adet numune için izod darbe kuvveti grafiği	65
Şekil 3.15 D4 numunesi 5 adet numune için izod darbe kuvveti grafiği	66
Şekil 3.16 D5 numunesi 5 adet numune için izod darbe kuvveti grafiği	67
Şekil 3.17 D6 numunesi 5 adet numune için izod darbe kuvveti grafiği	68
Şekil 3.18 D1 numunesi 5 adet numune için charpy darbe kuvveti grafiği	70
Şekil 3.19 D2 numunesi 5 adet numune için charpy darbe kuvveti grafiği	71
Şekil 3.20 D3 numunesi 5 adet numune için charpy darbe kuvveti grafiği	72
Şekil 3.21 D4 numunesi 5 adet numune için charpy darbe kuvveti grafiği	73
Şekil 3.22 D5 numunesi 5 adet numune için charpy darbe kuvveti grafiği	74
Şekil 3.23 D6 numunesi charpy çentikli darbe testi sonucu.....	75
Şekil 3.24 Gravimetrik, kaldırma kuvveti metodu	76
Şekil 3.25 PA 6 (mavi), PA 6 + %10 Kaolin (sarı) , PA 6 + %20 Kaolin (siyah) malzemelerin FTIR görüntüleri.....	78
Şekil 3.26 PA 6.6 (kırmızı), PA 6.6 + %10 Kaolin (yeşil) , PA 6.6 + %20 Kaolin (yeşil) malzemelerin FTIR görüntüleri	78
Şekil 3.27 DSC analizi sonucunda elde edilen grafik görünümü.....	79
Şekil 3.28 D1 numunesi DSC analiz sonucu.....	79
Şekil 3.29 D2 numunesi DSC analiz sonucu.....	80
Şekil 3.30 D3 numunesi DSC analiz sonucu.....	80
Şekil 3.31 D4 numunesi DSC analiz sonucu.....	80
Şekil 3.32 D5 numunesi DSC analiz sonucu.....	81
Şekil 3.33 D6 numunesi DSC analiz sonucu.....	81
Şekil 3.34 PA 6 % 20 Kaolinli hammadde ile enjeksiyon makinesinde üretilen jant kapağı	83
Şekil 3.35 Uygun ve ret çizim görselleri.....	83
Şekil 3.36 a) Flamaj yapılmamış jant kapağı b) flamaj yapılmış jant kapağı	84

Şekil 3.37 Flamaj uygulanmış jant kapağına yapılan çapraz kesme test görselleri (Seviye M-1.0).....	85
Şekil 3.38 Flamaj yapılmamış jant kapağına yapılan çapraz kesme test görselleri (Seviye M-5.0).....	85
Şekil 3.39 Renk ölçüm cihazının parça üzerinde ölçüm şekli.....	86
Şekil 3.40 a) Müşteri onaylı referans numunesi b) Test edilecek numune	86
Şekil 3.41 Renk ölçüm sonucu spektrofotometre ile yapılan ölçüm sonucu.....	86
Şekil 3.42 Boya kalınlık ölçümü yapılan alanların gösterimi	87
Şekil 3.43 Jant Kapağı yaşlandırma testi öncesi ve sonrası görselleri	88
Şekil 3.44 Yaşlandırma sonrası ürün ve adhezyon, düşürme ve jant montaj kontrolleri ...	88
Şekil 3.45 Yükseklik sıcaklıkta bekletilen jant kapağı ağırlık düşürme darbe testi.....	89
Şekil 3.46 Düşük sıcaklıkta bekletilen jant kapağı ağırlık düşürme darbe testi.....	89
Şekil 3.47 Oda sıcaklığında jant kapağı ağırlık düşürme darbe	90
Şekil 3.48 Su dayanımı sonrası jant kapağı görseli ve adhezyon testi sonucu.....	90
Şekil 3.49 İklimlendirme testi sonrası adhezyon testi sonucu	91
Şekil 3.50 Düşme testi numune düşürme yönleri.....	92
Şekil 3.51 Düşme testi sonrası jant kapağı görselleri.....	92

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Araç üretiminde kullanılan başlıca malzeme tiplerinin yıllara göre değişimi (%) [2]	2
Tablo 1.2 Türkiye otomotiv sektöründe başlıca malzemelerin tüketimi [3].....	2
Tablo 1.3 Bazı polimerlerin oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri [19]	6
Tablo 1.4 Bazı naylon polimerleri	8
Tablo 1.5 Poliamid 6 ve Poliamid 6.6'nın mekanik, elektiriksel ve termal özellikleri [20]	11
Tablo 2.1 Bazı katkı olarak kullanılan maddeler [30]	16
Tablo 2.2 Plastik enjeksiyon yöntemleri.....	24
Tablo 2.3 Bazı plastiklerin yüzey gerilimleri	33
Tablo 2.4 Farklı talklarda su ve diiyodometan (CH_2I_2) ile temas açılarının ölçülmesiyle yüzey enerjisi tayini [51].	42
Tablo 2.5 PA compoundları üretiminde ekstrüder parametreleri	52
Tablo 2.6 PA compoundları üretiminde ekstrüder parametreleri	54
Tablo 3.1 D1 numunesi çekme testi sonucu	57
Tablo 3.2 D2 numunesi çekme testi sonucu	58
Tablo 3.3 D3 numunesi çekme testi sonucu	58
Tablo 3.4 D4 numunesi çekme testi sonucu	59
Tablo 3.5 D5 numunesi çekme testi sonucu	60
Tablo 3.6 D6 numunesi çekme testi sonucu	60
Tablo 3.7 Çekme testi değerleri ortalaması numune karşılaştırma tablosu	61
Tablo 3.8 D1 numunesi izod çentikli darbe testi sonucu	63
Tablo 3.9 D2 numunesi izod çentikli darbe testi sonucu	64
Tablo 3.10 D3 numunesi izod çentikli darbe testi sonucu	65
Tablo 3.11 D4 numunesi izod çentikli darbe testi sonucu	66
Tablo 3.12 D5 numunesi izod çentikli darbe testi sonucu	67
Tablo 3.13 D6 numunesi izod çentikli darbe testi sonucu	68
Tablo 3.14 D1 numunesi charpy çentikli darbe testi sonucu	69
Tablo 3.15 D2 numunesi charpy çentikli darbe testi sonucu	70

Tablo 3.16	D3 numunesi charpy çentikli darbe testi sonucu	71
Tablo 3.17	D4 numunesi charpy çentikli darbe testi sonucu	72
Tablo 3.18	D5 numunesi charpy çentikli darbe testi sonucu	73
Tablo 3.19	D6 numunesi charpy çentikli darbe testi sonucu	74
Tablo 3.20	Numunelere ait yoğunluk tayini sonuçları.....	76
Tablo 3.21	Numune K değerleri ve viskozite numarası sonuçları.....	77
Tablo 3.22	Numune test sonuçları	82
Tablo 3.23	Numune yüzey gerilimi sonuçları	84
Tablo 3.24	Jant kapağı kalınlık ölçüm sonuçları	87
Tablo 3.25	İklimlendirme kabini faz parametreleri	90
Tablo 3.26	İklimlendirme sonrası yapılan test sonuçları	91

1. GİRİŞ

Günümüzde uzay-havacılık, savunma, otomotiv ve beyaz eşya sanayisi gibi sektörlerde polimer kullanımı oldukça artmıştır. Bunun nedeni Dünya’da bulunan kaynakların azalması, küresel ısınmaya neden olan kaynak kullanımı ve ürün elde edilmesi, rekabet ve son kullanıcı beklentilerinin karşılanmasıdır. Özellikle otomotiv sektöründe aracın estetik görünümü ile beraber motor gücü, az yakıt tüketmesi, güvenilir ve dayanıklı olması öncelikli beklentilerimizdir. Araçlarda kullanılan metal saclar ne kadar sağlamlık katsa da aracı ağırlaştırmakta bu nedenle motor performansını etkilemekte ve yakıt tüketimini artırmaktadır. Ayrıca metalin şekillendirilmesi daha çok enerji sarfıyatı ve maliyet gerektirmektedir. Bu sebeplerden dolayı otomotiv sektöründe daha hızlı çevrim süreleriyle polimer hammaddeden üretilmiş araç iç ve dış trim parçalarına geçiş yapılmaktadır [1]. Bu parçalar, öncelikli olarak estetik görünümünden çok otomotiv standartlarının belirlediği emniyet karakteristiklerini karşılamak durumundadır. Eğer bunu sağlıyorsa metal sac yerine polimer malzeme kullanılabilir. Değerlendirilmesi gereken diğer durum ise üretilebilirliktir. Polimer malzemenin seri üretimi metale göre daha hızlıdır ve daha az maliyetlidir. Hammadde maliyeti, kullanılan makinenin çalışma süresi dolayısıyla enerji sarfıyatı ve bu malzemenin üretiminde çalışan insan sayısının daha az olması nedeniyle otomotiv iç ve dış trim parçalarının üretiminde yoğun olarak polimer malzeme kullanılmaktadır. Ağırlıklı olarak kullanılan polimerler şunlardır: polipropilen (PP) poliamid (PA) polikarbonat (PC) akrilonitril bütadien stiren (ABS)



Şekil 1.1 Araçta kullanılan polimer esaslı malzemelere örnekler

Tablo 1.1 Araç üretiminde kullanılan başlıca malzeme tiplerinin yıllara göre değişimi (%)
[2]

Malzeme	2010	2016	Fark (%)
Çelik	54,2	53,1	-1
Çelik dışındaki Metaller	18	16,9	-1,1
Plastikler	9,9	12,2	2,3
Kauçuk	5,4	6,9	1,5
Plastik ve Kauçuk	15,3	19,1	3,8

Tablo 1.2 Türkiye otomotiv sektöründe başlıca malzemelerin tüketimi [3]

Malzeme Tipi	2010	2016	% Artış
Düz Çelik	1060	1221	1
Yüksek ve Orta Güçte Çelik	373	515	17
Paslanmaz Çelik	50	62	6
Diğer Çelikler	21	22	-9
Toplam Çelik	1504	1819	5
Demir Döküm	145	105	-31
Aluminyum	234	315	15
Magnezyum	8	10	6
Bakır ve Prinç	45	48	-5
Kurşun	33	57	40
Çinko Döküm	6	7	6
Toz Metal	28	34	6
Diğer Metaller	3	3	6
Çelik Dışındaki Metaller	500	580	2

Toplam Metaller	2004	2399	4
Plastikler	275	419	27
Kauçuk	150	236	31
Kaplama	23	34	25
Tekstil	35	46	12
Akışkan ve Yağlar	144	178	6
Cam	67	75	-1
Diğer	62	81	13
Toplam	2760	3468	8

1.1. Polimerin Tarihçesi

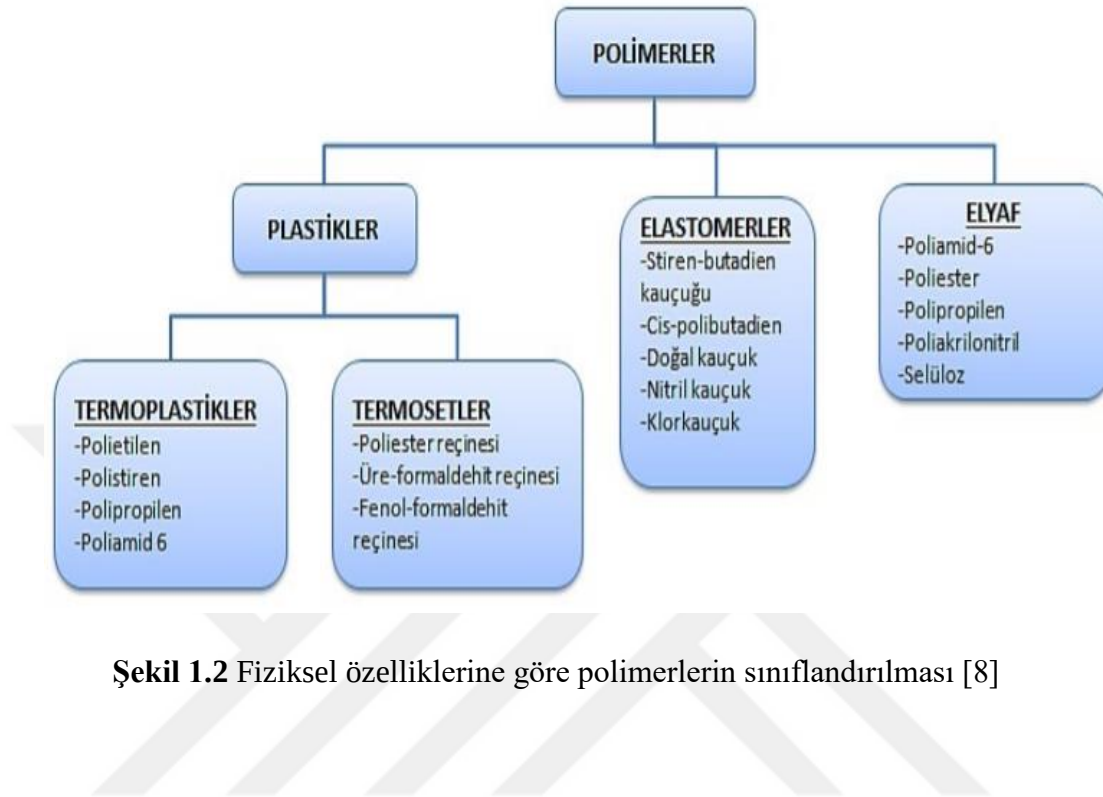
Polimerler varoluştan bu yana normal bir şekilde oluşmuş DNA, RNA ve proteinler gibi tüm canlılar için önemli bir rol oynamaktadır. Bu doğal yollarla oluşan polimerlerleri ilk çağlardan beri insanlık alet, kıyafet, yaşam yeri, yazı ve birçok ihtiyacı için kullanmıştır. Yine de yaygın olarak günümüz polimer endüstrisinin kökenleri, belirli doğal polimerlerin modifikasyonu sonrası önemli buluşların yapıldığı 18. y.y. olarak kabul görmektedir [4]. 1770 doğal kauçuk işaretleri sildiği keşfedilerek silgi (rubber) olarak kullanılmaya başlanmıştır. 1820 yılında Thomas Hancock, kauçuğun yinelenen kesme kuvvetine maruz kaldığında akışkan hale geldiğini ve kolay şekillendirelebildiğini ve başka malzemelerle karışabildiği keşfetmiştir. Charles Goodyear Amerika’da 1839 yılında doğal kauçuğun kükürtle vulkanizasyonu sonucunda kauçuğu yapışkanlığı giderilmiş ve daha kullanışlı işlenebilir hale getirilmiştir. Bu geliştirilen doğal kauçuktan günümüzde kullanılan bir çok ürüne öncülük etmiş. Yağmurluk, su geçirmez çizmeler, ve lastik gibi kullanılan ürünler elde edilmiştir. Plastiklerden yapılan ilk madde olan selüloid 1868 yılında ilk kez üretilmiştir. Doğal polimerlerden pamuk selülozu, kamfor ($C_{10}H_{16}O$) ve nitrik asit (HNO_3) ile etkileşimi sağlanarak yarı sentetik selüloid oluşturulmuştur. O yıllarda bilardo topu ve fotoğraf filmi gibi malzemeler selüloid ile üretilmiştir. 1907’de Ameri Leo ve Hendrick Baekeland tarafından tamamı sentetik olan ilk polimer fenol–formaldehit reçineleri üretilmiştir. Bakalit olarak da adlandırılan bu tam sentetik polimerden telefon ahizesi gibi plastik malzemeden

Üretilen eşyalar yapılmıştır. Hermann Staudinger 1924 yılında ileri sürdüğü “Makromolekül Hipotezinde” polimer teknolojisinde önemli bir ilerleme sağlayacak, kk moleküllerin kimyasal reaksiyonları sonucu polimerin zincir yapısında uzun moleküller oluşturduğunu göstermiş ve Staudinger 1953’te Nobel Kimya dl’ne layık görülmüştür. 1930 yıllarında polimer teknolojisinin önemli ürünleri olan polistren ile SBR kopolimeri ve sentetik kauçuktan elde edilen Neopren retilmiştir. DuPont firması naylonun türevi olan ilk sentetik fiber naylon 6.6’yı (poliamid 6.6) 1935 yılında üretilmiş, perlon olarak da bilinen Nylon 6’nın ise (poliamid 6) 1939 yılında üretimi yapılmıştır [5].

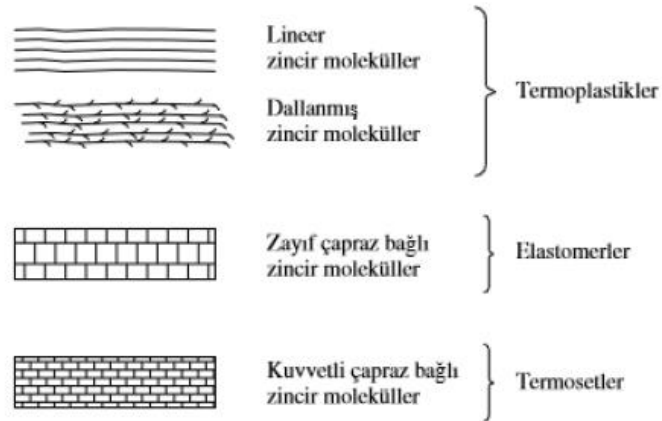
Poliüretan (PU) 1937 yılında, 1938’de teflon olarak da bilinen politetrafloroetilen, 1939’da melamin reğinesi melamin formaldehit, silikonların ana malzemesi olan silanlar 1940’ta, polietilen (PE) 1941’de, üretimleri ilk kez yapılmıştır. II. Dünya Savaşı sonrası yeni polimerlerin üretimi artmış, 1947’de reğine epoksi, Akrilonitril Butadien Stiren polimeri (ABS) 1948’de sentezlenmiştir. Ziegler ve Natta’nın 1953’te sentezlediği polipropilen (PE), araştırmacılara Nobel Kimya dl’n kazandırmıştır [6].

1.2. Polimer Türleri

Polimerler sentezleme şekline göre, kimyasal yapılarına göre, bileşiklerinin kaynağına göre, yapılarına göre, zincir şekline göre sınıflandırılırlar. Günlük hayatımızda birçok yerde kullandığımız polimerler ise genel olarak bileşiklerinin kaynağına göre sınıflandırılmış sentetik polimerlerdir. Sentetik polimerler ise kendi içinde termoplastikler, termosetler, elastomerler ve elyaflar olarak ayrılmaktadır [7].



Şekil 1.2 Fiziksel özelliklerine göre polimerlerin sınıflandırılması [8]



Şekil 1.3 Plastiklerin zincir yapılarına göre sınıflandırılması

Tablo 1.3 Bazı polimerlerin oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri [19]

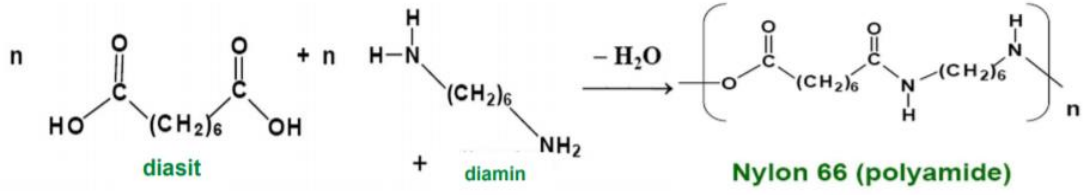
Malzeme	Özgöl Yoğunluk	Çekme Modülü [GPa]	Çekme Dayanımı [MPa]	Akma Dayanımı [MPa]	Kopma Anındaki Uzama (%)
Polietilen (Düşük yoğunluk)	0,917-0,932	0,17-0,28	8,3-31,4	9,0-14,5	100-650
Polietilen (Yüksek yoğunluk)	0,952-0,965	1,06-1,09	22,1-31,0	26,2-33,1	10-1200
Poli (vinil Klorür)	1,30-1,58	2,4-4,1	40,7-51,7	40,7-44,8	40-80
Polietrafloretillen	2,14-2,20	0,40-0,55	20,7-34,5	13,8-15,2	200-400
Polipropilen	0,90-0,91	1,14-1,55	31-41,4	31,0-37,2	100-600
Polistiren	1,04-1,05	2,28-3,28	35,9-51,7	25,0-69,0	1,2-2,5
Poli (metil metakrilat)	1,17-1,20	2,24-3,24	48,3-72,4	53,8-73,1	2,0-5,5
Fenol - formaldehit	1,24-1,32	2,76-4,83	34,5-62,1	-	1,5-2,0
Naylon 6,6	1,13-1,15	1,58-3,80	75,9-94,5	44,8-82,8	15-300
Polyester (PET)	1,29-1,40	2,8-4,1	48,3-72,4	59,3	30-300
Poli karbonat	1,2	2,38	62,8-72,4	62,1	110-150

1.2.1. Poliamid

1930'lu yıllarda Wallace Hume Carothers poliamid 6.6 ve Paul Schlack tarafından poliamid 6 polimerleri ilk kez sentezlenmiş böylece poliamidin endüstriyel çalışmalarına başlanarak, 1940'lı yılların başında Dupont şirketinde üretime başlanmıştır. Endüstriyel sürecin bu yıllarda ilerlemesi ile kolay işlenebilen poliamidler geliştirilmiştir. Bir termoplastik türeviden olan poliamid, poliamid 6, poliamid 6.6 ve poliamid 12 çeşitleri ile de bir çok endüstriyel sektörde kullanılmaktadır. Günümüzde cam lifleri ile daha güçlü ve alev geciktirici katkılarla poliamid bileşenler sıklıkla hammadde olarak kullanılmaktadır. Mühendislik polimeri olan PA ekstrüzyon, döküm ve enjeksiyon kalıplama ile işlenir [9].

1.2.1.1. Poliamid sentez metodu

Poliamid, moleküler zincirleri düzenli aralıklarla -CONH- amid gruplarını içeren bir polimerdir. Diaminlerin bikarboksilik organik asitlerle veya omega-amino asitlerin kondenzasyonu (Su gibi bir küçük molekülün ayrılmasıyla iki molekül birleşir) ile elde edilir. Carothers ve grubu naylonu icat ettiğinden beri, PA'ya geleneksel olarak yapısal birim(ler)deki karbon atomlarının sayısını gösteren bazı rakamlar eşlik etmiştir [10]. PA türevlerine PA 6, PA 4.6, PA 6.6, PA 6.10, PA 6.12, PA 11 ve PA 12 örnek verilebilir. İlk şekil diaminin karbon atomlarını, ikincisi bikarboksilik asidin karbon atomlarını göstermektedir. Carothers tarafından icat edilen ve PA 6.6 veya poli(heksametilneadipamid) olarak bilinen PA, bu nedenle, altmış altı değil, altı-altı olarak okunur; bu, her biri altı karbon atomlu iki yapısal birimden oluştuğu anlamına gelir. yani heksametilen diamin ($H_2N(CH_2)_6NH_2$) ve adipik asit ($HOOC(CH_2)_4COOH$) kalıntıları. PA 6.6'yı tercih etmemizin nedeni, benzersiz mekanik ve fiziksel özelliklerinin yanı sıra diğer poliamid türlerine göre daha ucuz olmasıdır [11].



Şekil 1.4 Nylon 6.6'nın kondenzasyon reaksiyonu ile oluşumu

Tablo 1.4 Bazı nylon polimerleri

Adı	Polimer Adı
Nylon 2	Poliglisin
Nylon NP3	Poli (N-fenil-3-aminopropiyonik asit)
Nylon AP	Poli (amino pivalik asit)
Nylon 2.6	Poli (etilen adipamit)
Nylon 6.1	Poli (heksametilen karbonamit)
Nylon 6.5	Poli (heksametilen glutaramit)
Nylon 6.6	Poli (heksametilen adipamit)
Nylon 10.T	Poli (dekametilen teraftalamit)
Nylon 6.T	Poli (heksametilen teraftalamit)
Nylon 2.T	Poli (etilen teraftalamit)
Nylon Pip.10	Poli (piperazin sebakamit)
Nylon 11	Poli (w-undekanoik asit)
Nylon pX.1	Poli (p-ksilen teraftalamit)
Nylon mX.T	Poli (m-ksilen teraftalamit)
Nylon pX.4	Poli (p-ksilen süksinamit)
Nylon mP.6	Poli (m-fenilen adipamit)
Nylon mP.1	Poli (m-fenilen izoftalamit)
Nylon pP.T	Poli (p-fenilen teraftalamit)

PA 6 ve PA 6.6, çok yönlü mühendislik termoplastiklerindendir. Termoplastik malzemelerin kullanıldığı her büyük pazarda oldukça popülerdir. Mukavemet, süneklik ve ısı direncinin uyumlu dengesi sayesinde PA 6.6, metal malzeme yerine kullanabilecek uygulamaları için oldukça iyi bir adaydır. PA 6.6, geniş bir işleme aralığına sahip olması nedeniyle de işlenmesi kolaydır. Bu sayede, karmaşık, ince duvarlı bileşenlerden, büyük, kalın duvarlı muhafazalara kadar bir çok üründe kullanılmasına olanak sağlar.

PA 6.6, dolgu maddeleri, lifler, dahili yağlayıcılar ve darbe düzenleyiciler ile modifiye edilmesi çok kolaydır. Fiber takviyelerin kullanılmasıyla, PA 6.6'nın fiziksel mukavemeti, baz reçinenin beş katı kadar iyileştirilebilir. PA 6.6'nın sertliği 10 kata kadar geliştirilebilir. Darbe düzenleyiciler ile PA 6.6'nın sünekliği polikarbonat ile karşılaştırılabilir. Dahili yağlayıcıların ilavesi, PA 6.6'da zaten çok iyi olan aşınma direncini ve sürtünme özelliklerini geliştirir. Çok yönlülüğü, yüksek fiziksel mukavemet, süneklik, ısı direnci ve kimyasal direnç gerektiren hemen hemen her uygulamada kullanılmasına izin verir [12] .

1.2.1.2. Poliamid kimyasal ve fiziksel özellikleri

Naylon 6.6, yarı kristal yapısı nedeniyle orta derecede yüksek çekme mukavemeti, sınırlı elastik modülü ve çok iyi derecede tokluk gibi özellikleri sayesinde birçok uygulamada kullanışlı hale gelmekte ve önemli bir yere sahiptir. Tüm bu özelliklerine rağmen, çatlağa karşı direnci oldukça azdır ve kolayca kırılabilir. Karboksilik asit gruplarının bulunduğu polimerlerle harmanlanarak çatlağa karşı direnç kazanması ve takviye bir katkı eklenmesi ile naylon 6.6 mekanik özelliklerinin artması önemli derecede sağlanabilmektedir [13]. Naylon 6.6, doğrusal bir genleşme katsayısına ($8 \times 10^{-5} \text{ cm/cm}^\circ\text{C}$) sahiptir. 265°C gibi yüksek erime noktasının olması, zincirler ve kristal yapı arasındaki güçlü hidrojen bağlarının etkisidir. Bu özelliği önemli bir sertlik elde etmesini ve sürtünmeye karşı dayanıklı olmasını sağlamaktadır [14]. Naylon 6.6 iyi bir termal kararlılığa sahip olmasına rağmen, yüksek sıcaklıklarda uzun süre maruz kaldığında bozulma gerçekleştirebilir. Amid grupları nem emilimine ve kristallik derecesinde azalmaya neden olmaktadır. Zincirdeki alifatik grupların uzunluğunun arttırılması ile nem emilimi azaltılabilmektedir. Naylon 6,6 polimerinin, amorf bölgelerdeki hidrojen bağlanmasından kaynaklı su emilimi polimeri daha esnek hale getirerek darbe dayanımı arttırılabilmektedir [15]. Uzun moleküler zinciri, hidrojen bağları

için daha fazla alanlar sağlar ve bu durum kimyasal "yaylar" yaratır . Bu yaylar poliamide oldukça iyi bir esnek özellik kazandırır. Küçük, eşit aralıklı gözeneklere sahip yoğun bir yapıya sahiptir. Bu özelliği nedeniyle, PA 6.6'nın boyanması zordur, ancak boyandıktan sonra bu özelliği PA 6.6'ya üstün renk haslığı, güneş ışığından koruma, ozonun solma etkisine daha çok direnç gösterme, nitröz oksitten dolayı sararmaya karşı daha da dayanıklılık gibi özellikler sağlar [16]. PA, uzun süre güneş ışığına maruz kalan liflerin kopma dayanımı düşer ve beyaz liflerin rengi sararmaktadır [21]. Yanıcılık açısından naylonlar, yanmaya başladıkları belirli bir süre sonra kendiliğinden sönmektedir [17]. Aynı zamanda düşük duman yoğunluğu değerlerine sahiptir [13]. Naylonların geneli kimyasal maddelere karşı iyi direnç gösterir, ancak çeşitli reaksiyonlara girebilmektedir [18]. Naylon 6.6, tuzlara, alkalilere ve benzin gibi çözücülere karşı dayanım göstermektedir. Etanol gibi polar çözücülerle etkileşiminde yumuşamakta ve mineral asitler ile temasında bozulmaktadır. PA 6.6 için uygun çözücüler; formik asit, asetik asit, fenoller ve kresollerdir [14]. Poliamidler, yalıtkan özelliklerinden dolayı genellikle düşük frekanslı, orta voltajlı elektrik uygulamalarında kullanılabilir [15]. Naylon 6.6'nın suya duyarlı amid grupları, elektriksel özelliklerini etkilemektedir [14].

Uzun zincirlerin esnek özelliği kısa zincirlere göre daha fazladır. Kısa zincirler kırılğan olmasına rağmen güçlü ve serttir. Yeterli esnekliğe ve iyi tokluğa sahip kristal yapıda, sert ve dayanıklı bir malzeme olan poliamid 6.6, 6 karbon yapıları zincirler tarafından oluşturulur [20]

. Poliamidlerin bazı dezavantajları vardır; bazı özelliklerinin nemli ortamlarda olumsuz yönde değişikliğe uğraması , kuvvetli asitlere karşı dayanıksız olmaları örnek olarak verilebilir. Tablo 4'de iki PA 6 ve PA 6.6 polimerlerinin mekanik ve fiziksel özellikleri yer almaktadır [21].

Tablo 1.5 Poliamid 6 ve Poliamid 6.6'nın mekanik, elektiriksel ve termal özellikleri [20]

Plastik Türü		Poliamid 6	Poliamid 6.6
MEKANİK ÖZELLİKLER	Yoğunluk (g/cm ³)	1,12 - 1,14	1,13 - 1,15
	Kopma Dayanımı (mPa)	40 - 80	66 - 86
	Kopma Uzaması (%)	30 - 300	30 - 300
	Eğme Dayanımı (mPa)	76 - 100	80 - 105
	Basma Dayanımı (mPa)	65 - 100	70 - 100
	İzod Çentikli Darbe Dayanımı (j/cm)	0,32 - 0,54	0,43 - 1,14
	Elastisite Modülü (MPa) (çekme)	700 - 2600	1000 - 2800
	Elastisite Modülü (MPa) (eğme)	1000 - 3100	2000 - 3400
	Elastisite Modülü (MPa) (basma)	1750 - 2000	-
	Sertlik Rockwell-R (1/2" ball, 60 kg total)	115 – 120	108 – 120
	Rockwell-M (1/4" ball, 100kg total)	80 – 85	83 – 89
	Shore Type D	85 - 90	-
	Sürtünme	0,15 - 0,42	0,15 - 0,42
	Nem Tutma (%)	2,5 - 3,0	2,5 - 3,0
	Suda Doygunluk (%)	8,5 - 10	8,0 - 8,5
ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER	Sembolü	PA 6	PA 66
	Özgül Direnç (ohm.cm)	1011-1015	1012-1013
	Yüzey Direnci (ohm)	1010-1013	1010-1013

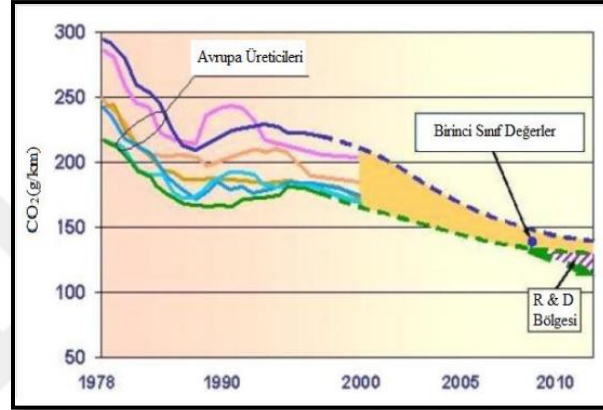
TERMAL ÖZELLİKLER.	Camsı geçiş sıcaklığı (°C)	210-220	255-265
	Kuvvet altındaki deformasyon sıcaklığı (°C)	70-95	75-105
	Maksimum çalışma sıcaklığı (°C) Uzun süre-kısa süre	90-150	95-180
	Özgül ısı (cal/gr °C)	0,40-0,41	0,40-0,41
	Isıl genleşme katsayısı (x106 cm /s.cm °C)	70-120	70-100
	Isıl iletkenlik katsayısı (x104 cal/s.cm °C)	5,5-5,8	4,8-5,8
	Flammability/Yanıcılık	V2	V2
	Yanma hızı(dikey)	Kendiliğinden Söner	Kendiliğinden Söner

Poliamidin asitlere karşı dayanımı özellikle yüksek sıcaklıkta kısıtlıdır buna karşın bazlara ve indirgen maddelere karşı ise dayanıklılığı oldukça fazladır. Ancak yükseltgen maddelere karşı oldukça hassastır. Polimer otooksidasyon özelliğine sahip olup, PA havadaki oksijenle kendiliğinden reaksiyona girerek oksidasyona uğramakta ve bozunmaktadır. Bu PA'nın otooksidasyon özelliğini belirtir [27].

1.2.1.3. Poliamidin otomotivde kullanımı

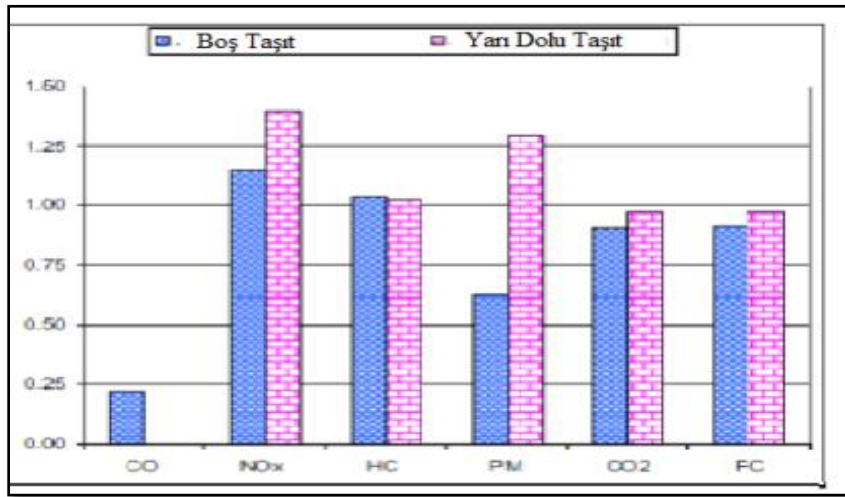
Otomotiv sektöründe giriş kısmında da belirttiğimiz gibi plastik malzeme kullanımı artmaktadır. Bunun nedeni öncelik olarak araç hafifletme, dolayısıyla yakıt tüketimini azaltma ve dolayısıyla CO₂ salınımını azaltmadır [22]. Araç ağırlığını azaltmanın, bir aracın enerji harcamasını ve emisyonunu azaltmak için basit ve en düşük maliyetli yöntem olduğu uzmanlar tarafından belirtilmektedir. Araç ağırlığındaki %10'luk bir azalmanın %5-%7 arasında yakıt tüketiminde azalma sağladığı öngörülmektedir. Bu sebeple otomotiv sektöründe hafif malzemelerin kullanılması bir gereklilik olmuştur [23].

Yıllara göre CO₂ emisyonu değişimi Şekil 1.5’de gösterilmektedir. Bu grafikte eğilimin azalma yönünde olduğu görülmektedir. Bu azalmanın devam eden yıllarda ivme kazanması için yeni standartlar getirilmesi beklenmektedir. 2012 yılında taşıtlardaki CO₂ emisyon miktarının 140 gr CO₂/km salınımından, 120 gr CO₂/km’ye düşmesini Avrupa Birliği tarafından hedeflenmektedir [24].



Şekil 1.5 Yıllara göre kara araçlarının CO₂ emisyon miktarındaki değişim [24]

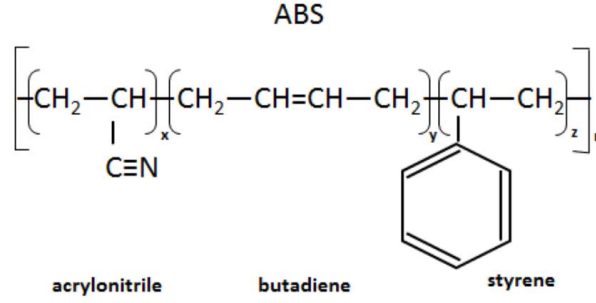
Ek olarak yapılan deney sonuçlarına göre emisyon çeşitlerinin sadece taşıt ağırlığına bağlı olarak değişimi aşağıda Şekil 1.6’da verilmiştir. Taşıt boş ve yarı doluyken yapılmış olan deney, emisyonlar ve yakıt tüketiminin ağırlıkla olan değişimini ortaya koymaktadır. [24]



Şekil 1.6 Boş bir aracın ve yarı dolu aracın emisyon ve tüketim yüzdeleri [24]

Otomobilin birçok noktasında plastik yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu parçalar öncelik olarak iç trim ve dış trim olarak ayrılır. Plastik parçaların bazılarında fiziksel, mekanik ve fonksiyonel özelliklerinin iyi olması beklenirken bazılarında da estetik görünümde daha etkileyici ve dikkat çeken yapılar beklenmektedir. Araç içinde ön direk, orta direk ve arka direk giydirme, cockpit parçaları, kapı giydirmeleri, eşikler, yatay paneller, torpido, kol dayama, cam açma tabanları, servis setleri, küllük ve diğer tüm kaplamalarda genel olarak katkı PP ve PE malzeme kullanılmaktadır. Günümüzde iç mekan parçalarında polimere katkı olarak doğal elyaf kullanımları da oldukça artmaya başlamıştır. Bu hafifletme ile birlikte ses yalıtımı da sağlamaktadır. Motora yakın kaput altı parçalarında da yoğun olarak plastik malzeme kullanıldığı görülmektedir. PA'nın ısıya daha dayanıklı olması nedeniyle bu bölümde PA 6 ve PA 6.6 'nın sıkça kullanıldığı görülmektedir. Fan taşıyıcı, fan montaj parçaları, motor kapakları, akü taşıyıcı gibi birçok malzemede kullanılmaktadır. Sıcaklığın çok daha fazla olduğu bölgelerde PA 46 da kullanılmaktadır [25]. Dış trim parçaları olarak belirttiğimiz araç gövdesine montajlanan birçok plastik malzeme bulunmaktadır. Aracın alt tarafından bulunan aracı dış etkenlere karşı koruyuculuk sağlayan motor alt koruma, davlumbaz, difüzör gibi estetik görünümü önemli olmayan mekanik özelliklerinin iyi olması gereken parçaların üretiminde yine PA kullanımını sıkça görürüz. Gövde üzerinde araç tasarımına uygun ve estetik görseelliği önemli olan tampon, rüzgarlık (spoiler), ön ve arka farlar, kapı çıtaları , ayna kapakları ve jant kapaklarının üretiminde plastik malzeme kullanılır. Bu malzemeler dış etkenlere karşı koruyucu hafif şiddetli darbelere dayanıklı , taş çarpma gibi etkilerden zarar görmeyen su ve rüzgarın etkisiyle aşınmayan , oksidasyona uğramayan ve boyama, kaplamaya yatkın olan polimer türleri tercih edilir. Bu özellikler dikkate alındığında yoğun olarak ABS (Akrilonitril bütadien stiren), ASA, PC, PC/ABS, PMMA ve PA malzemeler tercih edildiği görülmektedir.

ABS kolay boyanabilir ve kaplanabilir malzeme olarak dış trim parçalarında en çok tercih edilen malzemedir. Fakat mekanik özellikleri PA kadar iyi değildir. PA'nın mekanik özelliklerinin iyi olmasına karşın ise boyanabilirliği ABS kadar iyi değildir ve kaplanma özelliği yoktur.



Şekil 1.7 ABS kimyasal yapısı

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Katkılar

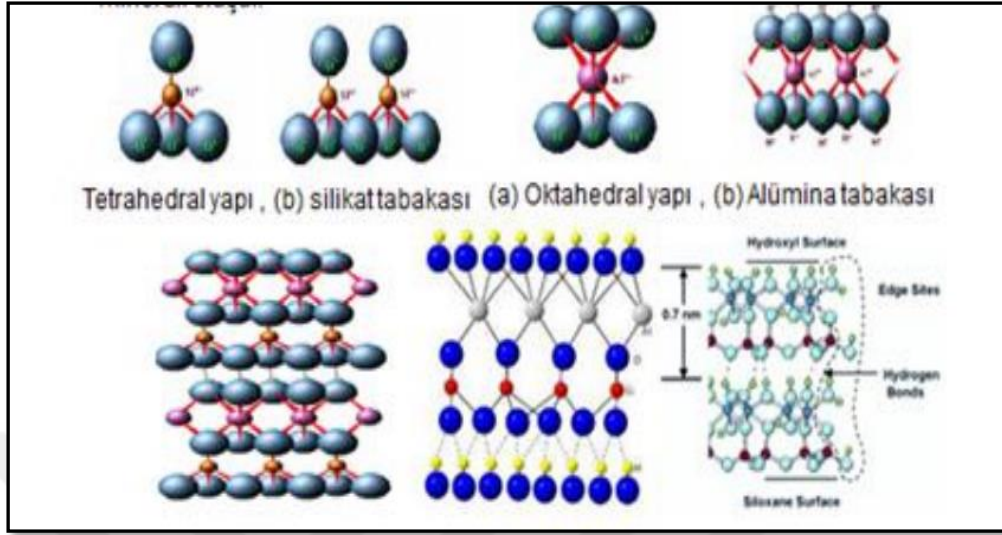
Katkı malzemeleri çok geniş bir yelpazeye sahiptir. Düzensiz, lifli, plaka ve benzeri şekilde olabilen organik ve inorganik katkı malzemeleri, plastik ürünlerde dolgu malzemesi olarak sıkça kullanılmaktadır. Katkı olarak kullanılan inorganik ve organik bileşiklerde doğal özelliklerinde, kimyasal yapılarında, boyutlarında, , şekillerinde ve formlarında belirgin farklılıklar bulunmaktadır. Bu malzemeler genel olarak matris ile karışmayan hem erimiş hem de katı fazda sert malzemelerdir. Bu nedenle farklı morfolojiler oluşturmaktadırlar. Katkılar genellikle hacimce %5'ten büyük yani diğer katkılara göre bir miktar daha yüksek konsantrasyonlarda kullanılmaktadır [29]. Plastik malzemelere katkı olarak kullanılan maddeler Tablo 2.1'de gösterilmektedir. Günümüzde en sık kullanılan katkı maddeleri, talk, cam elyaf, kalsiyum karbonat, barit, kaolin, wollastonit, mika ve feldispat gibi endüstriyel minerallerdir. Katkı maddeleri, mekanik yanma geciktiriciler, elektriksel ve manyetik özellik değiştiriciler, yüzey özellik değiştiricileri, işlem yardımcıları şeklinde sınıflandırılmaktadırlar [30].

Tablo 2.1 Bazı katkı olarak kullanılan maddeler [30]

İnorganik	Örnek
Oksitler	Cam (lifler, küreler), MgO, SiO ₂ , Sb ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃
Hidroksitler	Al(OH) ₃ , Mg(OH) ₂
Tuzlar	CaCO ₃ , BaSO ₄ , CaSO ₄
Silikatlar	Talk, mika, kaolin, wollastonit, montmorillonit, nanoclays, feldispat,
Metaller	Bor, çelik
Organik	Örnek
Karbon, grafit	Karbon lifleri, grafit lifleri ve gölleri, karbon nanotüpleri, karbon siyahı
Doğal polimerler	Selüloz lifleri, ağaç unu ve lifleri, keten, pamuk, sisal, nişasta
Sentetik polimerler	Poliamid, polyester, aramid, polivinil alkol lifleri

2.1.1. Kaolin

Kaolin, kil katkıları içinde bentonit gibi tek mineralin üstün olduğu diğer bir deyişle kaolinit minerali ile karakterize olmuş bir hammaddedir [31]. Kaolin minerali plaka benzeri iki tabakalı bir yapıya sahiptir. Bu iki boyutlu anyonik yapı üzerinde iki boyutlu katyonların yer alması ile nötr bir tabaka oluşur. Kaolinitte silikat tabakası iyonik bağ ile $AlO(OH)_2$ tabakasına bağlanır böylece $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ formülüne sahip tabakalar halinde kil minerali oluşur [32]. Güçlendirici ve aynı zamanda maliyet düşürücü olması nedeniyle özellikle polivinillerde ve poliesterlerde katkı malzemesi olarak sık tercih edilir [31]. Bununla birlikte yine otomotiv sanayisinde ve diğer plastik sanayilerde sıkça kullanılan cam elyafın üretiminde kullanılır. Cam elyafın üretimindeki ana hammaddeler kaolinin yanı sıra silis, kireç taşı ile soda, borik asit ve sodyum sülfattır [31].



Şekil 2.1 Kaolinin yapısal gösterimi

2.2. Katkıların Polimerlere Katılma Yöntemleri

Polimerlere katkı maddelerinin katılması 4 yöntemle yapılabilir:

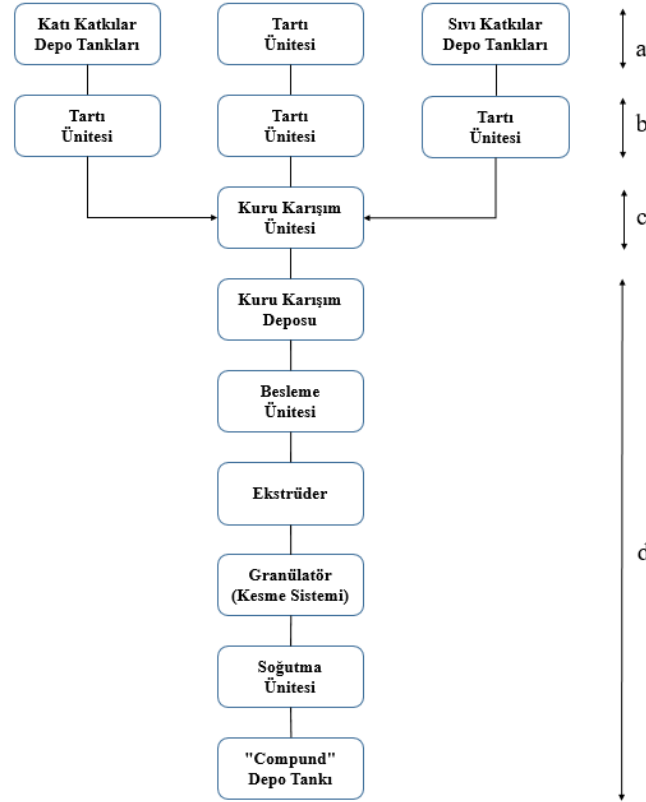
- Polimerleşmeden önce ya da polimerleşme esnasında katkıların monomere katılması,
- Elde edilen polimerin üretimini satılabilir yani işlenebilir şekle sokulması sırasında (granülasyon) katkıların polimere eklenmesi.
- Ayrı bir üretim aşamasında katkıların polimere eklenmesi (compounding)
- Katkı maddelerinin polimere, son ürün üretimi için yapılan işlemler esnasında (ekstrüzyon, enjeksiyon, şişirme, kalıplama vs.) eklenmesidir.

2.2.1. Katkıların Polimere Ayrı Bir Üretim Prosesinde Eklenmesi (Compounding)

Plastiklerin son ürünlerin elde edilebilmesi için çeşitli katkı maddelerinin son üründe aranan özellikleri kazandıracak şekilde polimer maddeye katılması yani polimerin işleme karışımlarının hazırlanması (compounding) gerekmektedir. Böylece oluşan karışımlar (compound) işlenerek son ürüne dönüştürülebilir. Karışım formülasyonun belirlenmesi aşaması, hassas ve yoğun çalışmaları gerektirmektedir. Günümüzde hala polimer maddeler, gerekse katkı maddeleri konusunda biriktirilen öğrenilen bilgilere rağmen tümüyle bilimsel

temelleri oluşturulamamıştır. Bu nedenle ön deneme çalışmalar ve sıkça denemeler yapılarak yapılan çalışmaların gerekli kontrolleri kıyaslanarak devam edilmektedir [28]. Compounding prosesinin akış şeması Şekil 2.2’de gösterilmektedir. Proses aşağıdaki birimlerden oluşmaktadır:

- Hammadde (işlenecek olan polimer) , katkı (katı ve sıvı) ve masterbatch (hazır karışımlar) depoları
- Karıştırılan tüm malzemelerin ölçüm ve tartım birimleri
- Kuru karışım hazırlama (mikser) ve depolama ünitesi
- Karışımın ekstrüde prosesinden geçirilerek granül hale getirildiği birim. Besleme, ekstrüzyon, granülasyon, soğutma ve depolama ünitelerinden oluşmaktadır.



Şekil 2.2 Tipik bir compounding ünitesinin akış şeması

Formülasyonu yani katkı oranları belirlenmiş polimerlerin tartımları yapıldıktan sonra kuru karışım yapılarak veya dozajlama ünitesi vasıtasıyla oranları girilerek ekstrüzyona beslenir. Granülasyon işleminde polimer ve katkı maddeleri ekstrüderde ergitilmekte, daha sonra oval kesitli homojen şeritler halinde çekilerek, şeritlerin istenilen boyutlarda kesilmesiyle granüller oluşturulmaktadır. Şeritler sıcak ve soğuk çekilebilmektedir. Poliamidler, poliolefinler ve stirenler ekstruderden çekilen sıcak şeritlerin suya daldırılıp soğutulduğu sıcak granülleme ile kesilirler. PVC gibi tekniği sert ve plastikleştirilmiş malzemeler ise ekstrüderden çekilen şeridin havayla soğutulduğu soğuk granülleme ile kesilmektedir.

2.3. Ekstrüzyon

Ekstrüzyon işleminde plastik ürünlerin kesiksiz olarak devamlı prosesle üretilmesi sağlanır. Aynı kesitte, istenilen uzunlukta ve hassas boyutlarda devamlı ürünler üretilebilmesi ekstrüzyonun en büyük avantajlarından biridir. Ekstrüder adı verilen makinelerle ekstrüzyon işlemi sağlanır. Çalışma prensibi; ergitilen polimer belirli bir şekildeki boşluktan basınç ile çıkartılır [28].

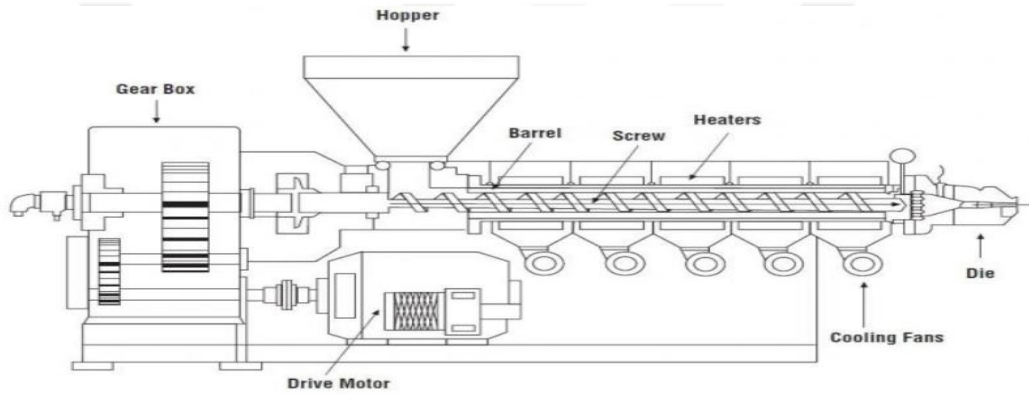
2.3.1. Ekstrüder

Ekstrüder, besleme hunisi , sıkıştırma ve itme görevlerini yerine getiren vida (arşimet vidası), sıcaklık ve basınca dayanıklı vidanın içinde hareket ettiği silindirik gövde ve gövdenin çıkışında bulunan kafadan oluşmaktadır [28].

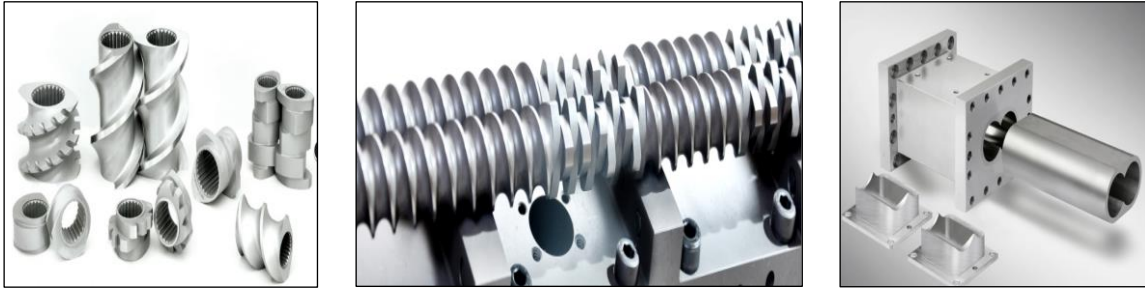


Şekil 2.3 Ekstrüder makinesi

Ekstrüder vida sıkıştırma oranı besleme hunisi hacminin eritme ölçme alan oranı olarak tanımlanır. Yoğun olarak 2/1 vida sıkıştırma oranı ve 4/1 vida sıkıştırma oranı tercih edilir. Vida çapı (D), vida uzunluğu (L), vida şekli, vida sayısı hatve, heliks açısı ve diş yüksekliği çalışmadaki etkili olan faktörlerdir. Polimerlerin özellikleri, üretim miktarı gibi faktörlere göre ekstrüder özellikleri seçilir. (a) Naylon için sıkıştırma bölgesi, sıkıştırma oranı 3,5-4.0 olacak şekilde kısaltılmış L/D oranı 15-20 değerleri arasındadır. (b) PVC termal bozunması kolay olduğu için viskoz ısıtma bölgesi kısaltılmış fazla ısıtma riski ortadan kaldırılmıştır. Diş uzunlukları değiştirilerek fazla sürtünme önlenmiş ve kontrollü basım sağlanmıştır [28].



Şekil 2.4 Ekstrüder makinesi ana hatları

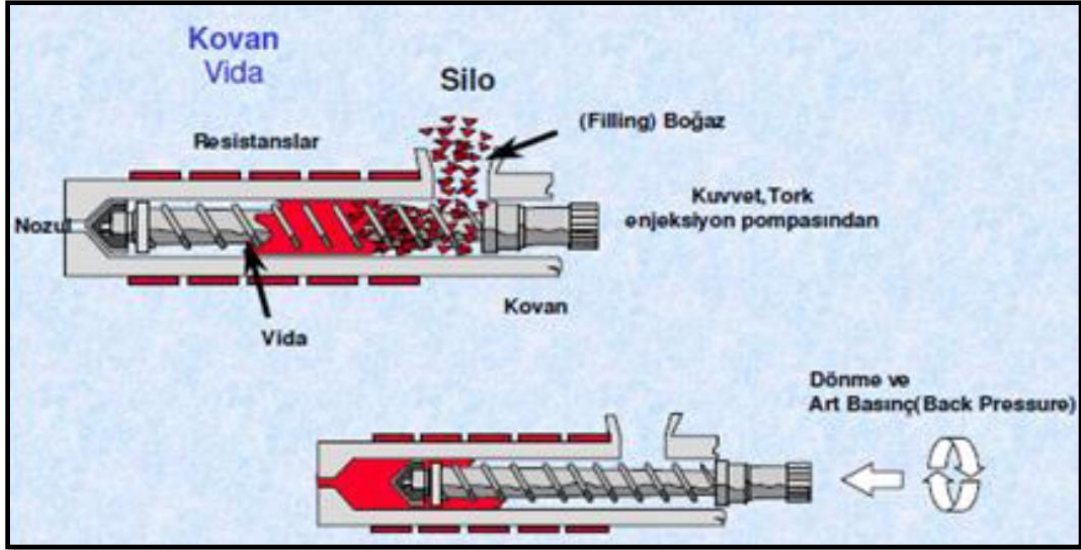


Şekil 2.5 Ekstrüder ana elemanları: a) Ekstrüder karıştırıcı ve kırıcıları b) Vida c) Kafa

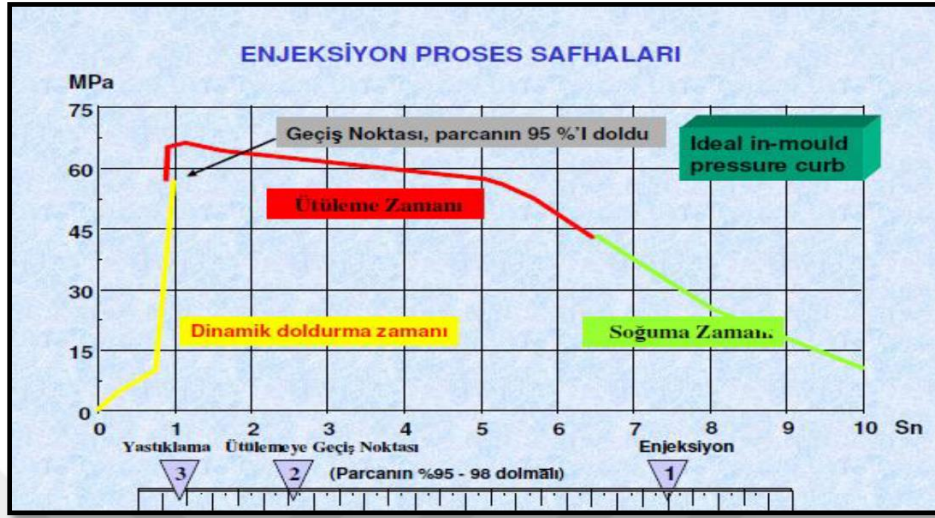
2.4. Enjeksiyon ve Enjeksiyon Makineleri

Enjeksiyon üretim yönteminde, sıcaklık ile ergitilmiş plastik malzeme, basınç yardımı ile boş bir kalıp içerisine enjekte edilerek şekillendirilir ve kalıpta son şeklini alması için soğutulur ve kalıbın açılmasıyla kalıp şeklini almış ürün elde edilir. Plastik enjeksiyon parça üretimi,

enjeksiyon makinelerinde gerçekleştirilir. İlk enjeksiyon sistemi 1860'lı yıllarda bulunmuş ilk makine 1930-1960 yılları arasında üretilmiştir. Makinenin gelişimi ise halen günümüzde de devam etmektedir. Plastikler, enjeksiyon yöntemi ile kolay ve hızlı şekillendirilebilmişlerdir. Böylece birçok sektörde kendine yer bulmuş, metalin yerini almaya başlamıştır. Enjeksiyon prosesinde granül malzeme silodan makinenin boğaz kısmında boşaltılır. Vidaya dolan granül rezistanlardan gelen ısı, vidanın dönmesi ve kesme kuvveti ile granüller erimiş hale geçer vidayı geriye doğru iterek öne doğru hareket eder. Malzeme tamamiyle eriyip baskıya hazır hale geldiğinde enjeksiyon basıncı ile vida ileriye doğru hareket eder ve malzemeyi sıkıştırır ve kalıp erimiş malzeme ile dolmaya başlar. Erimiş malzeme kalıp duvarı ile bulunduğu andan itibaren soğuma başlar. Enjeksiyon akış profili; sıcak erimiş malzeme donmuş iki tarafın ortasından ilerleyerek devam eder, kalıp duvarına temas eden malzeme donar, arkadan akan malzeme öne geçer. Bu işlem kalıp gözü doluncaya, parça doluncaya kadar devam eder. Son giren erimiş malzeme en uç noktaya ulaşır. Soğuma zamanı tamamlandıktan sonra kalıp açılır ve donmuş plastik ürün hazır hale gelmiş olur.



Şekil 2.6 Malzeme besleme prosesi ve enjeksiyon makinesi ekipmanları



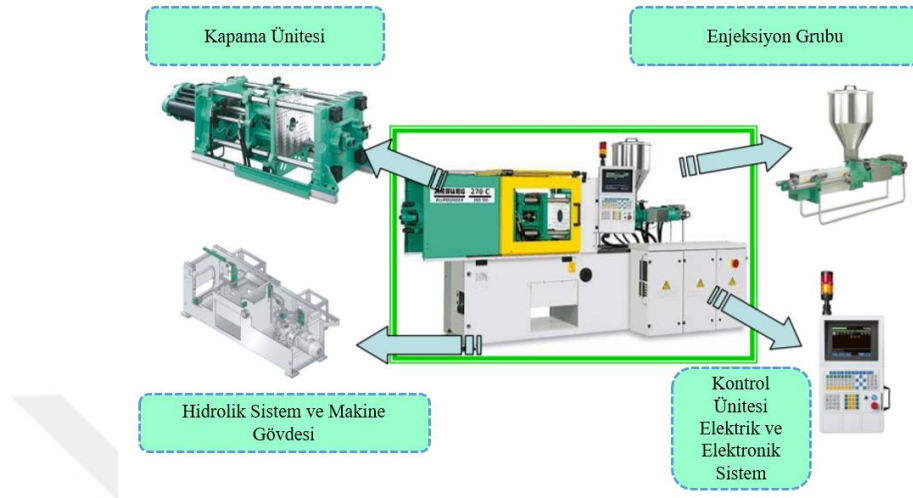
Şekil 2.7 Enjeksiyon proses adımları

Enjeksiyon makinelerinin prosese etki eden en önemli parametreleri şu şekildedir:

- Enjeksiyon basıncı:** Enjeksiyon sırasında vidanın bir piston vasıtası ile vida önündeki plastiğe uyguladığı basınçtır. Kalıbın içersine ergimiş malzemeyi doldurmayı sağlar.
- Enjeksiyon hızı:** Ergimiş malzemeyi kalıp içersine enjekte ederken kullandığımız kademeli ve kademesiz hız hareketleridir. Hızlar kullanırken yol kademelerini de birlikte kullanılmalıdır.
- Tutma basıncı:** Kalıp içersine enjekte edilen sıcak malzemenin soğuma sırasında,çekerek küçülmesini engellemek, çöküntülerin oluşmaması ve yüzey kalitesini sağlamak için uyguladığımız basınçtır.
- Enjeksiyon zamanı:** Ergimiş malzemenin kalıp içersine doldurmak için geçen süredir.
- Tutma zamanı:** Uygulanan tutma basıncının süresidir.
- Mal alma:** Enjekte edilecek malzemeyi silindirde hazır hale getirme işlemidir.
- Mal alma geri basıncı:** Kalıp içersine enjekte edilecek malzemenin daha iyi karışması, içersinde hava ve gaz kalmamasını sağlama işlemidir.

- h. **Geri emiş:** Enjeksiyon memesi veya kalıp memesinden malzemenin akmasını engelleyen bir işlemdir.
- i. **Sıkma tonu:** Makine ve kalıbın kilitleme gücüdür. Makinenin kilitleme gücü ile kalıbın kilitleme gücü aynı olmak zorunda değildir. Örneğin, makine 600 ton olabilir fakat kalıp 500 veya 550 ton sıkma kapasitesi istiyorsa ona göre ayar yapılır.
- j. **Silindir (kovan)ısıları:** Silindirin dış kısmındaki rezistanslara verilen malzeme çalışma sıcaklıklarıdır.
- k. **Kalıp sıcak yolluk ısıları:** Çalışma sırasında manifold ve memelere verilen sıcaklık değerleridir.
- l. **Kalıp sıcaklığı:** Çalışma sırasında kalıbın erkek ve dişi tarafına bağlanan soğutma ve ısıtma kontrol sularıdır.
- m. **Soğuma:** Kalıp içersine enjekte edilen malzemenin soğuması için geçen süredir.
- n. **Maça programı:** Kalıp üzerindeki maçaların ileri-geri hareketlerini ve çalışma pozisyonlarını ayarlamak için kullanılır.
- o. **Valfgate programı:** Kalıpta bulunan sıralı yolluk çalışma pozisyonlarını ayarlamakta kullanılır.
- p. **Hava ventili:** Kalıp üzerinde hava ile çalışan maça ve valfgate'lerin çalıştırılmasında kullanılır.

Enjeksiyon makineleri 4 ana gruptan oluşur. Enjeksiyon Grubu, Kapama Grubu, Hidrolik Sistem ve Makine Gövdesi,Kontrol Ünitesi, Elektrik ve Elektronik Sistem.



Şekil 2.8 Plastik enjeksiyon makinesi ana üniteleri

Enjeksiyon makinelerinin gelişimiyle birçok yeni enjeksiyon üretim yöntemleri ortaya çıkmıştır. Bu yöntemler üründe aranan özelliklere göre tercih edilmektedir. Enjeksiyon üretim yöntemleri aşağıda sıralanmıştır.

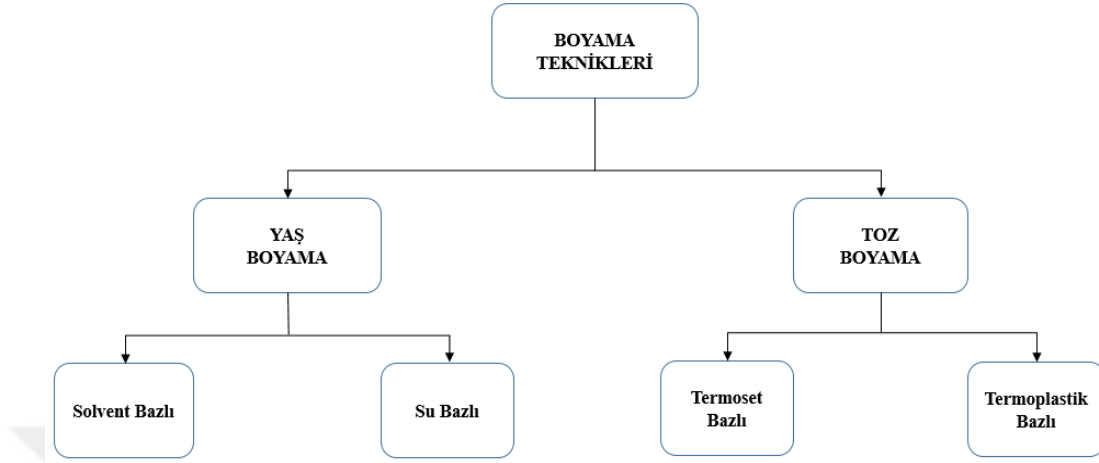
Tablo 2.2 Plastik enjeksiyon yöntemleri

PLASTİK ENJEKSİYON ÜRETİM YÖNTEMLERİ			
1	Standart enjeksiyon parça üretimi	10	Birleşme izi giderme (Heat en cool)
2	Çoklu (2K) enjeksiyon parça üretimi	11	Su enjeksiyon (WIT)
3	Kumaş baskı (In mould compating)	12	PU kaplama (Soft Touch,deri görünümlü üretimler)
4	Gaz enjeksiyon	13	Kalıp içinde boyama
5	Mucell (Araç hafifletme)	14	Glazing (Çift renk PC ve TV çerçeve üretimleri)
6	Metal inset (hybrid, kalıba metal insert yerleştirme)	15	Standart ICM (Kompresyon)

7	Kompozit (Metal yerine GF katkılı malzeme kullanma)	16	İnce cidar (Thin well, ince ambalaj malzemeleri üretimi)
8	IMD ve IML (In mould decoration)	17	3D MID (parçaya iletkenlik kazandırma)
9	Wrapping (PP+PU+Yapıştırıcı+PU deri kaplama)		

2.5. Plastiklerin Boyanabilirliği

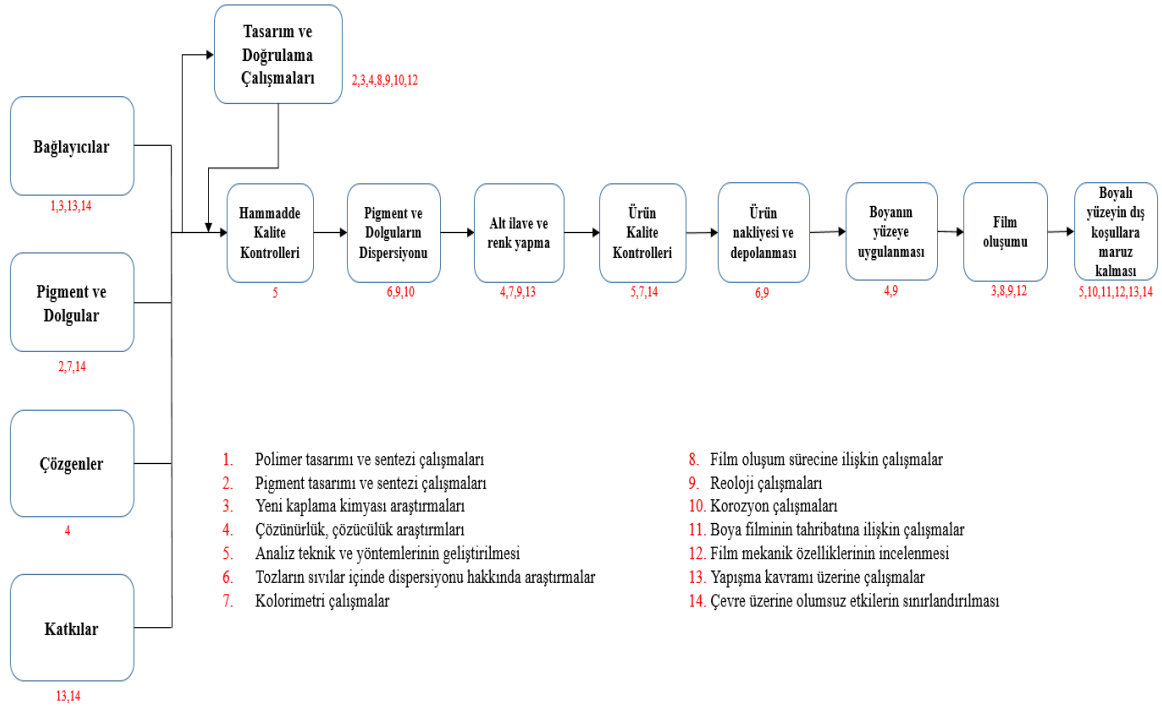
Plastik parçalara boya ve kaplama nedenleri; dekoratif amaçlı (Renk, parlaklık ve efekt) kalıpsal ve malzeme hatalarından kaynaklanan pürüzlülüklerinin kapatılması, homojen parlaklık, renk ve imaj netliği sağlamak, fonksiyonel sebeplerle çizilme, darbe, kimyasallara karşı dayanım, yağ, su, dış ortam ve güneş ışınlarına karşı (UV) dayanımları, korozyon ve asitlere karşı dayanım, iletkenlik, reflektörlerde ışığı daha kuvvetli yansıtması için, görsel örtülücülük içindir. Plastikler metallere göre zor boyanan parçalardır. Metallerin ısı iletkenlikleri, yüzey enerjileri ve ısı enerjileri çok iyidir ve çok rahat boyanabilir ve kaplanabilirler. Fakat plastiklerde ise iletkenlikleri yok, yüzey enerjileri düşük bu yüzden zor boyanırlar. Plastikleri boyayabilmek veya kaplayabilmek için tutuculuğunu arttırıcı, flamaj, astar, primer, yüzey aşındırıcı ve iletkenleştirici işlemler yapılır. Boyama teknikleri, yaş boyama (Solvent ve su bazlı) ve toz boyama (Termoset ve Termoplastik bazlı) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Her boyama tekniği kendi içerisinde de aşağıdaki gibi yöntemlere ayrılır [33].



Şekil 2.9 Boyama teknikleri diyagramı [33]

Boyalarda 4 temel bileşen bulunur:

- 1- Bağlayıcılar (boyanacak parçaya boyaların yapışmasını sağlar).
- 2- Pigmentler (renk ve örtücülük sağlar).
- 3- Çözücüler (boyaların viskozitesini ve yüzey yayılımını ayarlar).
- 4- Kimyasal diğer katkılar (ıslatıcılar, matlaştırıcılar, UV katkısı ve çökme, topaklanma engelleyiciler vb.)

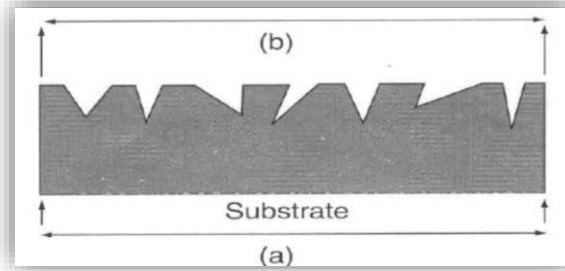


Şekil 2.10 Plastik boyama akış şeması örneği

Boyanın plastıklere iyi yapışabilmesi için plastikte aranan özellikler: Yüzey pürüzlülüğü, yüzeyin ıslatılabilirliği, boya bileşenlerinin yüzeye yayılabilmesi (difüze edebilmesi) ve boyanın yüzeye kenetlenmesidir.

2.5.1. Yüzey Pürüzlülüğü

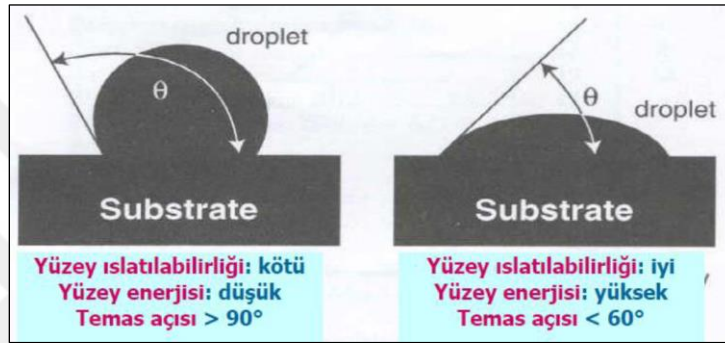
Yüzey alanı büyüdükçe yayılma iyileşir [33].



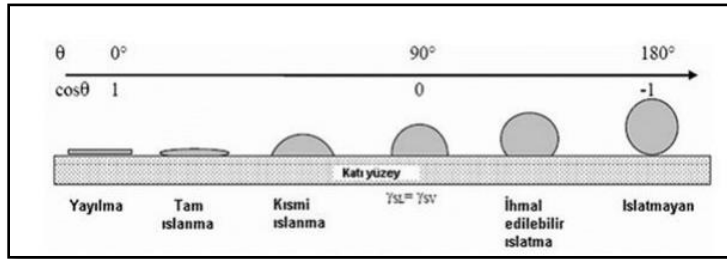
Şekil 2.11 Alt katman yüzey alanı uzunluğu ve görüntüsü

2.5.2. Yüzey İslatılabilirliği

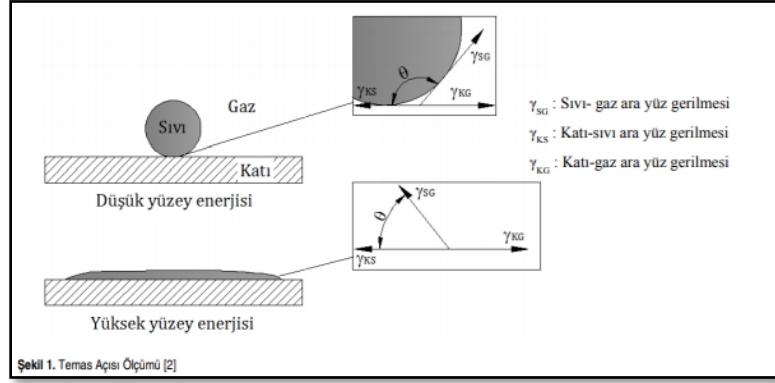
Yüzeyin üzerine bırakılan bir sıvı damlasının yüzeyde oluşturduğu temas açısı (θ) 60° den düşükse yüzey ıslatılabilirliği iyi seviyededir. Bu açı ne kadar azsa o ıslatılabilirlik o kadar iyidir. Plastik yüzeyin yüzey gerilimi (enerjisi) yükseldikçe, boyanabilir ve yapışmada iyileşme görülür [33].



Şekil 2.12 Yüzeyi ıslatmayan ve yüzeyi ıslatan damla temas açısı



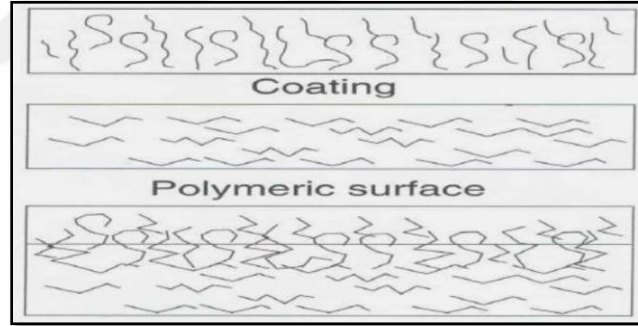
Şekil 2.13 Islanabilirlik ve temas açısı ilişkisi



Şekil 2.14 Yüzey enerjisi ve temas açısı ilişkisi

2.5.3. Difüzyon Teorisi

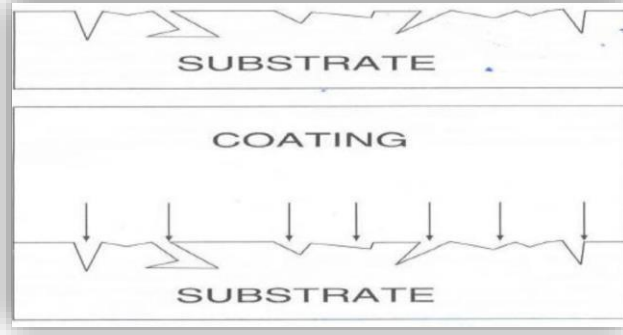
Boya bileşeni moleküllerin yüzeye yayınma (difüzyon) özelliği arttıkça yapışma iyileşir [33].



Şekil 2.15 Polimerik yüzeye yayılan kaplama moleküllerinin görünümü

2.5.4. Yüzey- Boya Kenetlenmesi

Boya filmi ile uygulandığı yüzey arasındaki elektriksel ve mekanik kenetlenmeyi sağlayan kuvvetler yapışma kuvvetinin derecesini belirler [33].



Şekil 2.16 Katmanlar arasında kenetlenme görünümü

Özet olarak ; Yüzey enerjisi ve gerilimi yüksek, teması açısı düşük, ıslatılabilirlik ve yapışma özelliği iyi olan bir malzemenin boyanabilirliği iyi derecededir. Temel şart plastik yüzey enerjisi ve geriliminin, boya yüzey enerjisi ve geriliminden yüksek olması gerekmektedir [33].

2.5.5. Yüzey Gerilimi ve Yüzey Enerjisi

Bir sıvının yüzey alanını 1 cm^2 artırmak için birim uzunluğa uygulanması gereken kuvvete yüzey gerilimi adı verilir. Her bir yüzey arasındaki gerilime de arayüzey gerilimi denir. Ara yüzey gerilimi, yüzey geriliminden daha düşüktür. Yüzey gerilimi ve ara yüzey gerilimi değer olarak yüzey serbest enerjisi ile aynıdır. Örneğin 20°C 'deki suyun yüzey serbest enerjisi 72.8 erg/cm^2 yüzey gerilimi de 72.8 dyn/cm 'dir [34]. Yüzey alanını 1 cm^2 arttırmak için yapılması gereken iş için gereken enerjiye yüzey serbest enerjisi denilebilir. Yüzey gerilimleri " γ " ile gösterilir ve cgs sistemine göre birimi ' dyn/cm ', SI'da ise birim mN/m 'dir (miliNewton/metre). Sıcaklık artışı yüzey gerilimi azalmasına neden olmaktadır.

Yüzey gerilimlerinin ölçülmesinde farklı metotlar uygulanmaktadır. Bu yöntemlerin bazıları sadece yüzey gerilimini saptarken, bazıları da hem ara yüzey hem de yüzey gerilimi tayininde kullanılır [34]. Bu yöntemler başlıca:

1. Kapilerde yükselme yöntemi
2. DuNouy yöntemi
3. Wilhelmy plaka metodu

4. Damla yöntemleri

- Basit damlalık yöntemi
- Donnan pipeti (damla adedi) yöntemi
- Pendant damla yöntemi
- Sessile drop yöntemi

5. Maksimum kabarcık yöntemi

6. Oscillating jet method (OJM)

Sıvının yüzey gerilim hesabı Hagen-Poiseuille denkleminde göre hesaplanır:

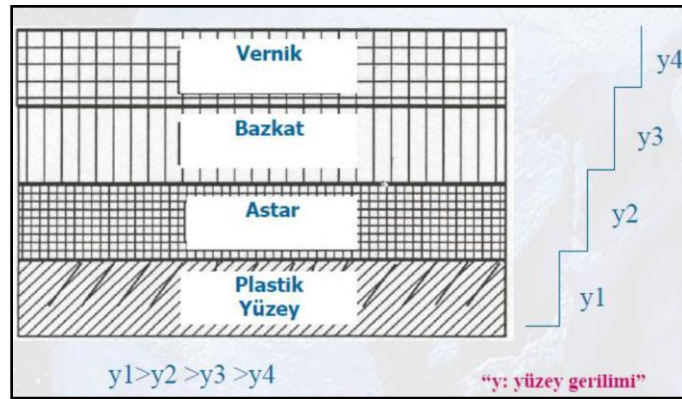
$$m.g = 2 \pi r \gamma \rightarrow \gamma = m.g / 2 \pi r \quad (2.1)$$

m : Sıvı damlasının kütlesi (g)

r : Damlalık yarıçapı (cm)

g : Yerçekimi ivmesi (980,7 cm.s⁻²)

γ : Sıvının yüzey gerilimi (dyn.cm⁻¹)



Şekil 2.17 Yüzeyler arası yüzey gerilimi değişimi

2.5.5.1. Yüzey Enerjisi Ölçüm Yöntemleri

Katı ve sıvı fazda bulunan iki materyalin atom ya da molekülleri ile kurdukları bağların meydana getirdiği ara yüzeyde, iki faz birbirleri içerisinde dağılırarak farklı bir katman oluştururlar. Atomlar bir fazdan diğerine ara yüz sayesinde geçebilirler. Sıvı molekülleri,

yüzeyde bir çekim kuvveti oluştururlar. Sıvının yüzeye yayılmasına engel olan bu kuvvet direnç gösterir. Malzemenin yüzey enerjisi, yüzeye malzeme yapışmasına gösterdiği dirençle orantılıdır. Diğer yüzey enerjisi ölçüm yöntemleri de ıslanabilirlik kontrolü ve damlanın temas açısından faydalanılan yöntemlerdir [35]. Yüzey serbest enerjisinin hesaplanması boya uygulanacak yüzeyin ıslanabilirliği her faz arasındaki adhezyon konusunda boyama öncesi önemli rol oynamaktadır. Eğer boya öncesi boyanacak malzemeye yüzey işlemlerin uygulanıyorsa bu hesaplama prosesin öncesinden ayarlanmasında büyük rol oynar. Böylece kullanılacak boya hammaddelerinin doğru ve uygun kullanılmasına olanak sağlar. Katı yüzeylerde yüzey serbest enerjisinin hesaplanması sıvı yüzey hesaplamalarından farklı yapılır. Örneğin tensiyometre ölçümlerinde hesaplama direkt yapılırken katı malzemenin rijit yapısı nedeniyle yeni bir yüzey oluşturulamamasından farklı metotlar geliştirilmiştir.

Bu metotlar:

- 1- Test Mürekkepleri ile Yüzey Enerjisi Ölçümü
- 2- Temas Açısı Ölçümü ile Yüzey Enerjisinin Belirlenmesi
- 3- Zisman Metodu
- 4- Girifalco ve Good Modeli
- 5- Fowkes Yaklaşımı

2.5.5.2. Yüzey Enerjisi Artırma Yöntemleri

Plastik malzeme yüzey enerjilerinin arttırılması için uygulanan yöntemler mekanik aşındırma, kimyasal aşındırma, alev ile dağlama (flamaj), plazma ve korona yöntemleridir. Tablo 2.3'e göre boyamak istenen plastik malzemenin yüzey gerilimi boyamaya elverişli değil ise yüzey enerjisini ve gerilimini artırmak için bu metotlar uygulanır. Bu yöntemler uygulandıktan sonra yüzey temizleme işlemlerinin de yapılması boya tutuculuğunda önemli rol oynamaktadır.

Tablo 2.3 Bazı plastiklerin yüzey gerilimleri

PLASTİKLERİN YÜZEY GERİLİMLERİ			
HİDROKARBONLAR(Hydrocarbons)	dyne/cm	MÜHENDİSLİK PLASTİKLERİ	dyne/cm
PP (Polipropilen)	29-31	PET	41-44
PE (Polietilen)	30-31	PC	46
PVA (Polivinil asetat)	33-44	PPO(Noryl)	47
PS (Polistiren)	38	PBT (Valox)	32
ABS	35-42	Polysulfone	41
PA (Poliamid)	< 36-	Polyethersulfone	50
Polyester	41-44	Polyphenylene sulfide(PPS)	38
PVC (Sert PVC)	39	NYLON	33-46
SAN			
POM	Boyanmaz		
PMMA			
ASA			
FULORAKARBONLAR(Fluorocarbons)		ELESTOMERLER	
PE (kopolimer)	20-24	Silikon(silicone)	24
Fluorinated ethylene propylene	18-22	NBR(Naturel kauçuk=rubber)	24
Poliyvinil fluoride	28	SBR(Sentetik kauçuk)	48
NOT: dyne/cm=Yüzey gerilim değeri			

Mekanik Aşındırma

Mekanik aşındırmada hedeflenen gevşek yapıdaki kararlı olmayan polimerin temas yüzeyini arttırmaktır. Temas yüzeyinin arttırılması için zımparalama işlemi de diyebileceğimiz uygulama ile düz yüzeyin pürüzlü hale gelmesi sağlanır. Bu yöntem estetik görselliği önemli ürünlerde pek tercih edilmemektedir. Genel olarak yapıştırılarak kullanılacak plastik malzemelerde daha çok kullanılmaktadır. Eğer malzeme yüzeyinde kaplama veya film tabakası mevcutsa mekanik aşındırma yöntemi iyi sonuç vermemektedir. Aşındırma işlemi sonrası temas yüzeyinin artmasıyla yapıştırıcının dağılarak daha geniş bir alana kenetlenmesi sağlanmaktadır. Zımpara seçimi, malzeme yapısına ve istenilen yüzey pürüz seviyesine göre yapılmalıdır [43].

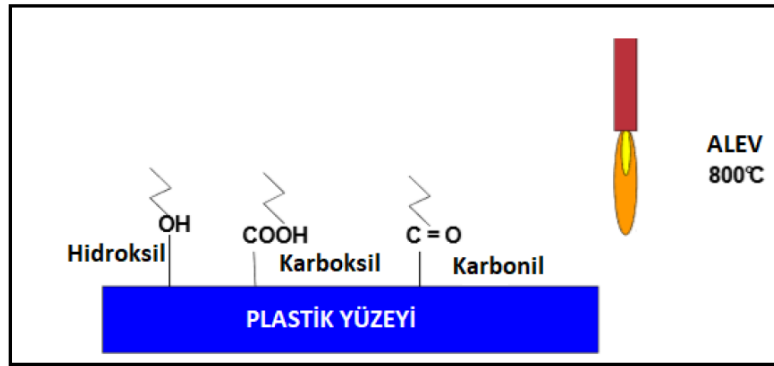
Kimyasal Aşındırma

Kimyasal aşındırma plastik malzemelerin boyanmasında kullanılan ve etkin yüzey enerjisi arttıran yöntemlerden biridir. Farklı kimyasal karışımlar kullanılan bu yöntemde her malzeme için malzemeye özgün farklı aşındırma çözeltileri ve reaktifleri kullanılmaktadır. Bu çözeltilerde alkol, gliserin, su, gliserin, alkali ve asit gibi kimyasallar bulunmaktadır. Bu işlemde çözelti yüzeye dökülerek veya kimyasal içine malzeme daldırılarak uygulanır.

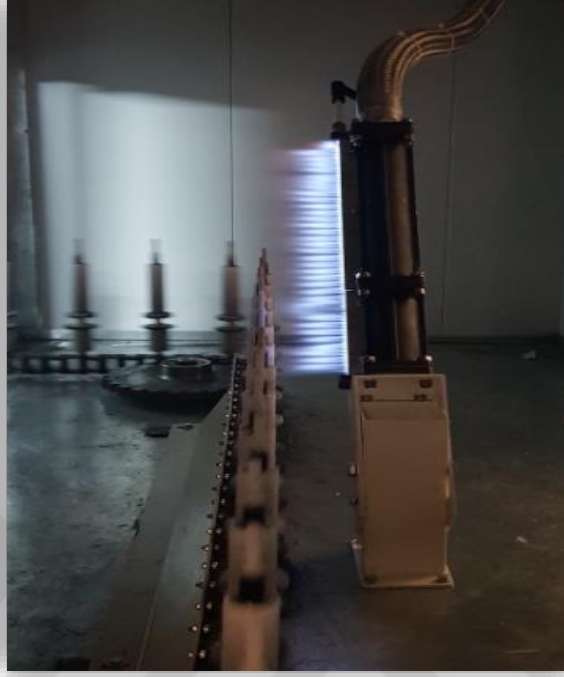
Malzeme yapısındaki tane sınırları ve malzemedeki fazlar anot durumunda olurken, diğer bölgeler ise katot durumunda olur. Anot bölgelerinde aşınmalar oluşurken Katot bölgelerinde aşınma gözlenmez. Bu aşınma sayesinde daha dayanıklı yapışma meydana gelir. ABS, poliolefin, asetal ve polipenoloksit gibi plastiklerde kromik asit ile aşındırma uygulanmaktadır. Aşındırma etkisi parametrelere ve uygulanan malzemeye göre değişiklik göstermektedir. Bu yöntem ile morfoloji ve kimyasal kompozisyon değiştirilerek yüzey enerjisi artırılır. Kimyasal aşındırma van der Waals, dipol, hidrojen, kovalent ve iyonik bağ içeren malzemelerde uygulanabilir [43].

Alev ile Dağlama (Flamaj Yöntemi)

En çok kullanılan yöntemlerden biri olan alev ile dağlama yöntemi eğimli ve düzensiz yüzeylere uygunlandığında iyi sonuçlar vermektedir. Flamaj yönteminde kullanılan gaz hidrokarbonca zengindir. Alev uygulaması ile yüzey enerjisi artarken bir miktarda oksidasyon oluşmaktadır. Bu yöntemin sonuçlarının uygun olmasında malzeme bileşenleri, alev mesafesi, kullanılan brulör tipi, gaz tipi, alev geçiş hızı, hava oranı ve gaz akış hızı önemlidir.



Şekil 2.18 Flamaj ile yüzey aktivasyon işlemi



Şekil 2.19 Boyahane hattında alev ile dağlama noktası

Korona Yöntemi

Elektriksel bir alan içerisinde elektron, yüklü parçacıklar ve hızlandırılmış iyon akışı ile korona oluşur. İçi hava ya da diğer gazlarla dolu olan bir boş alan içerisinde iyon üretiminin fazlaca olması nedeniyle nötr durumda moleküller oluşur. Hızlı parçacıkların yüksek gerilimin etkisinde birbirlerine çarpmaları sonucu korona oluşmaktadır. Bu atmosfer basıncı altında oluşur. Bu oluşum korona için avantaj sağlar. Bu yöntem daha çok poliolefin filmlerinde uygulanmaktadır. Bu metotta plastik malzeme, yüksek frekans ve gerilime alternatif akımın da dahil olmasıyla elde edilen bir korona şarjına (corona charging) maruz kaldığı görülmektedir. Korona işleminde iyonizasyona uğramış hava etrafından geçirilen yüksek voltaj sayesinde elektrik enerjisinin deşarjı sağlanır [36]. PE gibi hem amorf hem de kristal bir yapıya sahip malzemelerde, amorf yapı kısmı kararsız bölge hedeflenir ve yüzey pürüzlülüğü artırılır. Yüzeyde oluşan kama etkisi nedeniyle yapıştırıcı daha geniş yüzey alanına tutunacaktır. Plastik film katmanlarda, korona sayesinde gerçekleşen elektriksel boşalım, yüzeyin ıslanabilirlik özelliğini arttırmaktadır [37]. Şekil 2.20’de görüldüğü üzere

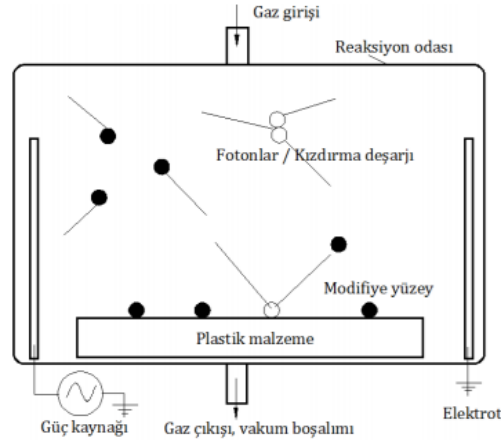
Şekil 2.20 Korona cihazı ve çalışma şekli

The diagram illustrates the operation of a Van de Graaff generator. On the left, a 'High voltage power supply' is connected to ground ('Earth'). A belt, represented by a line with minus signs, carries negative charges from the power supply to a 'lonizing needle' (a small metal tip). The needle is connected to a rotating drum partially submerged in a container of 'Paint'. The charges then travel up the needle to the terminal of the belt. The belt continues to a large, hollow metal dome on the right, which is also connected to ground ('Earth'). The dome is shown with a dashed outline and contains many minus signs, indicating it is accumulating a large negative charge.

36

Plazma Yöntemi

Plazma yönteminin poliolefin ve poliestere malzemelerde kullanımı daha iyi sonuçlar vermektedir fakat diğer malzemelerde de kullanılabilir. Ayrıca bu yöntem boya öncesi yüzeyi temizlemek için de kullanılmaktadır. Düşük basınç altında helyum (He), argon (Ar) ve oksijen (O_2) gibi bir asal gaz ile plastik malzeme yüzeyi bombardıman edilir [38]. Burada yüzeyde bulunan molekülleri, asal gaz iyonlarının çapraz bağlanmasıyla aktif hale gelerek, yapışma kuvvetini arttırmak hedeflenmektedir. Bu proseste, atomlar çapraz bağlanmış, daha kuvvetli ve ıslanabilirlik seviyesi daha iyi olan bir yüzey elde etmeyi hedefler. Yüzey üstünde toplanan gaz, ortamdaki kimyasal reaksiyona dahil olur. Polimer yüzeyinde oluşan bu olaya soğuk plazma adı verilir. Yöntem oda sıcaklığında yapıldığı için bu şekilde isim verilmiştir. Soğuk plazma, yüksek voltajlı mikrodalga akımı (2450 MHz) ve vakumlu ortamda radyo frekansı (13,56 MHz) kullanılarak istenilen gazın da bulunduğu vakumlu bir odada gerçekleştirilir (bkz:Şekil 2.22). Plastik yüzeyde genellikle tercih edilen frekans 13,56 MHz'dir. Vakumlu oda içinde gazın içerisinde bulunan enerji ile iyonlar, serbest radikaller ve elektronlar halinde enerji oluştururlar [36, 39]. Plazma yüzey işleminde aslında birçok farklı gaz kullanılabilir, fakat yoğunlukla oksijen soğuk plazma uygulamalarında en çok tercih edilen gazdır. Sistemdeki gaz ile oluşan reaksiyon etrafında elektronlar atomlar, iyonlar, moleküller, yarı kararlı yapılar ve serbest radikaller ile karşılaşılır. Polimer yüzeyindeki kovalent bağları, plazma işlemi esnasında oluşan elektronlar ve serbest yüzey radikalleri kopararak şekillendirebilirler. Varolan serbest halde bulunan elektronlar, istenilen özellikte bir yüzey için birleşim oluştururlar. Öngörülen sıcaklığa ve süreye ulaşıldığı anda radyo frekansı durur ve yüzeydeki şekil yapısını korur. Plastiklerde yüzey enerjisi değişimi için plazma yöntemi etkilidir, ancak ekipman maliyetinin yüksek olması ayrıca yöntemin uygulanacağı ortamın vakumlu olması gerektiğinden kullanımını sınırlamaktadır.



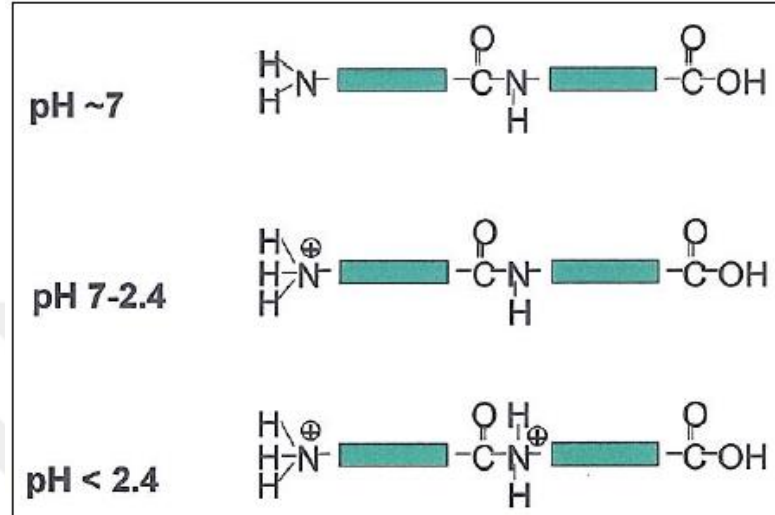
Şekil 2.22 Plasma sistemenin çalışma yöntemi

2.6. Poliamidlerin Boyama Reaksiyonu

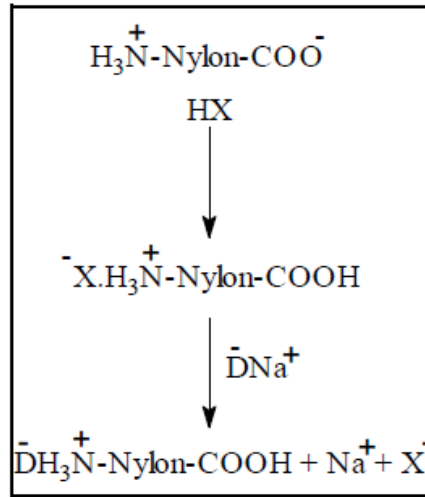
PA asit boyarmaddeeleri, krom boyarmaddeeleri, metal kompleks boyarmaddeeleri ile ve hidroforb özelliği sayesinde dispers boyarmaddeeler ile de boyanabilmektedir [40]. Bunların dışında bazı seçilmiş reaktif boyarmaddeeler ve açık renklere pigment boyalar da az da olsa kullanılabilmektedir. Poliamidlerin boyanma özellikleri birbirine benzese de birbirleri arasında derece farklılıkları vardır. Naylon liflerinde makromoleküller arası H köprüsü sayısı PA 6'ya göre daha fazla olduğu için polimer daha sıkı bir yapıdadır, bu nedenle PA 6'ya göre daha zor boyanmaktadır. Aynı miktarda boyarmadde kullanıldığında naylon, PA 6'ya göre daha açık tonda olmaktadır. Buna karşın PA 6'nın gevşek yapısı nedeniyle boyanması daha kolay olsa da, yine bu gevşek yapı nedeniyle haslıklar naylona göre daha düşük çıkmaktadır. Bu farklılıklar dışında bu iki lifin hemen hemen tüm boyama sistemleri birbirine benzemektedir [41].

PA polimerinde karboksil ve amino grupları iyonlar halindedir. Asit ilave edildiği takdirde, karboksil gruplarının disosiyasyonu azalır (+) yüklü amonyum gruplarının miktarı artar ve PA lifi katyonik karakter kazanır. Böylece polimer asit bağlanabilir yapıya gelir. Asit bağlama yeteneği pH 5'e kadar artmakla birlikte, 5-2,4 arasında sabit kaldığı literatürde yer almaktadır. pH 2,4'ün altına indiğinde ise PA'nın asit bağlama yeteneği tekrar artış göstermektedir. Çünkü bu pH'dan itibaren Şekil 2.23'den de görülebileceği üzere peptid

bağlarındaki imino grupları (-NH-) asidin protonlarını alarak (+) yüklü amido (-NH₂⁺) gruplarına dönüşmektedir [41].



Şekil 2.23 PA fonksiyonel gruplarına pH aralığının etkisi



Şekil 2.24 Poliamidin anyonik boyarmaddelerle boyanma mekanizması [42]

2.7. Konu ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Şekercioğlu ve Kaner (2014), yaptıkları çalışmada plastiklerin düşük enerji yüzey enerjisi nedeniyle boyama ve kaplama işlemlerinde boya tutuculuğu sonuçların iyi olmamasından dolayı yüzey enerjisini artırarak sonuçların iyileştiğini ve daha kaliteli boyama elde edildiğini göstermiştir. Bu çalışmada alev ile dağalama (flamaj), plazma, kimyasal aşındırma, mekanik aşındırma ve korona yöntemleri kullanılarak yüzey enerjisinin artırıldığını ve işlem sonrası boyama kalitesinin arttığı belirtilmiştir [43].

Esen ve arkadaşları (2016), plazma yöntemini kullanarak yüzey enerjisini arttırarak yaptığı çalışmada, plazma içindeki iyonlar, elektronlar ve serbest radikal grupların, enerjisi arttırılmak istenen yüzey ile etkileşime girerek yüzeyde bulunan bağlarda 150 Å değişim oluşturduğunu belirtmişlerdir. Bu etkileşim ilk aşamada üçüncül dereceden hidrojen atomlarının koparılması, ikinci aşamada ikincil derecedeki karbon atomlarına $-C-OH-$, $CO-OH$ ve $-C=O$ gibi radikal grupların bağlanması, üçüncü aşamada ise $COOH$ grupları veya radikallerin üç boyutlu çapraz bağlarla metil gruplarına bağlanmasından dolayı olduğunu bildirmiştir [44].

Mazzola ve arkadaşları (2010), alev ile dağlama (flamaj) yöntemi ile yüzey enerjisini arttırmak için yaptığı çalışmada, polimerik malzemeler üzerindeki alev uygulamalarının yüzey serbest enerjisini yani boyaların, kaplamaların, metalleşmelerin, verniklerin ve yapışkanların ıslanabilirliğini ve tutuculuğunun arttırdığını belirtmiştir ve deney tasarımı (DoE-Design of Experiment) tekniğine dayanan ileri düzey istatistiksel bir yaklaşım kullanarak ve flamaj prosesi parametrelerinin çok değişkenli analizini yaparak, malzemenin ıslanabilirliğini ve yüzey serbest enerjisinin matematiksel bir modelini elde etmiştir. Bu gelişimde veriler için temas açısı ölçümünden yararlanmıştır [45].

Phang ve arkadaşları. (2005, s.464), hazırladıkları PA12-kil nanokompozitlerin, termal ve mekanik özelliklerini ve morfolojik yapılarını incelemiştir. PA12 matrisinin termal bozunma sıcaklığının, kütlece %5 kil katkısı ile 20°C kadar arttığını bildirmişlerdir. Çekme testleri sonucunda, kütlece %5 kil katkısıyla, elastik modülün ve çekme dayanımının, sırasıyla %52 ve %67 oranında arttığını belirtmişlerdir [46] .

Serkan Soncu (2019), otomotiv plastiklerinde boyama işleminden önce uygulanan yüzey hazırlama yöntemlerinin ve plastik enjeksiyon üretiminde önemli olan parametrelerin, plastik parçalardaki yüzey enerjisi değişimine etkisi incelemiştir. Yüzey enerjisi artışı için uygulanan plazma ve dağlama yöntemlerinin etkisinin tayini için farklı tarama mesalarında ve hızlarda testler yapmıştır. Yüzey enerjisi değişiminin ölçümü için ötest mürekkepleri kullanılmıştır. Tarama mesafesinin azalmasıyla yüzey enerjisinin arttığı gözlemlenmiştir. Düşük tarama hızlarında daha yüksek yüzey enerjisi değerleri elde edildiğini belirtmiştir. Deney bulgularına göre düşük enjeksiyon hızı ve düşük enjeksiyon basıncında en uygun sonuçlar elde edilmiştir [47].

Amirhossein NASRI (2015), otomotiv endüstrisinde metal yüzeylerde uygulanan elektrostatik boyama yönteminin plastik yüzeylere de uygulanarak metal yerine plastik kullanılmasını ve araç hafifletilmesini, ve bu yöntemle daha az boya harcanmasını sağlayarak maliyet kazanımını olmasını hedeflemiştir. Poliamid malzemeye iletkenlik kazandırmak için ve elektrostatik boyama uygulanabilmesi için CNT, karbon siyahı ve karbon fiber ilavesi ile PA esaslı kompozitler oluşturularak boyama için gereken iletkenliğe ulaşmaya çalışmıştır. SEM taraması ile karbon dolguların yapıya dahil olduğunu ve homojen dağıldığını, bu dağılımı harmonizelerin karbon içeriğinin sağladığını göstermiştir. Hazırlanan kompozitin e-modülünde ve darbe dayanımlarında 23°C ve -30°C sıcaklarında artışlar gözlemlenmiştir. Bu çalışmada hazırlanan kompozitlerin mekanik özellikleri istenilen amaca uygun şekilde kalması sağlanırken, malzemeye iletkenlik kazandırıldığını ve böylece elektrostatik boyamaya uygulanabileceğini belirtmiştir [48].

Hüseyin Ünal ve Salih Hakan Yetgin (2020), PA 6 hammaddeye katkı maddesi ekleyerek PA 6 kompozitlerinin tribolojik ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Bu çalışmada PA 6'nın ve PA 6 kompozitlerinin aşınma ve sürtünme davranışları analiz edilmiş ve tartışılmıştır. Aşınma ve sürtünme davranışları 60 N, 120 N ve 180 N kuvvet uygulamalarında ve 0.5 m/s kayma hızında yapılmıştır. PA 6 polimerine ilave edilen vollastonit ve kaolin katkıları, malzemenin çekme dayanımını ve elastisite modülü değerlerini artırdığını, özgül aşınma hızı ve sürtünme katsayısı değerlerinin azaldığını belirlemiştir.

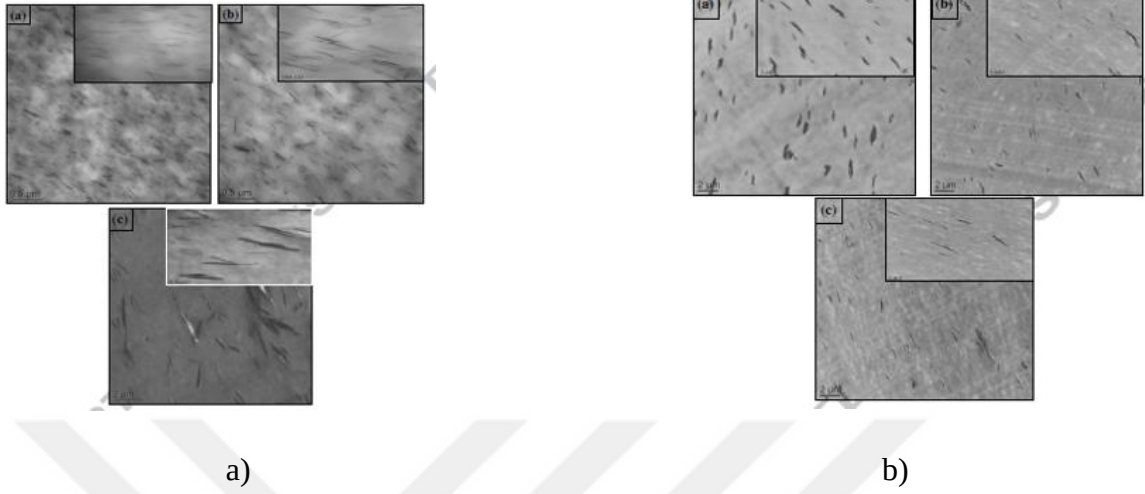
Tribolojik testlerde uygulanan kuvvetin artması ile malzemelerin sürtünme katsayılarının ve spesifik aşınma hızlarının azaldığını raporlamışlardır [49].

C. W. Extrand (2002), PA esaslı malzemenin ıslanma davranışını inceleyerek suyun temas açısının yüzeye tutunma etkisini gözlemlenmiş ve poliamid malzemenin yüzeyinin değişkenliğini azaltma çalışmalarını deneyerek daha stabil boya uygulanabilir bir yüzey oluşturmaya çalışmışlardır [50].

M. Yousfi ve çalışma ekibi (2013), PP ve PA malzemelere güçlendirici nano talk katkıları ve ticari doğal katkı ilave ederek termal mekanik ve yüzey özelliklerinin değişimi incelenmiştir. Talk partiküllerinin kristallik üzerindeki etkisi, termal ve mekanik özellikler, talkın yüzey özelliklerinin bir fonksiyonu olarak vurgulandı. Talk dolu PP sistemleri söz konusu olduğunda, hem doğal hem de sentetik talkın dahil edilmesinin polipropilen matrisinin termal stabilitesini büyük ölçüde geliştirdiği gözlemlenmiştir. En yüksek elastik modül, yüksek oranda çekirdekli doğal talk varlığında elde edilmiş, en iyi süneklik sentetik talk ile doldurulmuş PP sistemleri için gözlemlenmiştir. PA 6 talk kompozitleri için talk katmanlarının dağılımında dikkat çekici bir gelişme gösterilmiş ve hidrofilitik nanotel lameller ve polar PA 6 matrisi arasındaki yakınlık nedeniyle Young modülünde önemli bir artış belirlenmiş [51].

Tablo 2.4 Farklı talklarda su ve diiyodometan (CH_2I_2) ile temas açılarının ölçülmesiyle yüzey enerjisi tayini [51].

Sample	$\theta_{\text{water}} (^{\circ})$	$\theta_{\text{CH}_2\text{I}_2} (^{\circ})$	γ polar (mN/m)	γ dispersive (mN/m)	γ total (mN/m)
HT	34.2±1.4	48.4±1.3	29.6	35.1	64.7
HT-SiC18	55.3±3.2	43.8±1.6	15.9	37.6	53.5
A3	59.7±3.1	42.9±2.3	13.2	38.1	51.3
PP [35]	-	-	0.4	28.6	29.0
PA6 [36]	-	-	29.1	23.8	52.9



Şekil 2.25 a) PA ve b) PP bazlı nanokompozitlerin morfoljisi ve TEM görüntüleri. [51]

2.8. Kullanılan Kimyasallar

Malzeme üretimi ve deneyler esnasında kullanılan kimyasallar:

- PA 6 natural prime polimeri 74-77 aralığında K Değerine , 141-159 aralığında VN değerine sahip olup Grupa Azoty firmasından tedarik edilmektedir.
- PA 6.6 natural prime polimeri 74-77 aralığında K Değerine , 141-155 aralığında VN değerine sahip olup Invista firmasından,
- Kaolin ($\text{Al}_2(\text{OH})_4\text{Si}_2\text{O}_5$) Imerys firmasından tedarik edilmiştir.
- Lineer ve fonksiyonel Silikon yağı Terrafluid marka silikon yağı Terra firmasından tedarik edilmektedir. 0.65 cst ile 20.000.000 cst viskozite aralığında ve $-60\text{ }^\circ\text{C}$ - $300\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkları arasında çalışma imkanı sağlar.
- Sülfirik Asit (H_2SO_4) %96 saflıkta vizkozite tayinide kullanıma uygun Merck firmasından tedarik edilmiştir.
- Nitrojen gazı %99,99 saflıkta (DSC)

2.9. Kullanılan Ekipman ve Makineler

Çalışmada sunulan sonuçlar, bir dizi araştırma yöntemi ve tekniği ile elde edildi. Çalışmaya konu olan malzemeleri karakterize etmek için kullanılan ölçüm cihazları arasında Çekme ve Eğme Test cihazı, Darbe Cihazı, Nem Ölçüm Cihazı, Yoğunluk Tayini Cihazı, Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC), Fourier Transform Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR), Renk Ölçüm Cihazı (Spektrofotometre), HDT – VICAT Test Cihazı, Viskozimetre, Hassas Terazı, Kül Fırını, İklimlendirme Kabini, Ektrüder Makinesi, Enjeksiyon Makinesi, Boya Kalınlık Ölçüm cihazı, Crosscut bıçağı ve 3M Boya yapışma test bandı yer almaktadır. Kullanılan ekipman ve makinelerin ayrıntıları aşağıdaki gibidir.

2.9.1. Çekme - Eğme Cihazı

Instron marka 3367L4848 model çekme ve eğme cihazı, Zwick marka BZ020 / TN2A 131584 model çekme ve eğme cihazı kullanılmıştır.



Şekil 2.26 Çekme/Eğme testi cihazı

2.9.2. Izod&Charpy Darbe Testi Cihazı

Zwick marka HIT5.5P BPI-5.5COMC medeli darbe testi cihazı kullanılmıştır. Kullanılan çekiç 1 Joule' dür.



Şekil 2.27 Izod&Charpy darbe testi cihazı & Çentik açma cihazı

2.9.3. DSC Cihazı (Diferansiyel Taramalı Kalorimetre)

TA Instruments marka DSC Q20 model DSC kullanılmıştır.



Şekil 2.28 DSC cihazı

2.9.4. FTIR Cihazı (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)

Bruker marka Alpha model FTIR cihazı kullanılmıştır.



Şekil 2.29 FTIR (Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi)

2.9.5. Nem Ölçüm Cihazı

Sartorius marka MA 45 tip cihaz kullanılmıştır.



Şekil 2.30 Nem ölçüm cihazı

2.9.6. Yoğunluk Ölçüm Cihazı

Metlerr Toledo marka ML204T model cihaz kullanılmıştır.



Şekil 2.31 Yoğunluk ölçüm cihazı

2.9.7. Renk Ölçüm Cihazı- Spektrofotometre

X-Rite marka MA9X model renk ölçüm cihazı kullanılmıştır.



Şekil 2.32 Renk ölçüm cihazı-Spektrofotometre

2.9.8. Viskozimetre

Lauda marka Duo.Visc LMV850 model cihaz kullanılmıştır.



Şekil 2.33 Viskoizimetre

2.9.9. Kül Fırını

Protherm marka PLF 115M model fırın kullanılmıştır.



Şekil 2.34 Kül fırını

2.9.10. İklimlendirme Kabini

Nüve marka ID 301 model dolap kullanılmıştır.



Şekil 2.35 İklimlendirme dolabı

2.9.11. Boya Kalınlık Ölçüm Cihazı

BYKO-test 8500 P model boya kalınlık ölçer kullanılmıştır.



Şekil 2.36 Boya kalınlık ölçer

2.9.12. Cross cut Adhesion Test Bıçağı

TQC 3 mm aralıklı 6 bıçaklı corusscut bıçağı kullanılmıştır.



Şekil 2.37 Cross cut adhezyon bıçağı

2.9.13. Cross cut Adezyon Test Bandı

3M marka 898 model adezyob bant kullanılmıştır.



Şekil 2.38 Crosscut adhezyon bandı

2.9.14. Test Mürekkebi (Test Kalemleri)

Arcotest marka test kalemleri yüzey enerjisi ölçümlerinde kullanılmıştır.



Şekil 2.39 Yüzey enerjisi test kalemleri

2.9.15. Ekstrüder Makinesi

Coperion marka çift vidalı vida çapı x olan bu makine ile PA6 ve kaolin compounding edilerek yeni bir kompozit oluşturulmuş ve hammadde olarak kullanılması için granül hale getirilmiştir.



Şekil 2.40 Coperion çift vidalı ekstrüder

Tablo 2.5 PA compoundları üretiminde ekstrüder parametreleri

EKSTRUDER PROSES PARAMETRELERİ		
MATERIAL	PA6 + KAOLIN	PA 66 + KAOLIN
rpm	800	800
MAIN FEEDER	750	750
AMPER	30-50	30-50
MATERIAL TEMPERATURE	235-245	270-275
PRESSURE	65-75	65-75
HUMIDITY AFTER EXTRUSION	0,10%	0,10%
1. ZONE	230	260
2. ZONE	225	280
3. ZONE	220	280
4. ZONE	220	280
5. ZONE	220	280
6. ZONE	220	280
7. ZONE	220	280
8. ZONE	220	280
9. ZONE	220	280
10. ZONE	220	260
11. ZONE	220	260
12. ZONE	220	240

2.9.16. Enjeksiyon Makinesi

Arburg Marka 75 tonluk makine ile darbe , çekme - eğme, HDT-VICAT, renk ölçümü , yoğunluk testlerinin yapılabilmesi için bu teslerde belirtilen standartlara uygun test çubuk ve plakaları basılmıştır. Diğer kullanılan enjeksiyon makinesi ise ENGEL marka 500 ton kapama kuvveti olan bu makinede çalışma için hazırlanan PA 6 natural hammadde , PA 6 ve PA6.6 esaslı katkılı kompozit hammaddeler ile plastik jant kapağı üretilmiş, kapak üzerinde boyama yapılarak boyama sonrası testler ve analizler yapılmıştır. Enjeksiyon parametleri ve değerleri Şekil 2.42’de verilmiştir.



a)



b)

Şekil 2.41 a) Engel 50 Ton b) Arburg 75 Ton Enjeksiyon Makineleri

Numune hazırlarken uygulanan enjeksiyon parametreleri aşağıdaki gibidir:

ISI PROFİLİ Heat Profile (°C)						
	ADIM 1 Step 1	ADIM 2 Step 2	ADIM 3 Step 3			
ENJEKSİYON HIZI Injection Speed (ccm/sn)	55	60	70			
ENJEKSİYON BASINCI Injection Pressure (bar)	1000	900	750			
DEĞİŞİM NOKTASI Change Point (ccm)	10					
	ADIM 1 Step 1	ADIM 2 Step 2	ADIM 3 Step 3			
TUTMA/ÜTÜLEME BASINCI Holding Pressure (bar)	600	550	500			
	RAMPA ZAMANI Ramp Time	1.ZAMAN 1.Time	2.ZAMAN 2.Time			
TUTMA/ÜTÜLEME ZAMANI Holding Time (sn)	0,15	2	2			
KALIPTA SOĞUTMA ZAMANI Cooling Time in The Mold (sn)	10					
GERİ BASINÇ Back Pressure (bar)	60					
VIDA DÖNÜŞ HIZI Screw Speed RPM (m/min)	30					
TOPLAM ÇEVİRİM SÜRESİ Total Cycle Time (sn)	21					
KALIP ÇEŞİDİ Kind of Mold	ÇEKME PLAKASI Tensile Bar	DARBE PLAKASI Impact Bar	UL94 UL94 bar	RENK PLAKASI Color Plate	BÜYÜK PLAKA Big Plate	
MAL ALMA MİKTARI Material Quantity (ccm)	36	36	24	32	44	
KALIP SICAKLIĞI Mold Temperature (°C)	25					

Şekil 2.42 Numune hazırlama enjeksiyon parametreleri

Bu bilgilere göre hazırlanan deneme numuleri aşağıdaki gibidir:

Tablo 2.6 PA compoundları üretiminde ekstrüder parametreleri

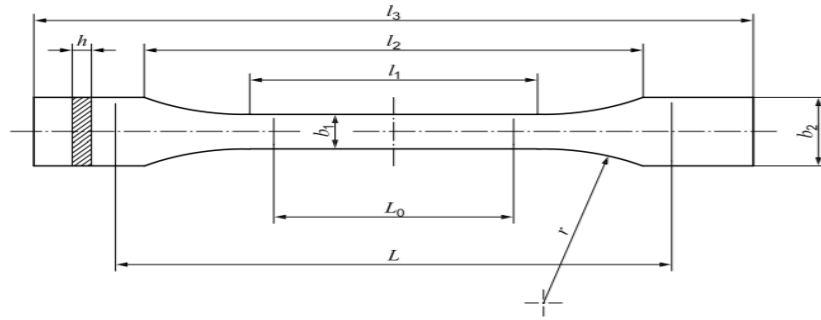
Polimer	Katkı	Denemeler
PA 6	Katkısız- Natural	D1
	%10 Kaolin	D2
	%20 Kaolin	D3
PA 6.6	Katkısız- Natural	D4
	%10 Kaolin	D5
	%20 Kaolin	D6

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. MEKANİK ÖZELLİKLER

3.1.1. Çekme - Eğme Testi

Instron Çekme Testi makinesinde D1-D2-D3-D4-D5-D6 numunelerinin testleri DIN EN ISO 527-1/-2 standartlarına uygun şekilde yapılmıştır. Enjeksiyon ile üretilen izod darbe test çubukları standarda göre 16 saat bekletildikten sonra 23 ± 2 °C, 50 ± 10 %r.F ortam şartlarında test edilmiştir. 1A tipinde basılan çekme çubukları kullanılmıştır. 5'er adet test çubuğundan yapılan testlerin ortalama sonuçları alınmıştır ve değerlendirilmiştir.



Şekil 3.1 1A tipi çekme testi çubuğu (uzunluk: 170mm, et kalınlığı 4mm)



Şekil 3.2 Çekme testi 1A tipi test çubukları

Uygulanan Kuvvet 10 N, çekme hızı 1mm/min olarak ayarlanmıştır. Bu test ile ölçülen veriler şunlardır:

Elastisite Modülü: Malzemeye uygulanan yük sonlandırıldıktan sonra malzeme orijinal haline geri döner, böylece bir numunenin sertliği ölçülebilir. Malzeme artık orijinal boyuna dönmediği noktaya gerildiğinde ve kalıcı deformasyon gösterdiğinde, Hooke Yasası (belirli sınırlar içerisinde, esnek bir cismi gerdirmek için gereken kuvvet malzemenin uzunluğundaki değişimle doğru orantılıdır) artık uygulanmaz. Bu malzeme için elastik sınır noktası olarak bilinir. Uygulan kuvvet (F) ve boy değişiminden (ΔL) Young modülü (Elastisite veya elastikiyet modülü) ölçülür.

$$E \equiv \frac{\text{Çekme gerilmesi}}{\text{Birim şekil değiştirme}} = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F/A_0}{\Delta L/L_0} = \frac{FL_0}{A_0 \Delta L} \quad (2.2)$$

E: Young katsayısı (elastikiyet katsayısı) paskal cinsinden;

F: Malzemeye uygulanan kuvvet,

A0: Kuvvetin uygulandığı birim alan,

ΔL : Malzemedeki uzunluk değişimi,

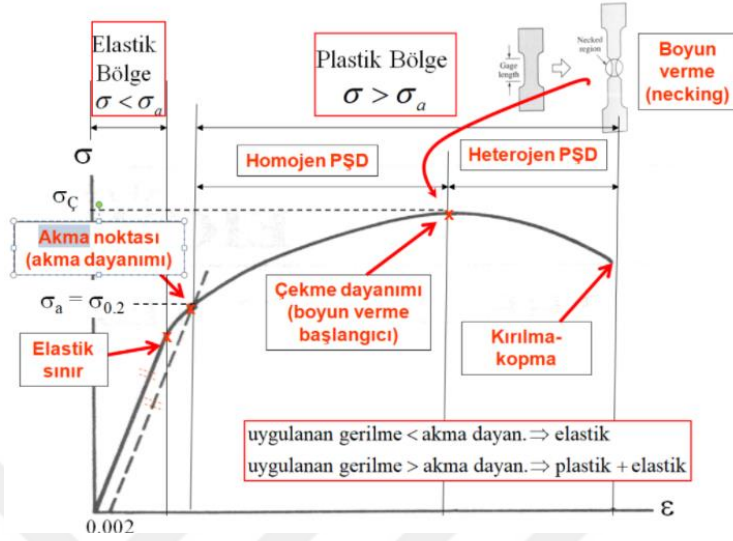
L0: Malzemenin başlangıç uzunluğu,

Çekme dayanımı: Numenin test süresi boyunca maruz kaldığı maksimum stres olarak tanımlanır.

$$\sigma_{\text{ç}} = F_{\text{maks}}/A_0 \quad (3.1)$$

Akma Dayanımı: Malzemenin test esnasında stres altındayken plastik deformasyonun olduğu noktadır.

$$\sigma_a = F_a/A_0 \quad (3.2)$$

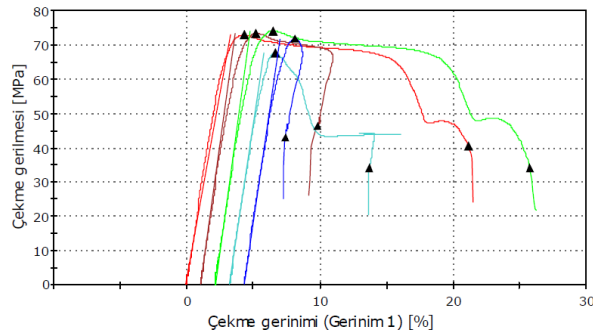


Şekil 3.3 Gerilme - Uzama Eğrisi

D1 numunesi çekme sonuçları:

Tablo 3.1 D1 numunesi çekme testi sonucu

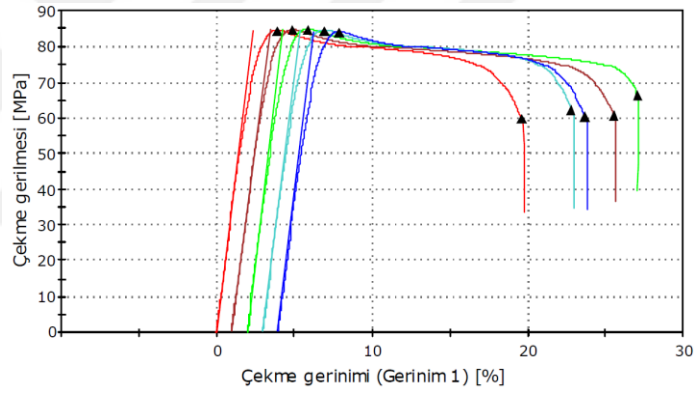
	ModülüsdeModulus (Segment 0.05 % - 0.25 %) [MPa]	Yield Stress-Akma Mukaveme ti [MPa]	Tensile strain at Yield-Akma Uzaması [%]	Tensile Strength- Çekme Mukavemeti [MPa]	Tensile strain at tensile strength- Çekme Mukavemetindeki Uzama [%]	Tensile stress at Break (Standard)-Kopma Mukavemeti [MPa]	Nominal Strain at Break-Kopma Uzaması [%]	Genipli k [mm]	Kalınlık [mm]
1	2211	73,0	4,30	73,0	4,30	40,4	14,10	9,99	3,99
2	2762	73,4	4,17	73,4	4,17	46,3	13,00	9,99	3,99
3	2731	74,1	4,34	74,1	4,34	34,2	15,59	9,99	3,99
4	2675	67,9	3,43	67,9	3,43	34,1	13,57	9,99	3,99
5	2622	-----	-----	71,9	3,87	43,0	12,09	9,99	3,99
Mean-Ortalama Değer	2600	72,1	4,06	72,0	4,02	39,6	13,67	9,99	3,99
S.D.- Standard Sapma	224,09	2,83	0,42	2,45	0,38	5,42	1,31	0,00	0,00



D2 için çekme test sonucu:

Tablo 3.2 D2 numunesi çekme testi sonucu

	ModülüsdeModulus (Segment 0.05 % - 0.25 %) [MPa]	Yield Stress- Akma Mukaveme ti [MPa]	Tensile strain at Yield-Akma Uzaması [%]	Tensile Strength- Çekme Mukavemeti [MPa]	Tensile strain at tensile strength- Çekme Mukavemetindek i Uzama [%]	Tensile stress at Break (Standard)-Kopma Mukavemeti [MPa]	Nominal Strain at Break- Kopma Uzaması [%]	Genipli k [mm]	Kalınlık [mm]
1	3561	84,4	3,94	84,4	3,94	59,8	13,86	9,99	3,99
2	3507	84,6	3,89	84,6	3,89	60,5	17,19	9,99	3,99
3	3708	84,8	3,88	84,8	3,88	66,4	18,35	9,99	3,99
4	3508	84,5	3,92	84,5	3,92	62,2	14,32	9,99	3,99
5	3591	84,0	3,94	84,0	3,94	60,3	14,06	9,99	3,99
Mean- Ortalama Değer	3575	84,5	3,91	84,5	3,91	61,9	15,56	9,99	3,99
S.D.- Standard Sapma	82,66	0,27	0,03	0,27	0,03	2,70	2,07	0,00	0,00

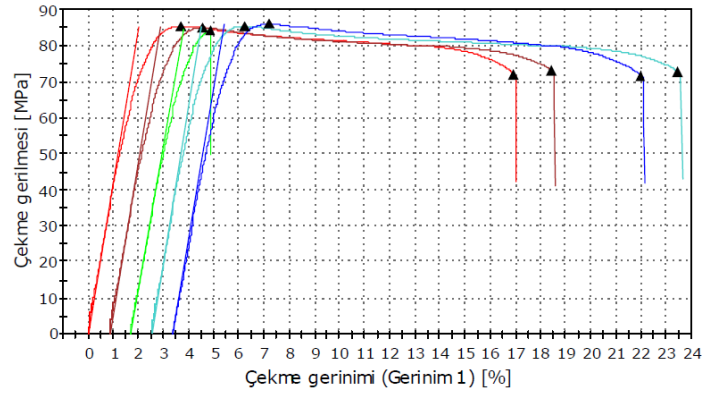


Şekil 3.5 D2 numunesi çekme gerinim grafiği

D3 için çekme test sonucu:

Tablo 3.3 D3 numunesi çekme testi sonucu

	ModülüsdeModulus (Segment 0.05 % - 0.25 %) [MPa]	Yield Stress- Akma Mukaveme ti [MPa]	Tensile strain at Yield-Akma Uzaması [%]	Tensile Strength- Çekme Mukavemeti [MPa]	Tensile strain at tensile strength- Çekme Mukavemetindek i Uzama [%]	Tensile stress at Break (Standard)-Kopma Mukavemeti [MPa]	Nominal Strain at Break- Kopma Uzaması [%]	Genipli k [mm]	Kalınlık [mm]
1	4205	85,4	3,71	85,4	3,71	72,2	12,38	9,99	3,99
2	4156	84,9	3,70	84,9	3,70	73,0	12,69	9,99	3,99
3	3980	-----	-----	84,4	3,18	84,4	3,37	9,99	3,99
4	4315	85,3	3,71	85,3	3,71	72,6	14,88	9,99	3,99
5	4223	86,1	3,80	86,1	3,80	71,6	13,49	9,99	3,99
Mean- Ortalama Değer	4176	85,4	3,73	85,2	3,62	74,8	11,36	9,99	3,99
S.D.- Standard Sapma	123,67	0,52	0,05	0,64	0,25	5,42	4,57	0,00	0,00

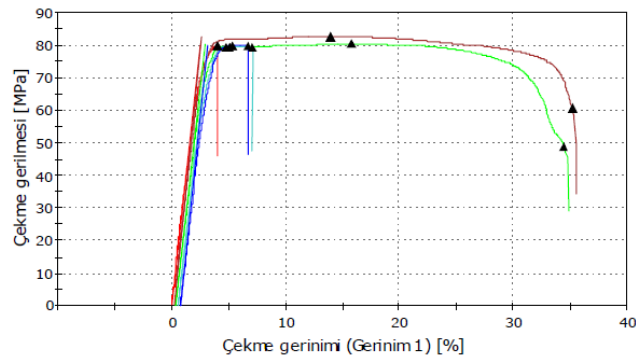


Şekil 3.6 D3 numunesi çekme gerinim grafiği

D4 için çekme test sonucu:

Tablo 3.4 D4 numunesi çekme testi sonucu

	ModülüsdeModulus (Segment 0.05 % - 0.25 %) [MPa]	Yield Stress- Akma Mukaveme ti [MPa]	Tensile strain at Yield-Akma Uzaması [%]	Tensile Strength- Çekme Mukavemeti [MPa]	Tensile strain at tensile strength- Çekme Mukavemetindek i Uzama [%]	Tensile stress at Break (Standard)-Kopma Mukavemeti [MPa]	Nominal Strain at Break- Kopma Uzaması [%]	Geni lik [mm]	Kalınlık [mm]
1	3063	79,6	4,04	79,6	4,04	79,6	4,05	9,99	3,99
2	3392	82,6	13,78	82,6	13,78	60,6	24,75	9,99	3,99
3	3161	79,5	4,40	80,5	15,45	48,7	23,23	9,99	3,99
4	3073	79,4	4,47	79,4	4,47	79,3	5,90	9,99	3,99
5	3384	79,7	4,53	79,7	4,53	79,6	5,54	9,99	3,99
Mean- Ortalama Değer	3215	80,2	6,24	80,4	8,45	69,5	12,69	9,99	3,99
S.D.- Standard Sapma	163,04	1,39	4,22	1,33	5,66	14,24	10,35	0,00	0,00

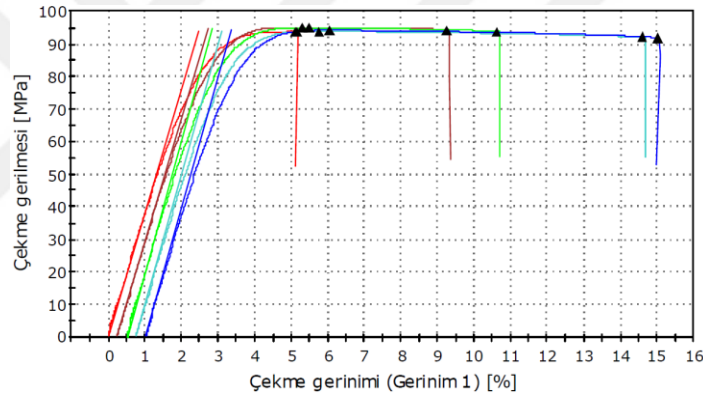


Şekil 3.7 D4 numunesi çekme gerinim grafiği

D5 için çekme test sonucu:

Tablo 3.5 D5 numunesi çekme testi sonucu

	ModülüsdeModulus (Segment 0.05 % - 0.25 %) [MPa]	Yield Stress- Akma Mukaveme ti [MPa]	Tensile strain at Yield-Akma Uzaması [%]	Tensile Strength- Çekme Mukavemeti [MPa]	Tensile strain at tensile strength- Çekme Mukavemetindek i Uzama [%]	Tensile stress at Break (Standard)-Kopma Mukavemeti [MPa]	Nominal Strain at Break- Kopma Uzaması [%]	Geni pli k [mm]	Kalınlık [mm]
1	3756	-----	-----	93,5	5,11	93,5	4,97	9,99	3,99
2	3829	95,0	5,07	95,0	5,07	94,2	7,79	9,99	3,99
3	4086	94,8	4,98	94,8	4,98	93,7	8,67	9,99	3,99
4	4000	93,7	4,97	93,7	4,97	92,1	11,14	9,99	3,99
5	4029	94,0	5,01	94,0	5,01	91,8	11,37	9,99	3,99
Mean- Ortalama Değer	3940	94,4	5,01	94,2	5,03	93,1	8,79	9,99	3,99
S.D.- Standard Sapma	140,33	0,64	0,04	0,66	0,06	1,05	2,64	0,00	0,00

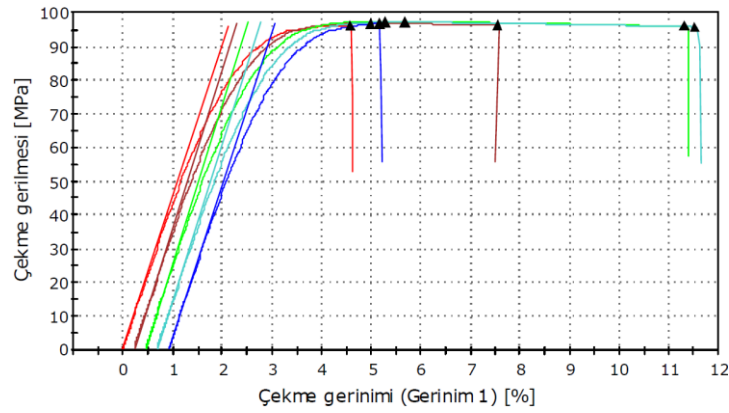


Şekil 3.8 D5 numunesi çekme gerinim grafiği

D5 için çekme test sonucu:

Tablo 3.6 D6 numunesi çekme testi sonucu

	ModülüsdeModulus (Segment 0.05 % - 0.25 %) [MPa]	Yield Stress- Akma Mukaveme ti [MPa]	Tensile strain at Yield-Akma Uzaması [%]	Tensile Strength- Çekme Mukavemeti [MPa]	Tensile strain at tensile strength- Çekme Mukavemetindek i Uzama [%]	Tensile stress at Break (Standard)-Kopma Mukavemeti [MPa]	Nominal Strain at Break- Kopma Uzaması [%]	Geni pli k [mm]	Kalınlık [mm]
1	4519	96,2	4,57	96,2	4,57	96,2	4,41	9,99	3,99
2	4667	96,9	4,74	96,9	4,74	96,3	6,54	9,99	3,99
3	4666	97,4	4,82	97,4	4,82	96,0	8,88	9,99	3,99
4	4658	97,2	4,97	97,2	4,97	95,9	8,94	9,99	3,99
5	4540	-----	-----	96,7	4,25	96,7	4,33	9,99	3,99
Mean- Ortalama Değer	4610	96,9	4,77	96,9	4,67	96,2	6,62	9,99	3,99
S.D.- Standard Sapma	73,97	0,54	0,17	0,47	0,28	0,35	2,27	0,00	0,00



Şekil 3.9 D6 numunesi çekme gerinim grafiği

Her numunenin ortalama değerleri kıyaslamak için Tablo 3.7’yi inceleyiniz.

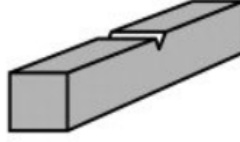
Tablo 3.7 Çekme testi değerleri ortalaması numune karşılaştırma tablosu

Numune	Modulus (Segment % 0.05 - 0.25)	Akma Mukavemeti	Akma Uzaması	Çekme Mukavemeti	Çekme Mukavemetindeki Uzama	Kopma Mukavemeti	Kopma Uzaması
	(MPa)	(MPa)	(%)	(MPa)	(%)	(MPa)	(%)
D1	2600	72,1	4,06	72	4,02	39,6	13,67
D2	3575	84,5	3,91	84,5	3,91	61,9	15,56
D3	4176	85,4	3,73	85,2	3,62	74,8	11,36
D4	3215	80,2	6,24	80,4	8,45	69,5	12,69
D5	3940	94,4	5,01	94,2	5,03	93,1	8,79
D6	4610	96,9	4,77	96,9	4,67	96,2	6,62

3.1.2. İzod & Charpy Darbe Testi

3.1.2.1. İzod Darbe Testi (Çentikli)

Zwick Roell İzod Charpy Testi cihazında ISO 180 standartında göre test gerçekleştirilmiştir. Test 1 J’luk çekiç kullanılarak yapılmıştır. Enjeksiyon ile üretilen izod darbe test çubukları standarda göre 16 saat bekletildikten sonra 23 ± 2 °C, 50 ± 10 %r.F ortam şartlarında test edilmiştir. Zwick çentik açma cihazı ile standarda uygun şekilde test numuneleri hazırlanmıştır. 2 mm derinliğinde çentik açılmıştır. 5 adet numuneden test yapıp ortalama değerler üzerinden karşılaştırm ve değerlendirme yapılmıştır.



Şekil 3.10 Çentikli İzod Darbe Test Çubuğu (Boyut: 80x10x4 mm)



Şekil 3.11 İzod Çentikli Darbe Test Çubukları

Darbe mukavemeti hesabı aşağıdaki gibi yapılır:

$$a_{iN} = (W_C / h \times b) 10^3 \quad (3.3)$$

a_{iN} : Metrekare başına kilojul cinsinden İzod darbe mukavemeti

W : test numunesinin kırılmasıyla absorbe edilen, joule cinsinden düzeltilmiş enerjidir;

h : test numunesinin milimetre cinsinden kalınlığıdır;

b_N : test örneğinin milimetre cinsinden kalan genişliğidir.

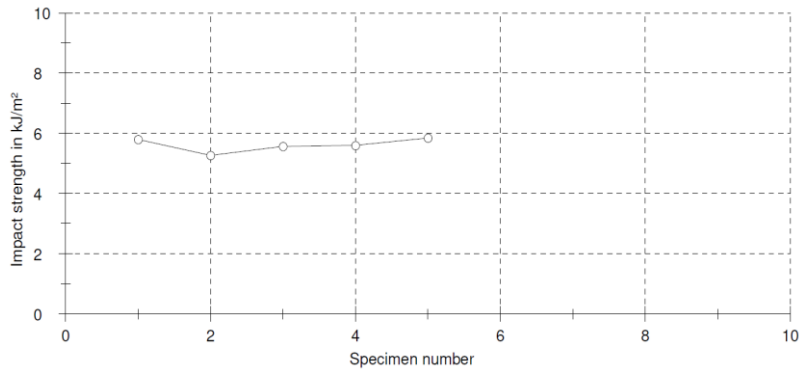
D1 için İzod çentikli darbe sonucu:

Tablo 3.8 D1 numunesi izod çentikli darbe testi sonucu

Nr	Series name	bN	b	h	W	W(%)	ak	Type of failure
		mm	mm	mm	J	%	kJ/m ²	
1	TEZ PA 6 KATKISIZ IZOD CENTIKLI DARBE	8	10	4	0.18553	18.6	5.80	-
2		8	10	4	0.16854	16.9	5.20	-
3		8	10	4	0.17810	17.8	5.27	-
4		8	10	4	0.17884	17.9	5.59	-
5		8	10	4	0.18703	18.7	5.84	-

Statistics (n =5)

$\bar{x}$	8	10	4	0.17961	18.0	5.61	-
s	0	0	0	0.00734	0.7	0.23	-
V	0	0	0	4.09	4.09	4.09	-



Şekil 3.12 D1 numunesi 5 adet numune için izod darbe kuvveti grafiği

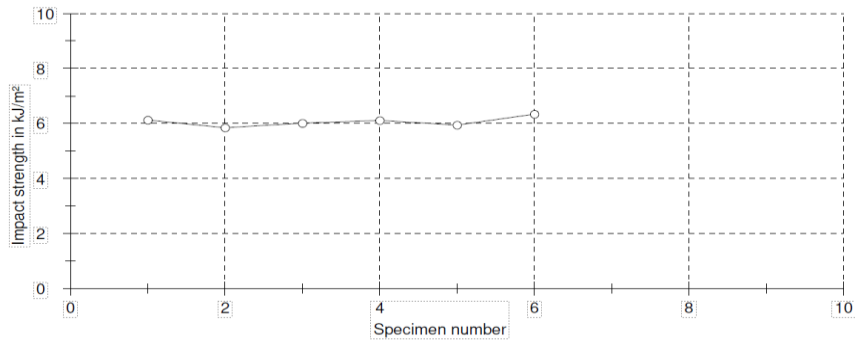
D2 için İzod çentikli darbe sonucu:

Tablo 3.9 D2 numunesi izod çentikli darbe testi sonucu

Nr	Series name	bN	b	h	W	W(%)	ak	Type of failure
		mm	mm	mm	J	%	kJ/m ²	
1	TEZ PA 6 KATKISIZ IZOD CENTIKLI DARBE	8	10	4	0.19605	19.6	6.13	-
2		8	10	4	0.18703	18.7	5.84	-
3		8	10	4	0.19228	19.2	6.01	-
4		8	10	4	0.19529	19.5	6.10	-
5		8	10	4	0.19002	19.0	5.94	-

Statistics (n =5)

$\bar{x}$	8	10	4	0.19213	19.2	6.00	-
s	0	0	0	0.00734	0.6	0.17	-
V	0	0	0	2.84	2.84	2.84	-



Şekil 3.13 D2 numunesi 5 adet numune için izod darbe kuvveti grafiği

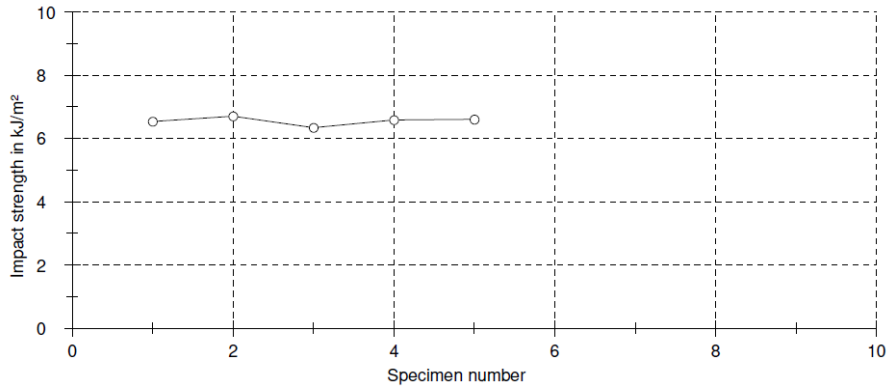
D3 için İzod çentikli darbe sonucu:

Tablo 3.10 D3 numunesi izod çentikli darbe testi sonucu

Nr	Series name	bN	b	h	W	W(%)	ak	Type of failure
		mm	mm	mm	J	%	kJ/m ²	
1	TEZ PA 6 KATKISIZ IZOD CENTIKLI DARBE	8	10	4	0.20898	20.9	6.53	-
2		8	10	4	0.21435	21.4	6.70	-
3		8	10	4	0.20287	20.3	6.34	-
4		8	10	4	0.21051	21.1	6.58	-
5		8	10	4	0.21128	21.1	6.60	-

Statistics (n =5)

$\bar{x}$	8	10	4	0.20960	21.0	6.55	-
s	0	0	0	0.00424	0.4	0.13	-
V	0	0	0	2.02	2.02	2.02	-



Şekil 3.14 D3 numunesi 5 adet numune için izod darbe kuvveti grafiği

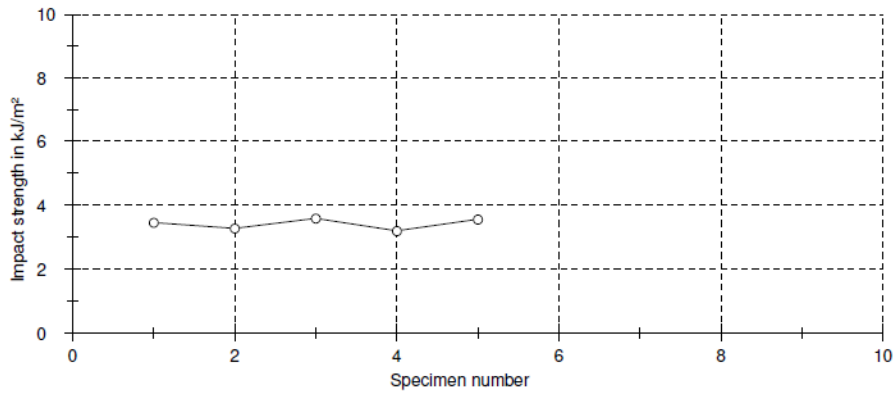
D4 için izod çentikli darbe sonuçları:

Tablo 3.11 D4 numunesi izod çentikli darbe testi sonucu

Nr	Series name	bN	b	h	W	W(%)	ak	Type of failure
		mm	mm	mm	J	%	kJ/m ²	
1	TEZ PA 6.6 KATKISZ IZOD CENTIKLI DARBE	8	10	4	0,11040	11,0	3,45	-
2		8	10	4	0,10443	10,4	3,26	-
3		8	10	4	0,11442	11,4	3,58	-
4		8	10	4	0,10179	10,2	3,18	-
5		8	10	4	0,11375	11,4	3,55	-

Statistics (n =5)

$\bar{x}$	8	10	4	0,10896	10,9	3,40	-
s	0	0	0	0,00563	0,60	0,18	-
V	0	0	0	5,17	5,17	5,17	-



Şekil 3.15 D4 numunesi 5 adet numune için izod darbe kuvveti grafiği

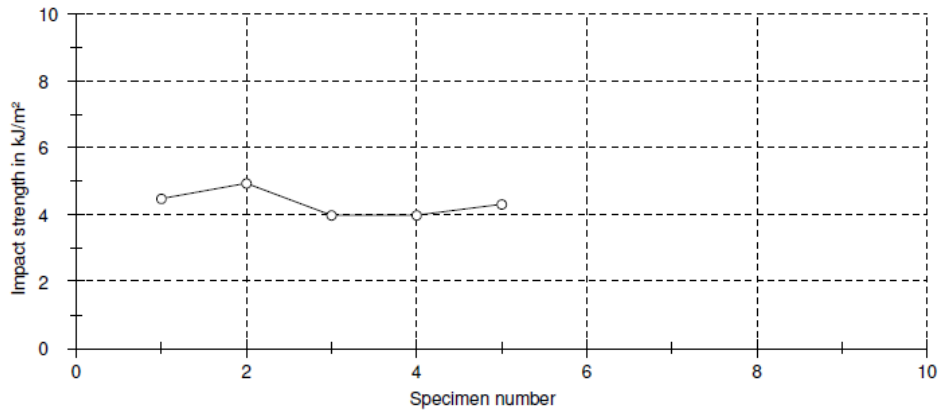
D5 için izod çentikli darbe sonuçları:

Tablo 3.12 D5 numunesi izod çentikli darbe testi sonucu

Nr	Series name	bN	b	h	W	W(%)	ak	Type of failure
		mm	mm	mm	J	%	kJ/m ²	
1	TEZ PA 6.6 % 20 KAOLIN IZOD CENTIKLI DARBE	8	10	4	0,14338	14,3	4,48	-
2		8	10	4	0,15765	15,8	4,93	-
3		8	10	4	0,12735	12,7	3,98	-
4		8	10	4	0,12735	12,7	3,98	-
5		8	10	4	0,13776	13,8	4,31	-

Statistics (n =5)

$\bar{x}$	8	10	4	0,1387	13,9	4,33	-
s	0	0	0	0,01264	1,30	0,40	-
V	0	0	0	9,12	9,12	9,12	-



Şekil 3.16 D5 numunesi 5 adet numune için izod darbe kuvveti grafiği

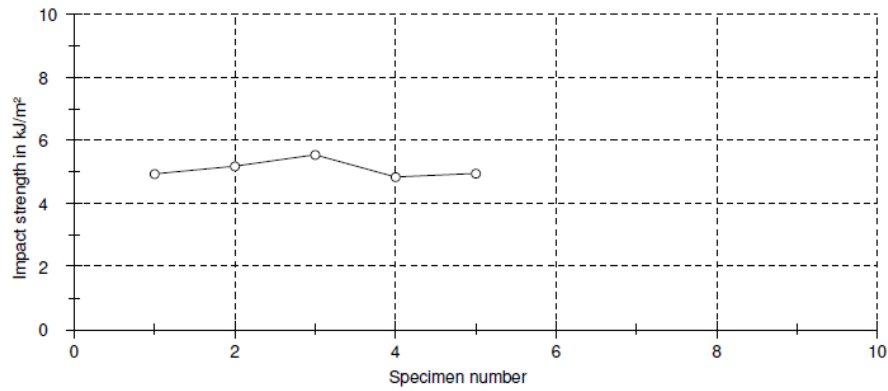
D6 için izod çentikli darbe sonuçları:

Tablo 3.13 D6 numunesi izod çentikli darbe testi sonucu

Nr	Series name	bN	b	h	W	W(%)	ak	Type of failure
		mm	mm	mm	J	%	kJ/m ²	
1	TEZ PA 6.6 % 20 KAOLIN IZOD CENTIKLI DARBE	8	10	4	0,15765	15,8	4,93	-
2		8	10	4	0,16562	16,6	5,18	-
3		8	10	4	0,17736	17,7	5,54	-
4		8	10	4	0,15477	15,5	4,84	-
5		8	10	4	0,15837	15,8	4,95	-

Statistics (n =5)

$\bar{x}$	8	10	4	0,16275	16,3	5,09	-
s	0	0	0	0,00909	0,9	0,28	-
V	0	0	0	5,59	5,59	5,59	-



Şekil 3.17 D6 numunesi 5 adet numune için izod darbe kuvveti grafiği

3.1.2.2. Charpy Çentikli Darbe Testi

Zwick Roell İzod Charpy Testi cihazında ISO 179-1/1 e B standartında göre test gerçekleştirilmiştir. Test 1 J'luk çekiç kullanılarak yapılmıştır. Enjeksiyon ile üretilen charpy

darbe test çubukları standarda göre 16 saat bekletildikten sonra 23 ± 2 °C, 50 ± 10 %r.F ortam şartlarında test edilmiştir. Zwick çentik açma cihazı ile standarda uygun şekilde test numuneleri hazırlanmıştır. 2 mm derinliğinde çentik açılmıştır.(bkz:Şekil 3.10) 5 adet numuneden test yapıp ortalama değerler üzerinden karşılaştırma ve değerlendirme yapılmıştır.

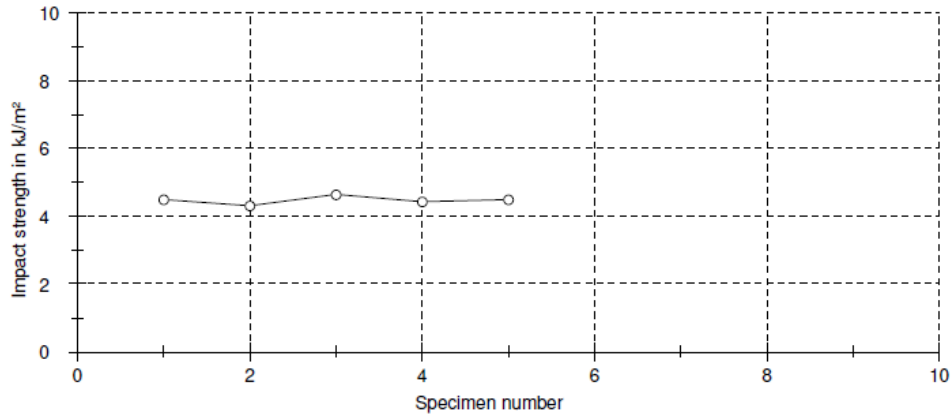
D1 için charpy çentikli darbe sonuçları:

Tablo 3.14 D1 numunesi charpy çentikli darbe testi sonucu

Nr	Series name	bN	b	h	W	W(%)	ak	Type of failure
		mm	mm	mm	J	%	kJ/m ²	
1	TEZ PA 6 KATKISIZ CHARPY CENTIKLI DARBE	8	10	4	0,14371	14,4	4,49	-
2		8	10	4	0,1377	13,8	4,3	-
3		8	10	4	0,14853	14,9	4,64	-
4		8	10	4	0,14130	14,1	4,42	-
5		8	10	4	0,14371	14,4	4,49	-

Statistics (n =5)

$\bar{x}$	8	10	4	0,14299	14,3	4,47	-
s	0	0	0	0,00396	0,40	0,12	-
V	0	0	0	2,77	2,77	2,77	-



Şekil 3.18 D1 numunesi 5 adet numune için charpy darbe kuvveti grafiği

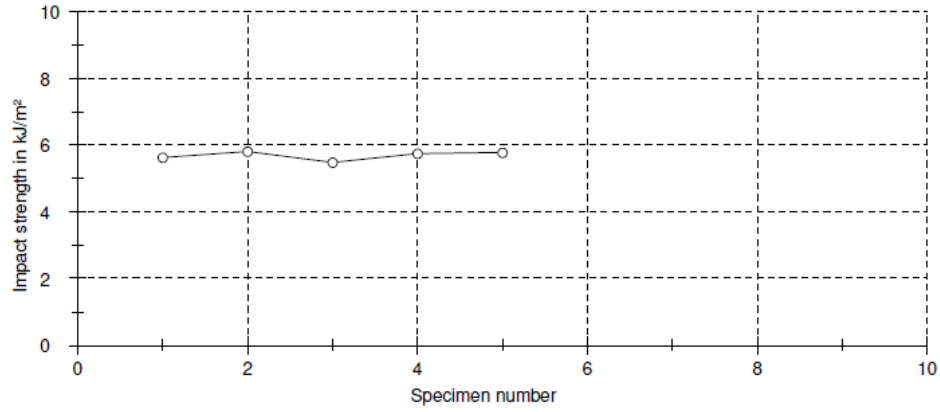
D2 için charpy çentikli darbe sonuçları:

Tablo 3.15 D2 numunesi charpy çentikli darbe testi sonucu

Nr	Series name	bN	b	h	W	W(%)	ak	Type of failure
		mm	mm	mm	J	%	kJ/m²	
1	TEZ PA 6 % 10 KAOLIN CHARPY CENTIKLI DARBE	8	10	4	0,1799	18,0	5,62	-
2		8	10	4	0,18594	18,6	5,81	-
3		8	10	4	0,17507	17,5	5,47	-
4		8	10	4	0,18352	18,4	5,74	-
5		8	10	4	0,18473	18,5	5,77	-

Statistics (n =5)

$\bar{x}$	8	10	4	0,18183	18,2	5,68	-
s	0	0	0	0,00441	0,40	0,14	-
V	0	0	0	2,42	2,42	2,42	-



Şekil 3.19 D2 numunesi 5 adet numune için charpy darbe kuvveti grafiği

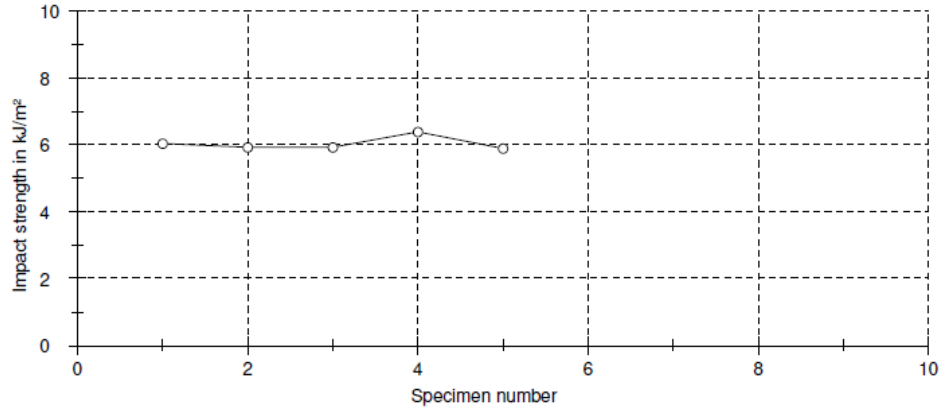
D3 için charpy çentikli darbe sonuçları:

Tablo 3.16 D3 numunesi charpy çentikli darbe testi sonucu

Nr	Series name	bN	b	h	W	W(%)	ak	Type of failure
		mm	mm	mm	J	%	kJ/m²	
1	TEZ PA 6 % 20	8	10	4	0,1932	19,3	6,04	-
2	KAOLIN CHARPY	8	10	4	0,18957	19,0	5,92	-
3	CENTIKLI DARBE	8	10	4	0,18957	19,0	5,92	-
4		8	10	4	0,20408	20,4	6,38	-
5		8	10	4	0,18836	18,8	5,89	-

Statistics (n =5)

$\bar{x}$	8	10	4	0,19295	19,3	6,03	-
s	0	0	0	0,00648	0,60	0,20	-
V	0	0	0	3,36	3,36	3,36	-



Şekil 3.20 D3 numunesi 5 adet numune için charpy darbe kuvveti grafiği

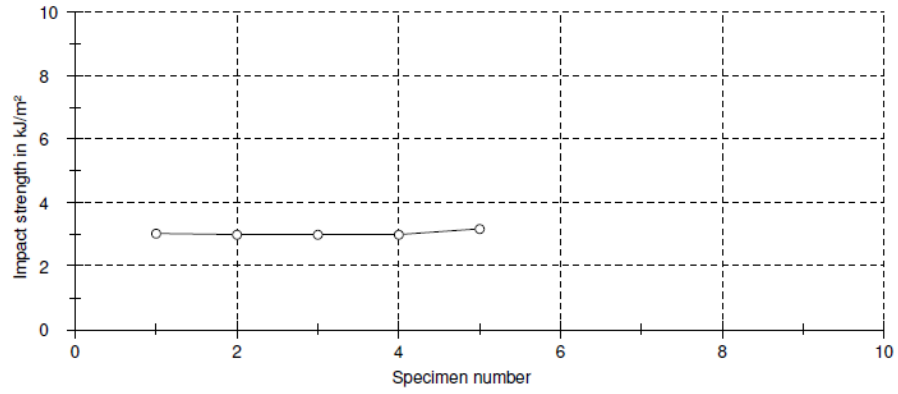
D4 için charpy çentikli darbe sonuçları:

Tablo 3.17 D4 numunesi charpy çentikli darbe testi sonucu

Nr	Series name	bN	b	h	W	W(%)	ak	Type of failure
		mm	mm	mm	J	%	kJ/m²	
1	TEZ PA 6.6 KATKISIZ CHARPY CENTIKLI DARBE	8	10	4	0,09695	9,7	3,03	-
2		8	10	4	0,09576	9,6	2,99	-
3		8	10	4	0,09576	9,6	2,99	-
4		8	10	4	0,09576	9,6	2,99	-
5		8	10	4	0,10173	10,2	3,18	-

Statistics (n =5)

$\bar{x}$	8	10	4	0,09719	9,7	3,04	-
s	0	0	0	0,00259	0,3	0,08	-
V	0	0	0	2,66	2,66	2,66	-



Şekil 3.21 D4 numunesi 5 adet numune için charpy darbe kuvveti grafiği

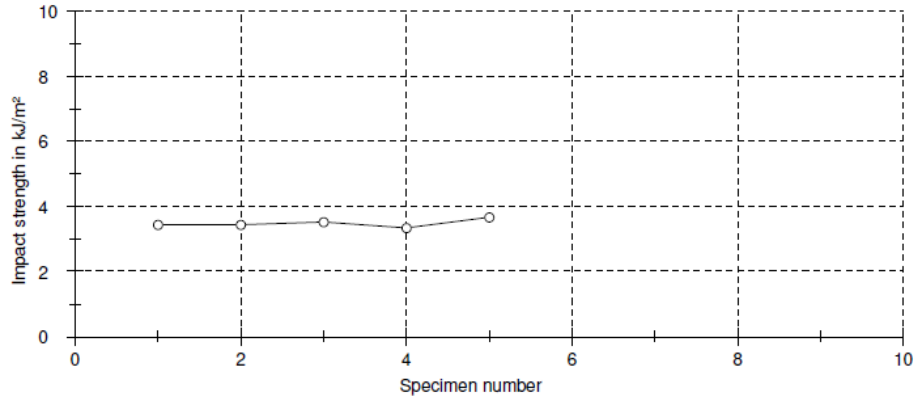
D5 için charpy çentikli darbe sonuçları:

Tablo 3.18 D5 numunesi charpy çentikli darbe testi sonucu

Nr	Series name	bN	b	h	W	W(%)	ak	Type of failure
		mm	mm	mm	J	%	kJ/m²	
1	TEZ PA 6.6 % 10	8	10	4	0,11010	11,0	3,44	-
2	KAOLIN CHARPY CENTIKLI DARBE	8	10	4	0,11010	11,0	3,44	-
3		8	10	4	0,11249	11,2	3,52	-
4		8	10	4	0,10651	10,7	3,33	-
5		8	10	4	0,11729	11,7	3,67	-

Statistics (n =5)

$\bar{x}$	8	10	4	0,1113	11,1	3,48	-
s	0	0	0	0,00397	0,40	0,12	-
V	0	0	0	3,57	3,57	3,57	-



Şekil 3.22 D5 numunesi 5 adet numune için charpy darbe kuvveti grafiği

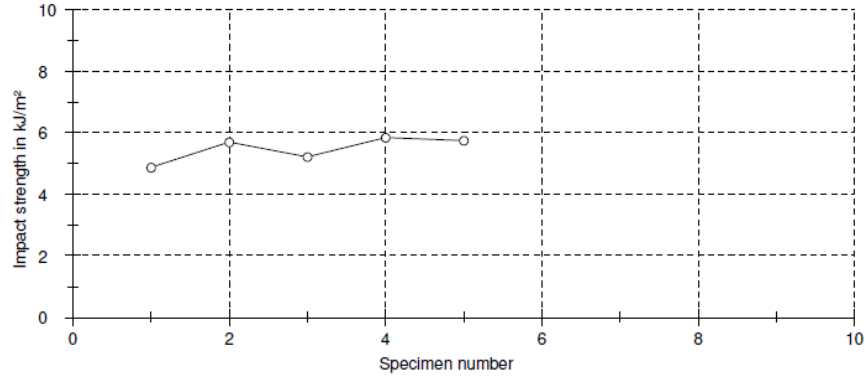
D6 için charpy çentikli darbe sonuçları:

Tablo 3.19 D6 numunesi charpy çentikli darbe testi sonucu

Nr	Series name	bN	b	h	W	W(%)	ak	Type of failure
		mm	mm	mm	J	%	kJ/m²	
1	TEZ PA 6.6 % 20	8	10	4	0,15576	15,6	4,87	-
2	KAOLIN CHARPY ÇENTIKLİ DARBE	8	10	4	0,18231	18,2	5,70	-
3		8	10	4	0,16661	16,7	5,21	-
4		8	10	4	0,18715	18,7	5,85	-
5		8	10	4	0,18352	18,4	5,74	-

Statistics (n =5)

$\bar{x}$	8	10	4	0,17507	17,5	5,47	-
s	0	0	0	0,01336	0,6	0,42	-
V	0	0	0	7,63	7,63	7,63	-



Şekil 3.23 D6 numunesi charpy çentikli darbe testi sonucu

3.1.3 Yoğunluk Tayini

Gravimetrik, kaldırma kuvveti metodu ile ISO 1183-1 standardına göre yoğunluk tayini yapılmıştır. Arşimet'in prensibine göre, tamamı veya bir kısmı sıvıya daldırılan bir madde kendisini yukarıya iten bir kaldırma kuvvetiyle karşılaşır. Maddenin yerine geçen sıvının ağırlığı, bu kuvvetin büyüklüğüne eşittir. Katı madde önce üst kısımda bulunan kefedede havada tartılır, sonra yoğunluğunu bilinen sıvının içerisindeki kefedede tartılır (bkz:Şekil 3.24). Bu tartım sonuçlarına göre yoğunluk şu formül ile hesaplanır:

$$\rho = \frac{A}{A-B} (\rho_0 - \rho_L) + \rho_L \quad (3.4)$$

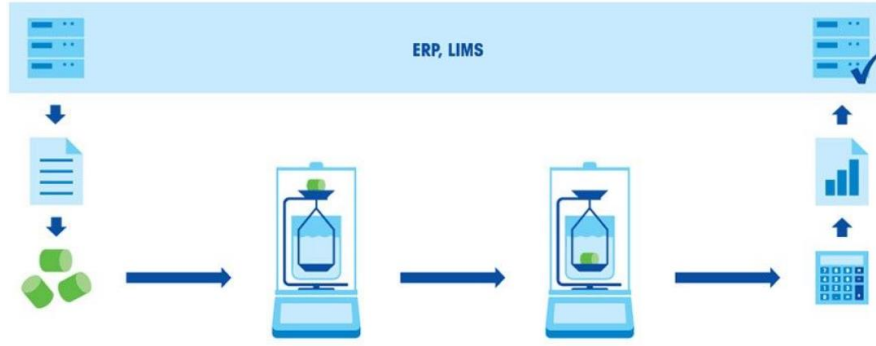
ρ = Analiz edilecek numunenin yoğunluğu

A = Analiz edilecek numunenin numunenin havadaki ağırlığı

B = Analiz edilecek numunenin numunenin yardımcı sıvıdaki ağırlığı

ρ_0 = Yardımcı sıvının yoğunluğu

ρ_L = Havanın yoğunluğu



Şekil 3.24 Gravimetrik, kaldırma kuvveti metodu

Yukarıda belirtilen metot ve formüle göre yapılan deney bulguları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 3.20 Numunelere ait yoğunluk tayini sonuçları

Nr	Numune Adı	Yoğunluk (g/cm ³)
D1	PA 6 Katkısız	1,1327
D2	PA 6 %10 Kaolin	1,1805
D3	PA 6 %20 Kaolin	1,2745
D4	PA 6.6 Katkısız	1,1392
D5	PA 6.6 %10 Kaolin	1,2081
D6	PA 6.6 %20 Kaolin	1,2811

3.1.4. Viskozite Tayini

PA malzeme erime sıcaklığının yüksek olması nedeniyle MFI ölçümü sağlıklı yapılamamasından kaynaklı PA esaslı malzemelerin akışkanlığı viskozimetre ile ölçülmektedir. ISO 307 standartlarına göre ölçüm yapılmıştır. katkı ilaveli malzemelerden numune alırken katkı yüzdeleri hesaba katılmıştır. Viskozite numarası aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır.

$$VN = \left(\frac{\eta}{\eta_0} - 1 \right) \times 1/c \quad (3.5)$$

η :cinsinden belirli bir çözücü içindeki polimer çözeltisinin viskozitesi (Pa/s veya N/m²s),

η_0 : çözücü viskozitesi (aynı birimle ifade edilir),

η/η_0 : belirli bir çözücü içindeki bir polimer çözeltisinin nispi viskozitesi,

c çözeltideki polimerin g/ml cinsinden konsantrasyonudur,

VN: viskozite numarası ml/g cinsinden ifade edilir.

Hazırlamış olduğumuz numunler viskozimetre cihazında tes edilmiş cihaz tarafından otomatik hesaplan değerler elde edilmiştir. Tes sonuçları Tablo 3.21’de verilmiştir.

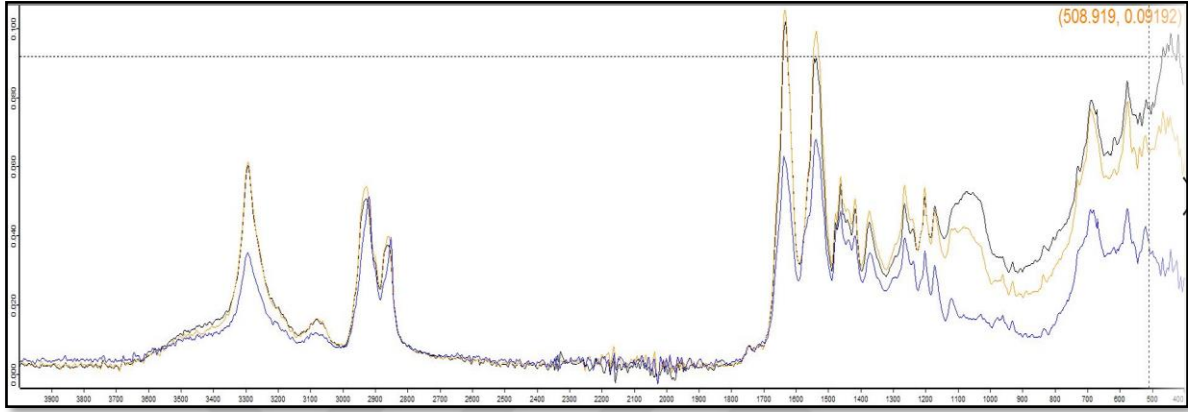
Tablo 3.21 Numune K değerleri ve viskozite numarası sonuçları

Numune No	Numune Adı	K Değeri %	Viskozite No mL/g
D1	PA 6 Katkısız	75,40	147,0
D2	PA 6 %10 Kaolin	75,79	175,0
D3	PA 6 %20 Kaolin	75,50	174,2
D4	PA 6.6 Katkısız	75,60	148,0
D5	PA 6.6 %10 Kaolin	75,19	173,6
D6	PA 6.6 %20 Kaolin	74,02	170,9

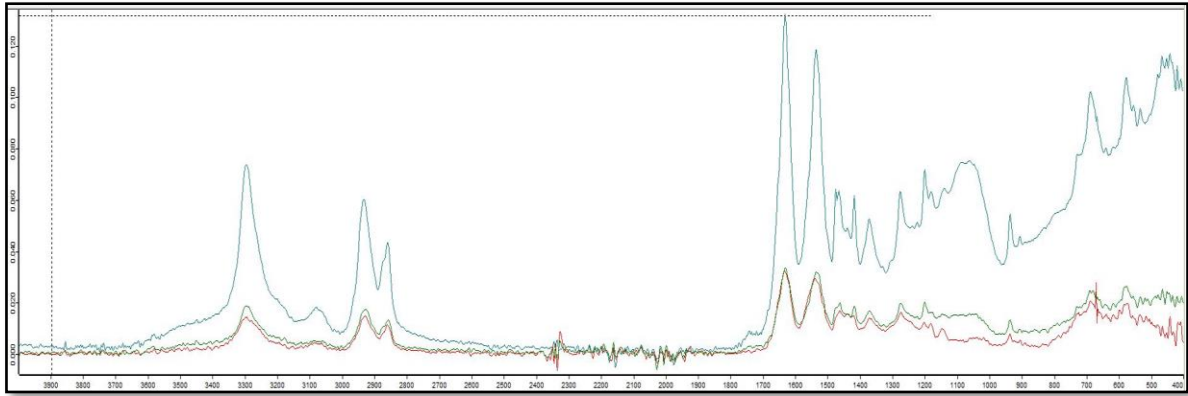
3.1.5. FTIR (Foruier Transform Infrared) Analizi

Kızılötesi spektroskopisi (IR), molekülün elektromanyetik spektrumun kızılötesi bölgesindeki ışığı absorblayarak, moleküler titreşime dönüştürmesine dayanır. Bu absorpsiyon, bir numunede bulunan kimyasal bağların doğasının özelliğidir ayrıca bu absorpsiyon dalga boyunun bir fonksiyonu olarak ölçülür (tipik olarak 4000 - 600 cm⁻¹ arasındaki dalga sayıları olarak). Sonuç olarak, organik ve inorganik numuneleri tanımlamak için kullanılabilen karakteristik bir "moleküler parmak izi" işlevi gören bir kızılötesi spektrumudur. FTIR yönteminde öncelikle IR spektrumuna dönüştürülmesi için interferogram (ham sinyal) elde edilir. Bu interferogramı, ışık yoğunluğunu dalga boyunun bir fonksiyonu olarak değil, interferometre içindeki bir aynanın konumunun bir fonksiyonu olarak temsil eder.Yani foruier dönüştürme yapılır. Metot adını da buradan almaktadır. Oluşan spektrumlar bu spektrumlar önemli ölçüde daha yüksek bir sinyal-gürültü oranı gösterir ve dalga boyu ölçeği çok hassas bir lazerle kalibre edildiğinden, çok daha yüksek dalga boyu doğruluğuna sahiptir.

Testler ISO 10650:2011 standardına göre yapılmıştır. Bu yöntem ile hazırlamış olduğum compund hammaddelerin cihaz kütüphanesinde bulunan PA 6 ve PA 6.6. ile farkları incelenmiştir.



Şekil 3.25 PA 6 (mavi), PA 6 + %10 Kaolin (sarı) , PA 6 + %20 Kaolin (siyah) malzemelerin FTIR görüntüleri



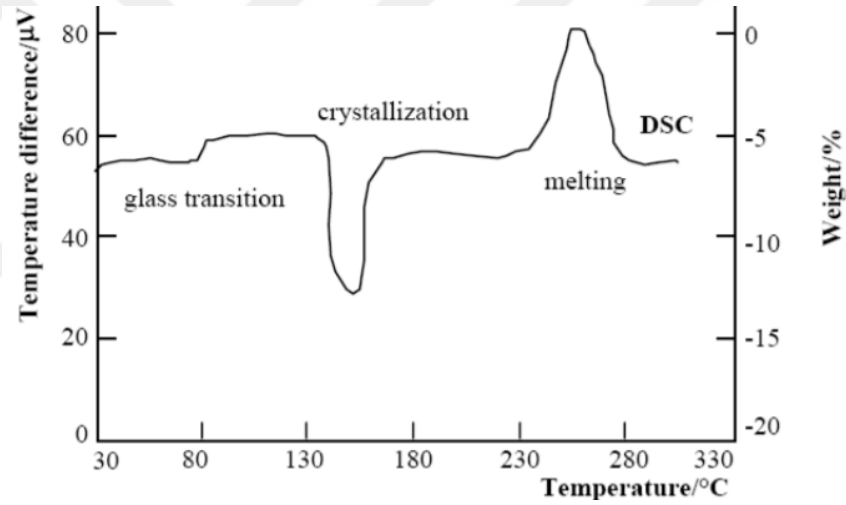
Şekil 3.26 PA 6.6 (kırmızı), PA 6.6 + %10 Kaolin (yeşil) , PA 6.6 + %20 Kaolin (yeşil) malzemelerin FTIR görüntüleri

3.1.4. DSC (Diferential Scannig Calorimetry) Analizi

DSC (Diferansiyel Taramalı Kalorimetre), termoanalitik bir yöntemdir. Numune sıcaklığı artarken, azalırken veya sıcaklık sabit tutulurken absorblanan(endotermik) veya açığa

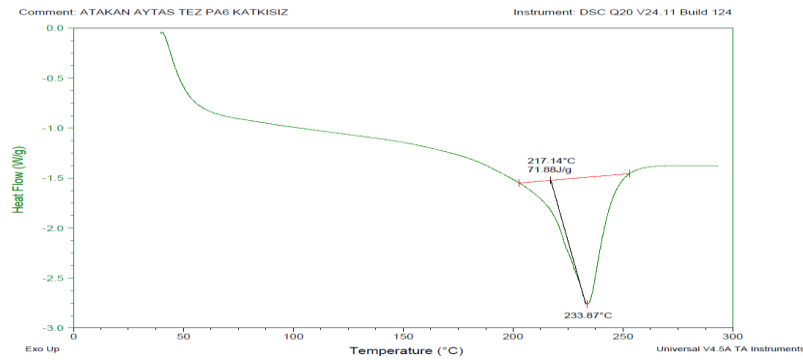
çıkan(ekzotermik) enerji miktarını ölçer. Bu metotta, referans ile numunede aynı sıcaklıklara maruz kalır, ikisinden de açığa çıkan ısı farkı zamana ve sıcaklığa bağlı olarak gösterilir. Numune ile referans arasında bir sıcaklık farkı tespit edilirse, sıcaklığı aynı tutmak için sıcaklık azaltılarak veya artırılarak numuneye verilen enerji miktarı değiştirilir. Bu yöntemle numunedeki faz değişimi esnasındaki ısı transferi değeri tespit edilebilir.

Bu analizde polimerlerin kendilerine has Camı Geçiş Sıcaklığı (Tg), Kristalleşme Sıcaklığı (Tc) ve Erime sıcaklığı ölçülür. Bu sayede malzemenin ne olduğu ve eğer katkı varsa kalan kül ağırlına göre de yüzde kaç katkı olduğu yaklaşık olarak analiz edilebilir. ISO 11357 standartlarına göre testler yapılmıştır. 10 mg'lık numuneler kullanılmıştır.

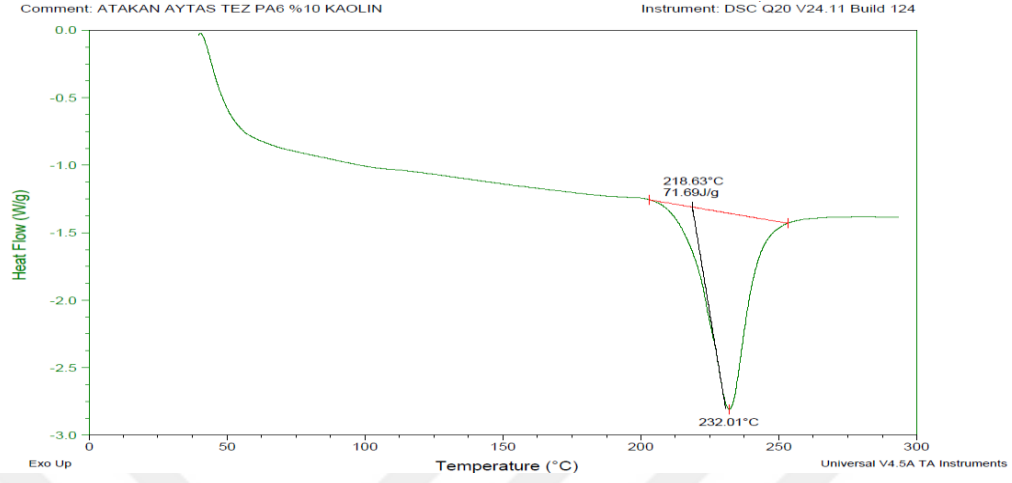


Şekil 3.27 DSC analizi sonucunda elde edilen grafik görünümü

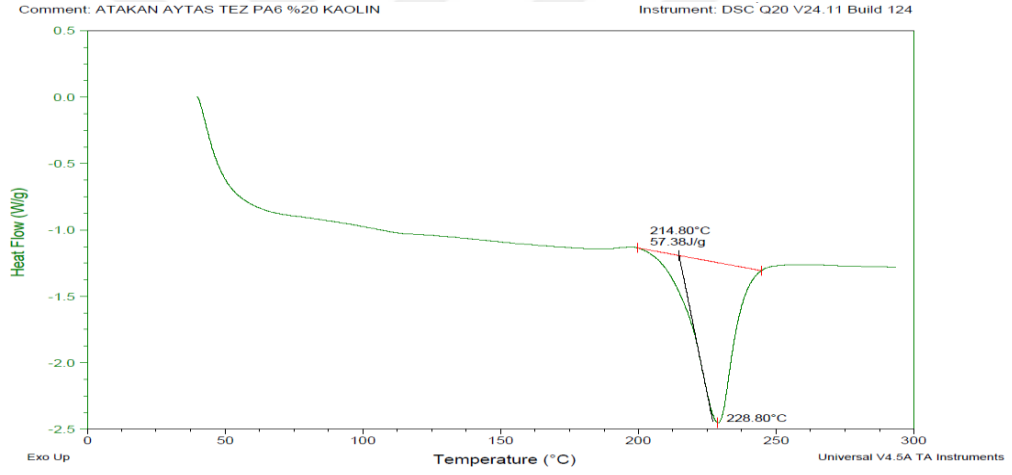
Yapılan test sonucunda numunelere ait DSC grafikleri aşağıdadır.



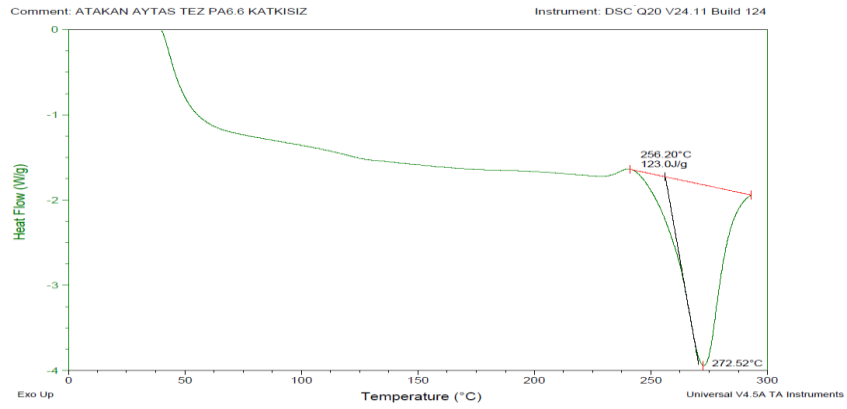
Şekil 3.28 D1 numunesi DSC analiz sonucu



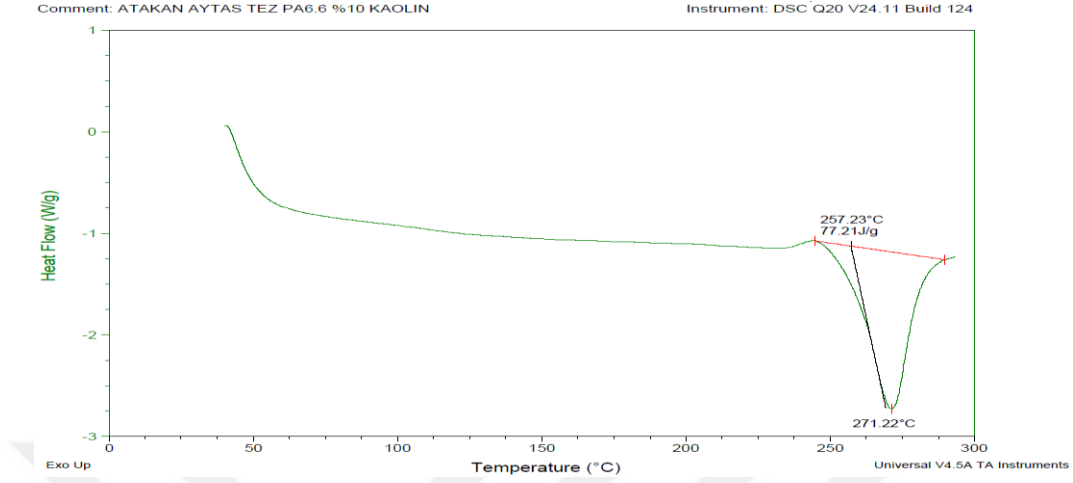
Şekil 3.29 D2 numunesi DSC analiz sonucu



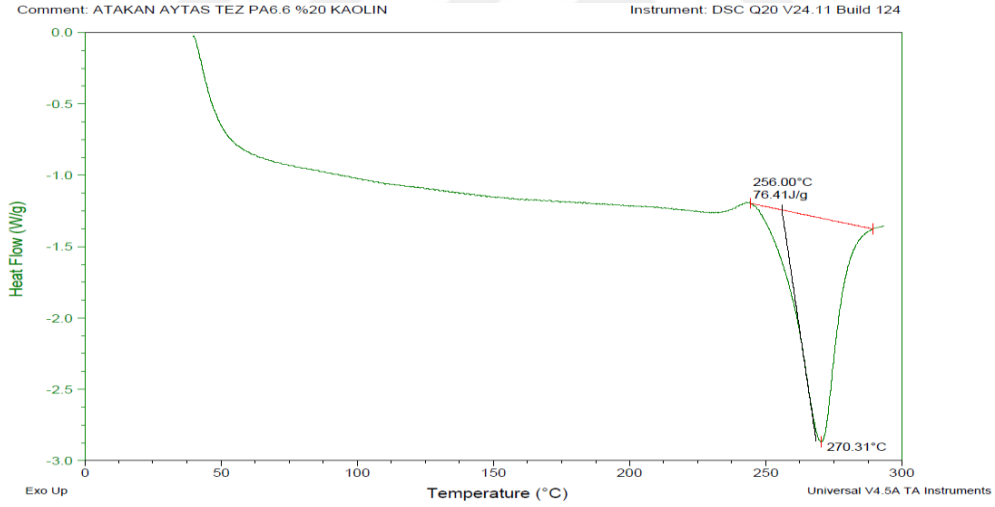
Şekil 3.30 D3 numunesi DSC analiz sonucu



Şekil 3.31 D4 numunesi DSC analiz sonucu



Şekil 3.32 D5 numunesi DSC analiz sonucu



Şekil 3.33 D6 numunesi DSC analiz sonucu

3.1.5. Kül Tayini

Organik maddenin yakılması ve kalıntının sabit kütleye ulaşılana kadar yüksek sıcaklıkta ısıtılması yani kalsinasyon ile gerçekleştirilir. ISO 3451-1 standardına göre testler gerçekleştirilmiştir. Metal kroze, kül fırını, hassas terazi, maşa ve yanmaya dayanıklı eldiven kullanılmıştır. Analiz için Tablo3.22’de tahmini beklenen kül miktarına göre 2’şer gram kadar numunelerden tartım alınmıştır. Sıcaklık 850 ± 50 °C’ye ayarlanmıştır.

Yüzde olarak ifade edilen kül aşağıdaki formül yolu ile hesaplanır:

$$\frac{m_1}{m_0} \times 100\% = A\% \quad (3.6)$$

m₀ kurutulmuş test kısmının gram cinsinden kütlesidir;

m₁, elde edilen külün gram cinsinden kütlesidir;

% A, kül sonucudur.

Not: A > 1 ise A; 2 ondalık, A < 1 ise 3 ondalık olarak bildirilmelidir.

Bu yöntemle yapılan numune test sonuçları Tablo-3.22’de verilmiştir.

Tablo 3.22 Numune test sonuçları

Nr	Numune Adı	Kül (%)
D1	PA 6 Katkısız	-
D2	PA 6 %10 Kaolin	9,61
D3	PA 6 %20 Kaolin	19,80
D4	PA 6.6 Katkısız	-
D5	PA 6.6 %10 Kaolin	10,67
D6	PA 6.6 %20 Kaolin	20,01

3.2. Son ürün Mekanik ve Boya Tutuculuğu Ölçümleri

Elde ettiğimiz PA 6 + 20 Kaolin compud malzeme ile eneksiyon kalıplama yöntemi ile otomotiv jant kapağı üretimi yapılmış ve bu ürün boyanarak boya ve mekanik testleri kontrol edilmiştir.



Şekil 3.34 PA 6 % 20 Kaolinli hammadde ile enjeksiyon makinesinde üretilen jant kapağı

3.2.1. Yüzey Enerjisi Ölçümü

Test mürekkepleri yöntemi kullanılarak flamaj öncesi ve flamaj sonrası yüzey gerilimi tayini yapılmıştır. ISO 8296 standardına uygun bir şekilde test uygulanmıştır. Dikkat edilmesi gereken önemli noktalardanbiri flamaj yapıldıktan sonra 15 dakika için test yapılmalıdır aksi halde yüzey geriliminde negatif yönde değişim olmaktadır. Yüzey gerilim kalemi ile jant kapağının üzerine 4-5 cm uzunluğunda çizgiler çekilmiş oluşan sıvı film gözlemlenmiştir. 2 saniye üzerinde sıvı film dağılmıyorsa bir sonraki dereceye geçip, 2 saniyeden az sürede dağılan seviyeye kadar test edilmiştir.



Şekil 3.35 Uygun ve ret çizim görselleri

Bu yöneteme göre yapılan test sonuçları Tablo 3.23’de gösterilmiştir.

Tablo 3.23 Numune yüzey gerilimi sonuçları

Yüzey Gerilimi Flamaj Öncesi	Minimum	32 DYN	Maksimum	44 DYN
Yüzey Gerilimi Flamaj Öncesi	Minimum	68 DYN	Maksimum	72 DYN



a)



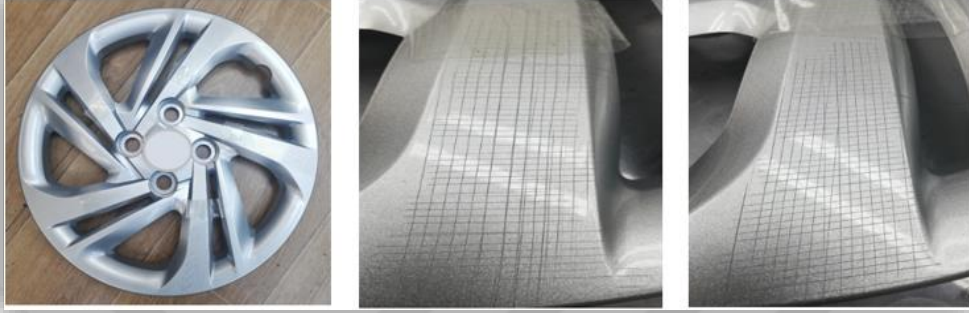
b)

Şekil 3.36 a) Flamaj yapılmamış jant kapağı b) flamaj yapılmış jant kapağı

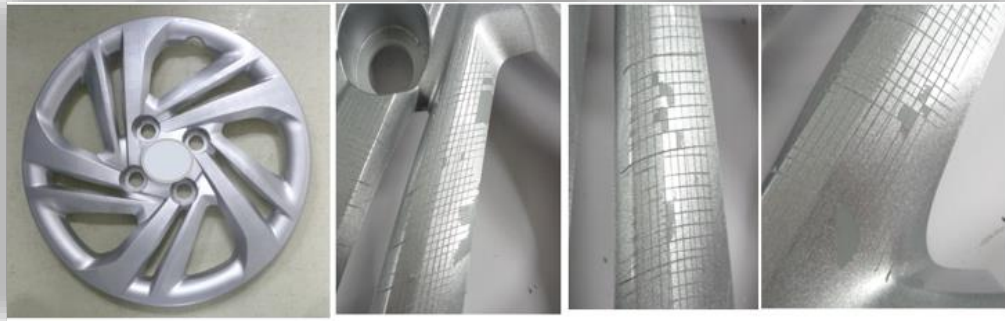
3.2.2. Adhezyon Cross Cut Testi

Çapraz Kesme (Cross cut) 652-14 - MS 652-14 testi müşteri şartnamesine göre yapılmıştır. Crosscut bıçağı ile çizgiler, bir yönde dik açılarda ve çapraz olarak 3 mm aralıklı olmalıdır. Adhezyon bandı kesikler atıldıktan itibaren 90 +/- 30 sn içinde, panele mümkün olduğu kadar 180°'lik bir açıyla hızlıca (sarsmadan) kendi üzerine çekerek, sıkıca bastırarak ve

ıkarılarak uygulanmalıdır. Bandın ıkarılmasından sonra ufalanma, pullanma, soyulma veya genel olarak zayıf yapışma oluşumu gözlenmiştir. Testler iki defa yapılmıştır.



Şekil 3.37 Flamaj uygulanmış jant kapağına yapılan çapraz kesme test görselleri (Seviye M-1.0)



Şekil 3.38 Flamaj yapılmamış jant kapağına yapılan çapraz kesme test görselleri (Seviye M-5.0)

3.2.3. Renk-Parlaklık Ölçümü

Renk MS 652-14 / MS 600-35 , parlaklık ölçümü MS 652-14 / ISO 2813 or JIS K 5600-4-7. ve görsel kontrol 652-14 TYPE C müşteri şartnamelerine göre yapılmıştır. Müşteri şartnamelerine göre müşteri tarafından onaylanmış şahit numune referans alınmış, renk ölçüm cihazı kullanılarak malzemenin Δe sonucu ölçülmüştür. Sonucun uygun olması için Δe 0,4'ten küçük olması gerekmektedir.



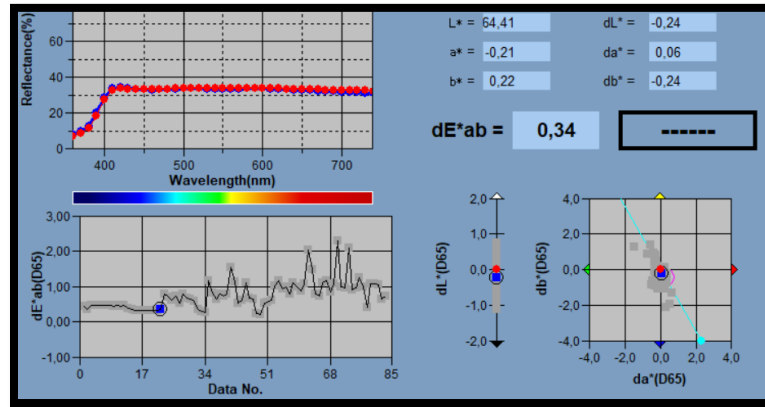
Şekil 3.39 Renk ölçüm cihazının parça üzerinde ölçüm şekli



a)

b)

Şekil 3.40 a) Müşteri onaylı referans numunesi b) Test edilecek numune



Şekil 3.41 Renk ölçüm sonucu spektrofotometre ile yapılan ölçüm sonucu

3.2.4. Boya kalınlığı Ölçümü

ISO 2808 standardına göre Byko kalınlık ölçer kullanılarak farklı alanlardan baz kat ve vernik katı kalınlık ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm sonuçları Tablo 3.24'te gösterilmiştir.



Şekil 3.42 Boya kalınlık ölçümü yapılan alanların gösterimi

Tablo 3.24 Jant kapağı kalınlık ölçüm sonuçları

Jant Kapağı	Boya Kalınlığı	
	Bazkat (10-20 μ)	Vernik (20-30 μ)
Area 1	10 μ	22 μ
Area 2	11 μ	24 μ

3.2.5. Hızlandırılmış Yaşlandırma (Accelerated Ageing) Testi

Hızlandırılmış yaşlandırma testi ile son ürünün kullanıma esnasında çevre şartlarından ne derecede etkileneceğini kontrol etmek amaçlı yapılmaktadır. Test D471165-D-7 müşteri şartnamesine göre yapılmıştır. Ürün 85 °C sıcaklıkta 162 saat bekletilmiş renkte sararma, solma, boya çatlağı oluşumu, formal bozukluk gibi görsel ve janta montaj yapılabilirliği kontrol edilmiştir.



Şekil 3.43 Jant Kapağı yaşlandırma testi öncesi ve sonrası görselleri

3.2.6. Isıl Dayanım Testi

Isıl dayanım testi ES 52960-02 ve MS 655 08 müşteri şartnamelerine göre yapılmıştır. jant kapakları 130 °C’de 55 dakika bekletildikten sonra renkte sararma, solma, boya çatlağı, yanma oluşumu, formal bozukluk gibi görsel, adhezyon testi, düşürme testi ve janta montajlanabilirliği kontrol edilmiştir.



Şekil 3.44 Yaşanladırma sonrası ürün ve adhezyon, düşürme ve jant montaj kontrolleri

3.2.7. Ağırlıklı Düşürme Darbe Testi

Ağırlıklı düşürme darbe testi ES 52960-02 müşteri şartnamesine göre uygulanmıştır. 3 farklı sıcaklıkta 30 cm yükseklikten jant kapağının farklı bölgelerine 0,5 kg ağırlığında metal bilye düşürülerek test yapılmıştır. Test sonucu ürün çatlak ezilme yamulma gibi varlık yokluğu görsel olarak kontrol edilmiştir. Ürün sıcaklıkları klimatik kabinde 3 saat bekleilerek sağlanmıştır. Test uygulama sıcaklıkları şu şekildedir:

- Yüksek sıcaklık: 80 ± 2 °C;



Şekil 3.45 Yükseklik sıcaklıkta bekletilen jant kapağı ağırlık düşürme darbe testi

- Düşük Sıcaklık: -30 ± 2 °C;



Şekil 3.46 Düşük sıcaklıkta bekletilen jant kapağı ağırlık düşürme darbe testi

Oda Sıcaklığı : 23 ± 2 °C, 55 ± 5 % ortam nem oranı



Şekil 3.47 Oda sıcaklığında jant kapağı ağırlık düşürme darbe

3.2.8. Su Dayanımı Testi

Su dayanımı testi MS 652-14 müşteri şartnamesine göre yapılmıştır. Jant kapağı 40 ± 2 °C sıcaklıktaki su banyosunda 240 h bekletilmiştir. Su banyosundan çıkarılan jant kapağı oda şartlarından fan önünde su damlacıklarının ve nemin uzaklaşması için 1 saat bekletilmiştir. Bekletilen numuneye adhezyon testi yapılarak kontrol edilmiştir.



Şekil 3.48 Su dayanımı sonrası jant kapağı görseli ve adhezyon testi sonucu

3.2.9. İklimlendirme (Klimatik) Testi

İklimlendirme testi MS 652-14 müşteri şartnamesine göre yapılmıştır. İklimlendirme kabininde ürün 4 fazdan geçirilmiş kabinden çıkarılan ürün oda şartlarında bekletildikten sonra görsel ve renk cihazı ile renk kontrol edilmiş ve adhezyon testi uygulanmıştır. Test için iklimlendirme kabini kullanılmıştır. Faz parametreleri Tablo 3.25'te gösterilmiştir.

Tablo 3.25 İklimlendirme kabini faz parametreleri

Parametreler	Faz 1	Faz 2	Faz 3	Faz 4
Döngü	Karanlık	Aydınlık	Aydınlık	Aydınlık

Süre	60'	1320 joules	660 joules	1980 joules
Su spreyi	Açık	Kapalı	Açık	Kapalı
Raf tipi hava spreyi	Açık	Açık	Kapalı	Kapalı



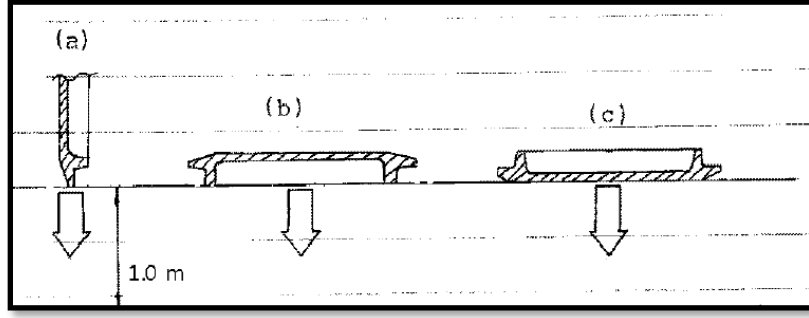
Şekil 3.49 İklimlendirme testi sonrası adhezyon testi sonucu

Tablo 3.26 İklimlendirme sonrası yapılan test sonuçları

	Kabul Değer	Bulgular
Gri ton	Min. Seviye 3	4/5
Δe	Maks. 3	1,28
Adhezyon	M - 2.5 veya daha iyi	M-1.0

3.2.10. Düşme Darbe Testi

Düşme testi ES 52960-02 standardına uygun iklimatik kabinde 3 saat 5 ± 2 °C 'de bekletildikten sonra Şekil de gösterildiği gibi 3 yönde 1 m'den bırakılarak yapılmıştır. Düşme testi sonrası yamulma kırılma çatlama varlık yokluk kontrolleri yapılmıştır.



Şekil 3.50 Düşme testi numune düşürme yönleri



Şekil 3.51 Düşme testi sonrası jant kapağı görselleri

4. SONUÇ

Bu çalışmanın amacı büyüyen otomotiv sanayisinde araç hafifletme, maliyet azaltma ve CO₂ salınımı azaltma kapsamında artan plastik malzeme kullanımına katkı sağlayarak yeni alternatif kompozit plastik malzemelerin olabileceğini göstermektir. Otomotiv üretiminde en önemli unsurlar olan emniyet gereklilikleri, yakıt performansı ve estetik görünüm dikkate alınarak bu çalışma yapılmıştır. PA 6 ve PA 6.6. esaslı malzeme ile üretilen jant kapaklarında kullanılabilecek otomotiv şartnamelerine uygun , ve boyanabilirliğiyle araç estetiğini bozmayan bir hammadde üretilmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda PA6 ve PA 6.6 malzemeye kütlece %10 ve %20 kaolin katkı katılarak ekstrüzyon ile yeni granül hammadde üretilmiştir. Öncelikle araç jant kapağında aranan mekanik özelliklerin testleri yapılmıştır. Jant kapağının dış trim parça olması nedeniyle darbeye ve esnemeye karşı dayanıklı olması gerekmektedir.

İlk olarak elde edilen granülleri doğrulamak adına kül testi yapılmış eklenen kütlece oran doğrulanmıştır. Daha sonra yoğunluk, DSC ve FTIR analizleri yaparak malzemelerdeki değişimler incelenmiş yine ürünleri literatürle karşılaştırarak doğruluğu kontrol edilmiştir. Hazırlanan bu ürünlerden PA 6 ham malzeme, PA 6 + %10 kaolinli, PA 6 + %20 kaolinli, PA 6.6 ham malzeme, PA 6.6 + %10 kaolinli, PA 6.6 + %20 kaolinli malzemelerden toplam 6 farklı hammadde için enjeksiyon makinesinde test çubukları basılmıştır. İlk olarak malzemelere çekme testi uygulanmıştır. PA 6 ve PA 6.6'ya malzemelere eklenen kaolin miktarı malzemenin çekme dayanımında artış sağlamıştır. Kütlece %10 Kaolin eklenmesiyle her iki malzeme için yaklaşık %14, %20 kaolin eklenmesiyle de yaklaşık %16 'lık çekme dayanımında artış tespit edilmiştir. Yine aynı hammadelerle hazırlanmış darbe çubuklarıyla İzod ve Charpy çentikli darbe testleri yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde ham PA 6 ve PA 6.6 arasında PA 6'nın darbe mukavemetinin daha iyi olduğu görülmüştür. % 10 kaolin ilavesiyle her iki malzeme için de darbe mukavemetinin yaklaşık % 8, %20 kaolin ilavesiyle de yaklaşık %20 arttığı görülmüştür. Bu çalışmalar göstermiştir ki araç dışında kullanılan bu parçanın özellikle lastik üzerinde olan bir parçanın sürekli taş sıçrama veya kaldırım dışına vurma gibi etkilere çok maruz kaldığı düşünüldüğünde mekanik özelliklerinde iyileşme olumludur.

Mekanik özelliklerinin daha iyi olması ve yoğunluğunun daha az olması sebebiyle PA 6 + %20 kaolinli hammadde ile jant kapağı üretimine karar verilmiştir. Jant kapağı üretimi yapılarak nihai ürün üzerinde yüzey gerilimini değiştirecek alev ile dağlama (flamaj) yöntemi denenmiş öncesi ve sonrası üzerinde test mürekkepleri ile yüzey gerilimi ölçülmüş yüzey geriliminin 44 dyn'den 72 dyn' çıktığı tespit edilmiştir. Flamaj uygulanan ve uygulanmayan jantlar yaş boyama yöntemi ile boyanmış boyu tutuculukları adhezyon cross cut testi yapılmıştır. Test sonucuna göre flamaj yapılmayan jant kapağında soyulmalar tespit edilmiş müşteri şartnamelerine göre uygun olmayan sonuç elde edilmiş. Flamaj yapılan jant kapağında ise M-1.0 seviyesinde sonuçlarla ürün uygun bulunmuştur. Bu doğrultuda bundan sonraki testlerde flamaj yapılmayan ürün sonucu zaten ret olduğundan flamaj yapılmış ürünlere otomotiv şartnamelerine göre yapılması gereken tüm boyama testleri uygulanmıştır. Boya kalınlıkları kalınlık ölçer ile ölçülmüş sonuçlar jant kapağında olması gereken değerler

içinde gelmiştir. Renk ölçümü yapılarak müşterinin renk referansına uygun ürün elde edilmiştir. Ürüne çevre şartlarına karşı değişimin gözlenmesi için iklimatik kabin soğuk ortam sağlanmış, iklimlendirme kaibininde ışık su gibi etkenlerle hızlandırılmış yaşlanma test yapılmış bu uygulamalar sonucunda jant kapağında görsel olarak solma, sararma, yanma boyada çatlama gibi uygunsuzluklar tespit edilmemiş, bu ürünlere yine adhezyon testi uygulanarak uygun sonuçlar elde edilmiştir. Nihai ürüne ağırlık düşürme darbe ve düşme testleri uygulanmış üründe kırılma, yamulma veya montaj zorluğu tespit edilmemiştir. Böylece %20 kaolin ilaveli PA 6 hammadde ile üretilmiş yüzeyine flamaj uygulanmış jant kapağının otomotiv standartlarına göre kullanılabilirliği gösterilmiş oldu. Böylece %20 kaolin kullanarak %20 daha az PA 6 kullanılmış ve daha sağlam ve boyanabilir bir ürün elde edilmiştir. %20 daha PA 6 kullanımı daha az plastik hammadde kullanımı hem çevresel döngüde katkı hem de maliyet azaltmada faydalı olduğu görülmüştür.

Bu çalışma metal malzemelerin yerini polimer malzemelerin, polimer malzemelerin yerini de doğal katkı, dolgu veya elyaf ile kompozit malzemelerin ilerleyen yıllarda daha çok alacağını, artan hammadde krizlerine çözüm olabileceğini, hem daha az maliyetli hem de daha az çevreye zararlı ürünler elde edilebileceğini göstermiştir. Sonuçlar üzerine yapılan değerlendirme önerileri daha çok araştırma ve geliştirme yaparak doğal katkı, dolgu ve elyaf katkıların polimerle etkileşimleri incelenmeli ve hayatımızın birçok yerinde kullandığımız plastik malzemelerin yerini alacak ve nihai ürünler elde edebileceğimiz yeni hammaddeler keşfedilmelidir. Ayrıca günümüz şartlarında, ürün beklentilerinin ve üretim miktarlarının artmasıyla, seri üretim şartlarında yaşanan parça kalite gerekliliklerinin sağlanmasında malzemenin kalıba yapışması, yüzey hataları gibi yaşanan zorluklar içinde polimer esaslı hammaddeler üzerinde araştırmalar ve çalışmalar yapılmalıdır.

5. KAYNAKLAR

- [1-3] PAGEV, (2016) 2016 yılı Türkiye Otomotiv Plastikleri Sektör İzleme Raporu, İstanbul, Türkiye.
- [4, 5] Young, J. Y., Lovell, P.A. (2011) Introduction To Polymers, 3rd Edition, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, USA.
- [6] Tosun, M. (2015) Polimer Kimyası [Blog Yazısı]. <https://metehantosun.wordpress.com/tarihcesi/> (19 Mayıs 2015).
- [7] Huser, K. (2021) Properties Of Polymers Different Types Of Polymers And Their Uses: What Is The Use Of Polymer Gas, 1st Edition.
- [8] Demirer, A. (2015) Taşıtlarda Kullanılan Plastikler, Plastik İşleme Yöntemleri ve Plastik Parça Tasarım Esasları, Polimer Teknolojisi ve Kalıplama Prosesi Y.Lisans Ders Sunumu, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye.
- [9] Hounshell, D. A., Smith, Jr. J. K. (1988) The Nylon Drama, American Heritage of Invention and Technology, 40-55
- [10] Hermes, M. E. (1996) Enough For One Lifetime: Wallace Carothers, Inventor Of Nylon, American Chemical Society and Chemical Heritage Foundation, Washington, USA.
- [11] Trossarelli, L. (2003) The History of Nylon. Commissione Centrale Materiali e Tecniche, Dipartimento di Chimica IFM dell'Università di Torino, Via P. Giuria 7 Torino, Italy.
<http://personal.strath.ac.uk/andrew.mclaren/Turin2002/CD%20congresso/The%20history%20of%20nylons.pdf>
- [12] Margolis, J. M. (1985) Engineering thermoplastics: properties and applications, Editors, Marcel Dekker, New York, USA.
- [13] Zimmerman, J., Kohan, M.I. (2001) Nylon–selected topics, Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry, 39(15), 2565-2570.

- [14] Carraher Jr., C.E., Seymour, R.B. (1984) Structure-Property Relationships in Polymers, 1st Edition, Springer US, Plenum Press, New York, USA.
- [15] Mark H.F., Atlas S.M., Shalaby S.W., Pearce E.M. (1975) Combustion of Polymers and Its Retardation, In: Lewin M., Atlas S.M., Pearce E.M. Editors., Flame-Retardant Polymeric Materials, Springer , Boston, USA.
- [16] Palmer, Robert. (2000). Polyamides, Plastics. John Wiley & Sons.
- [17] Brazel, C.S., Rosen, S.L. (2012) Fundamental principles of polymeric materials, Third edition, John Wiley & Sons, New Jersey, USA.
- [18] Deopura, B.L. (2008) Polyamide fibers. Deopura, B.L., Alagirusamy, R., Joshi, M. & Gupta, B. Editors. Polyesters and polyamides inc. (41-60). Netherlands: Elsevier.
- [19] Modern Plastic Encyclopedia, (1994) Modern Plastics, Mcgraw Hill Editors.
- [20] Erbay, K. (2009) Silah gövdeleri için polimer esaslı kompozit malzeme üretimi ve özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, Türkiye.
- [21] Erdoğan, Y. (2010) Polyamid esaslı kompozit üretiminde üretim parametrelerinin mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi. Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Trabzon, Türkiye.
- [22] Kartal, Y. (2014) Taşıtlarda Akustik Performans Gözetilerek Uygulanan Ağırlık Azaltma Yöntemleri. Y. Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Otomotiv Programı, İstanbul, Türkiye.
- [23] Szeteiová, K. (2010) Automotive materials plastics in automotive markets today. Slovak University of Technology, Bratislava.
- [24] TMMOB, (2009) Otomotiv endüstrisinde, yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımının incelenmesi. TMMOB 11. Otomotiv Sempozyumu, Bursa, Türkiye.
- [25] Maxwell, J. (1994) Plastics in the Automotive Industry, Woodhead Publishing Limited, Cambridge,

- [26] Yetgin S.H. (2017) PA 6 ve PA 6.6 Özellikleri, Metal Eğitimi Bölümü Ders Notları, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye.
- [27] Atav, R. (2015) Tekstil Kimyası Ders Notları. Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu, Tekirdağ, Türkiye.
- [28] Savaşçı, Ö. T., Uyanık, N., Akovalı, G. (2008) Ana Hatları İle Plastikler ve Plastik Teknolojisi, 3. Baskı, PAGEV Yayınları.
- [29] Patel, H. S. (2010) Surface Property Modifiers, Functional Fillers For Plastics, Second Edition, Wiley VCH, Xanthos, M. Editors, inc. (373-402).
- [30] Şener, M. (2020) Otomotiv Endüstrileri İçin Poliamid Matrisli Kompozitlerin Geliştirilmesi. Y. Lisans tezi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Temel İşlemler ve Termodinamik Bilim Dalı, Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye, 15-16
- [31] MTA Genel Müdürlüğü, Kaolin, <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/kaolin> .
- [32] Unal, H. (2002) Performance of Polyamide-6/Wollastonite/Kaolin Hybrid Composites, Science and Engineering of Composite Materials 10(6), University of Sakarya, Faculty of Technical Education, Adapazari, Turkey 407-414.
- [33] Kızılay, F. (2014) Otomotiv ve Ticari Araç Sunumu, Kişisel Eğitim Sunumu. Farplas Otomotiv A.Ş.
- [34] Ankara Üniversitesi, Yüzey Gerilimi ve Tayini, Açık Ders Yayını, https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/67643/mod_resource/content/0/2.HAFTA_Y%C3%BCzey%20etkenlik%2C%20Zeytinya%C4%9F%C4%B1%20em%C3%BClsiyonu%2C%20viskozluk%20%C3%B6l%C3%A7me%20y%C3%B6ntemleri.pdf
- [35] Kovan, V., Şekercioğlu, T. (2005) Yapıştırma Bağlantılarında Yapışma Teorileri ve Yüzey Enerjilerinin İncelenmesi, Yüzey İşlemler, sayı 42. 22-26.
- [36] Ebnesajjad, S. (2006) Surface Treatment of Materials for Adhesion Bonding, William Andrew Publishing, USA.

- [37] ASTM D5946.2004. Test Method for Corona-Treated Polymer Films Using Water Contact Angle Measurements.
- [38] Forcum, A., Marotta, C., Williams, M., Laput, N. (2010) Adhesive Selection for Effective Plastic Bonding, Henkel Corporation, USA.
- [39] Kolluri, O.S. (1994) Plasma Surface Engineering of Plastics, ASM Handbook vol. 5, Surface Engineering, ASM International, USA.
- [40] Wang, H. H., Wang, C. C. (2006) Dyeing Mechanism and Model of Nylon 6 Fiber Dyeing in Low-Temperature Hydrogen Peroxide–Glyoxal Redox System, Journal of Applied Polymer Science.
- [41] Yurdakul, A., Atav, R. (2006) Yurdakul, A., Atav, R. (2006). Boya Baskı Esasları, Ege Üniversitesi Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma Uygulama Merkezi Yayını, Bornova, İzmir.
- [42] Nunn, D. M. (1979) The Dyeing of Synthetic Polymer and Acetate Fibres, Dyers Company Publication Trust, England, 241-329.
- [43] Şekercioğlu, T., Kaner, S. (2014) Plastiklerin Yapıştırılmasında Yüzey Hazırlama Yöntemlerinin İncelenmesi. Mühendis ve Makina, cilt 55 (648), 37-43
- [44] Esen, S. G., Altuncu, E., Üstel, F., Akpınar, S., (2016). Atmosferik plazma yüzey aktivasyon işlemi ile farklı yüzey tarama hızlarının polipropilen yüzey ıslatma özelliklerine etkisi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 20(2):307-315.
- [45] Mazzola, L., Bemporad, E., Carassiti, F. (2010) Flame treatment on plastic: A new surface free energy statistical prediction model and characterization of treated surfaces, Applied Surface Science, 257:2148-2158.
- [46] Phang, I. Y., Liu, T., Mohamed, A., Pramoda, K. P., Chen, L., Shen, L., Hu, X. (2005). Morphology, thermal and mechanical properties of nylon 12/organoclay nanocomposites prepared by melt compounding. Polymer international, 54(2), 456-464.

- [47] Soncu, S. (2019) Plastik Parçalarda Boya Öncesi Yüzey Hazırlık Prosesinin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, Türkiye.
- [48] Nasri, A. (2015) Conductive Polyamide Carbon Black, Carbon fiber and Carbon Nanotubes Composites For Electrostatic Painting, M. Sc. Thesis, Istanbul Technical University Graduate School Of Science Engineering And Technology, İstanbul, Turkey.
- [49] Ünal, H., Yetgin, S. H. (2020) Vollaştonit ve kaolin katkılı poliamid-6 esaslı kompozitlerin mekanik ve tribolojik performanslarının belirlenmesi, BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi, 22(2), 617-627.
- [50] Extrand, C.W. (2002) Water Contact Angles and Hysteresis of Polyamide Surfaces, Journal of Colloid and Interface Science, Elsevier, 248, 136-142.
- [51] Yousfi, M., Livi, S., Dumas, A., Le Roux, C., Crepin-Leblond, J., Greenhill-Hooper, M., Duchet, J. (2013). Use of new synthetic talc as reinforcing nanofillers for polypropylene and polyamide 6 systems: Thermal and mechanical properties. Journal of colloid and interface science. 403. 10.1016/j.jcis.2013.04.019.

ÖZGEÇMİŞ

HÜSEYİN ATAKAN AYTAŞ

Eğitim Durumu:

Yüksek Lisans:

Marmara Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Polimer Bilimi ve Teknolojisi / 2018-2021

Lisans:

Bursa Uludağ Üniversitesi / Kimya Bölümü / 2006-2011

Ön Lisans:

Radyo ve Televizyon Programcılığı / 2012-2015

Adalet / 2015-2021

Lise:

Çorum Anadolu Lisesi / Fen Bilimleri / 2000-2004

Kariyer:

Avient Mühendislik Polimerleri / Kalite Kontrol Şefi / 2021-Halen çalışmakta

Farplas Otomotiv A.Ş. / Kıdemli Kalite Mühendisi / 2016-2020

Ahlatcı Altın Rafinerisi A.Ş. / Laboratuvar Yöneticisi / 2015-2016

Koza Altın İşletmeleri A.Ş. / Laboratuvar Sorumlusu / 2013-2014

Söz1 & Atılım Çevre ve OSGB / İş Güvenliği Uzmanı / 2012-2013