



GÜÇLENDİRİLMİŞ DÖKÜM POLİAMİDİN OTOMOTİV JANTI OLARAK İNCELENMESİ

Anıl ŞİMŞEK

**2020
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Prof. Dr. M. Bahattin Çelik
Anıl ŞİMŞEK**

**GÜÇLENDİRİLMİŞ DÖKÜM POLİAMİDİN OTOMOTİV JANTI OLARAK
İNCELENMESİ**

Anıl ŞİMŞEK

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK**

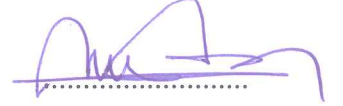
**KARABÜK
Ocak 2020**

TEZ ONAY SAYFASI

Anıl Şimşek tarafından hazırlanan “GÜÇLENDİRİLMİŞ DÖKÜM POLİAMİDİN OTOMOTİV JANTI OLARAK İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

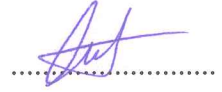


Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 22/01/2020

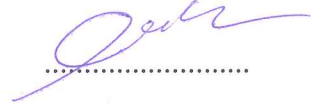
Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ŞEN (AİBÜ)



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Samet USLU (KBÜ)



Üye : Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK (KBÜ)



KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Anıl ŞİMŞEK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜÇLENDİRİLMİŞ DÖKÜM POLİAMİDİN OTOMOTİV JANTI OLARAK İNCELENMESİ

Anıl ŞİMŞEK

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK

Ocak 2020, 65 sayfa

Günümüz otomobillerinde jant malzemesi olarak çelik, alüminyum ve türevi metal malzemeler kullanılmaktadır. Metal malzemeler kolay temin edilebilme avantajına sahip olmasına rağmen özgül ağırlıkları sebebiyle araç ağırlığını artırmaktadır. Otomobillerde araç ağırlığı yakıt tüketimine doğrudan etki etmektedir.

Bu çalışmada otomobil jantlarında plastik malzeme türevi olan Poliamid kullanılarak araç ağırlığının düşürülmesi hedeflenmiş ve yakıt tasarrufu amaçlanmıştır. 14" jant kullanılan bir binek araç referans alınarak güçlendirilmiş döküm poliamid ile plastik jant tasarlanmıştır. Tasarım aşamasının sağlaması statik analiz ile yapılmıştır.

Güçlendirilmiş döküm poliamid özel bir döküm makinesi ile aktivatör, katalizör, mekanik iyileştirici kullanılarak üretilmiştir. Üretim sırasında test numuneleri

hazırlanmıştır ve çekme, darbe gibi mekanik testler raporlanarak uygunluğu denetlenmiştir. Tasarımı ve döküm işlemi tamamlanan yarı mamül torna ve freze ile son haline getirilmiştir. Dinamik analiz bir tambur ve DC elektrik motordan oluşan mekanik yorulma test cihazında yapılmıştır. 50 km/h, 60 km/h ve 70 km/h hızlarında yorulma testine maruz bırakılan jant toplam 150 km'lik parkuru tamamlamıştır. Test sonuçlarına göre, güçlendirilmiş döküm poliamidin düşük hızlarda otomobil jantı olarak kullanılabilceği söylenebilir.

Anahtar Sözcükler : Yakıt tasarrufu, jant, poliamid, araç ağırlığı

Bilim Kodu : 91438

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF USING REINFORCED CASTING POLIAMID AS AUTOMOTIVE WHEEL

Anıl ŞİMŞEK

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor:

Prof. Dr. M.Bahattin Çelik

January 2020, 65 pages

Steel, aluminum etc. materials have been used by modern cars. Metal materials can be easily provided from suppliers. However, these materials affect negatively vehicle weight and fuel consumption.

In this study, it was aimed to reduce vehicle weight and fuel consumption by using Poliamid in vehicle wheels which is variety of plastic. 14-inch Wheel standarts was referenced for designing and casting process. In design process, static analysis was performed to verify for design of wheel.

Reinforced casting polyamide was produced with a special casting machine using activator, catalyst and mechanical improver. Test samples were prepared during production and mechanical tests such as tensile and impact were reported, and their suitability was controlled.

The semi-finished product was finished with lathe and milling process. Dynamic analysis was performed with fatigue test machine which has a drum and DC electric engine. Test wheel was tested in 50 km/h, 60 km/h and 70 km/h speeds with 150km distance. According to the test results, it can be said that reinforced cast polyamide can be used as automobile wheel at low speeds.

Key Word : Fuel saving, rim, wheel, poliamid, weight of car

Science Code : 91438

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Bu alıőma, Karabük Üniversitesi KBÜBAP-17YL-164 numaralı BAP projesi kapsamında gerçekleşmiştir. Projeye vermiş olduğu destekten dolayı Karabük Üniversitesi Rektörlüğü BAP Koordinatörlüğüne teşekkür ederim.

Tüm süreçte maddi ve manevi desteğini esirgemeyen B. Rıza SAÇMACI'ya teőekkürlerimi sunarım.

Sevgili anneme, babama ve kardeőime tüm eğitim hayatım boyunca yanımda oldukları için teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
KISALTMALAR	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR TARAMASI.....	3
BÖLÜM 3	7
PLASTİKLER.....	7
3.1. TERMOPLASTİKLER.....	7
3.1.1. Poliamid.....	8
3.1.2. Polietilen.....	13
3.1.3. Polistiren.....	15
3.1.4. Polivinil Klorür.....	16
3.1.5. Polikarbonatlar.....	17
3.1.6. Polipropilen.....	17
3.1.7. Polietilen teraftalat.....	18
3.1.8. Polimetil metakrilat	19
3.2. TERMOSET PLASTİKLER.....	19

3.2.1. Alkidler	20
3.2.2. Amino (Melanin-Üre)	20
3.2.3. Epoksi Reçine	20
3.2.4. Fenolikler	21
3.2.5. Polyester	21
3.3. GERİ DÖNÜŞÜM	21
3.3.1. Plastik Atık Yönetimi	22
3.4. OTOMOTİVDE PLASTİK KULLANIMI	23
3.4.1. Gövde.....	23
3.4.2. Cam.....	23
3.4.3. İç Tasarım	24
3.4.4. Motor Parçaları	24
BÖLÜM 4	25
OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE HAFİF MALZEME KULLANIMI.....	25
4.1. HAFİF MALZEME KULLANIMININ YAKIT TÜKETİMİNE ETKİSİ ...	25
4.2. HAFİFLETME YÖNTEMLERİ	27
4.2.1. Hafifletmede Alüminyum Kullanımı.....	27
4.2.2. Hafifletmede Çelik Kullanımı	31
4.2.3. Hafifletmede Plastik Kullanımı	31
4.2.4. Hafifletmede Magnezyum Kullanımı	32
4.2.5. Motorda Hafifletme	33
BÖLÜM 5	35
OTOMOTİV JANTLARI	35
5.1. ÇELİK JANT	36
5.2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLI JANT	37
5.3. DİĞER JANTLAR	38
BÖLÜM 6	40
DENEYSEL ÇALIŞMA	40

6.1. JANT TASARIMI VE İMALATI.....	40
6.1.1. CAD Tasarımı ve Statik Analiz.....	40
6.1.2. Kalıp Tasarımı	44
6.1.3. Döküm İşlemi	45
6.1.4. Talaşlı İmalat	46
6.1.5. Balans	47
BÖLÜM 7	54
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	54
BÖLÜM 8	57
SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	57
KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ	65

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Otomobillerde plastik kullanımının yıllara göre artışı.....	4
Şekil 3.1. Poliamid dişli	9
Şekil 3.2. Poliamid fren hava hortumu.....	10
Şekil 3.3. Poliamidler için tekrar eden polimer birimi	11
Şekil 3.4. Kestamit çubuk.....	13
Şekil 3.5. Polietilen araç cam suyu deposu.	14
Şekil 3.6. Polistiren otomotiv spoiler pick up kasa kapağı.	15
Şekil 3.7. Polipropilen traksiyoner akü.	18
Şekil 3.8. Yapısında termoset SMC kompozitler barındıran Hummer.	20
Şekil 3.9. Plastik ambalajların geri dönüşümü.	22
Şekil 5.1. Jant bileşenleri.....	35
Şekil 5.2. 15” Çelik jant.	37
Şekil 5.3. 18" Alüminyum alaşım jant	38
Şekil 6.1. Solidworks jant tasarımı.....	40
Şekil 6.2. Jant sabitleme noktaları.....	41
Şekil 6.3. Sabitleme sonucu janttaki iç gerilmeler.	41
Şekil 6.4. Kesme gerilmesi.....	43
Şekil 6.5. Toplam yer değiştirme.	43
Şekil 6.6. Malzemenin elastik şekil değiştirme miktarı.	44
Şekil 6.7. Kalıp tasarımı.	45
Şekil 6.8. Döküm fırını	46
Şekil 6.9. CNC frezeye malzemenin fikstür ile bağlanması.....	47
Şekil 6.10. Balans makinesi	48
Şekil 6.11. Darbe deney cihazı	49
Şekil 6.12. Darbe ve çekme deneyi numuneleri.....	49
Şekil 6.13. Çekme deney cihazı	50
Şekil 6.14. Dinamik yorulma test cihazı	52
Şekil 6.15. Sertlik ölçüm cihazı	53

Şekil 7.1. Hız-zaman grafiği.....	55
Şekil 7.2. Sıcaklık-zaman grafiği	55
Şekil 7.3. Güçlendirilmiş döküm poliamid ile üretilmiş otomobil jantı.....	56

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Poliamid 6.6 ve Poliamid 6.10 plastiklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin karşılaştırılması.....	12
Çizelge 4.1. Referans çelik taşıtın özellikleri.....	29
Çizelge 4.2. Çelik ve alüminyum otobüslerin ağırlık kıyaslaması	30
Çizelge 4.3. Alüminyum ve çelik otobüslerin ömür boyu enerji tüketiminin kıyaslaması.....	30
Çizelge 4.4. Ağırlığı 134 kg olan motor için hafifletme değerleri.....	34
Çizelge 5.1. Alüminyum jant malzeme mekanik özellikleri.....	38
Çizelge 6.1. Maksimum minimum asal gerilme	42
Çizelge 6.2. Hata tablosu	42
Çizelge 6.3. Dinamik yorulma parametreleri.....	52
Çizelge 7.1. Döküm poliamid jant darbe testi verileri	54
Çizelge 7.2. Döküm poliamid jant çekme testi verileri.....	54
Çizelge 7.3. Malzeme sertlik ölçüm verisi.....	56

KISALTMALAR

ABS	: Akrilonitril Bütadien Stiren
AC	: Air Condition (Hava Durumu)
ASA	: Akrilik Stiren Akrilonitril
AYPE	: Alçak Yoğunluklu Polietilen
LAYPE	: Lineer Alçak Yoğunluklu Polietilen
OYPE	: Orta Yoğunluklu Polietilen
PA	: Poliamid
PA 6	: Poliamid 6
PA 6.6	: Poliamid 6.6
PBT	: Polibütillen
PE	: Polietilen
PET	: Polietilen tereftalat
PC	: Polikarbonat
POM	: Polioksimetilen
PP	: Polipropilen
PS	: Polistiren
PUR	: Poliüretan
PVC	: Polivinil Klorür
UV	: Ultraviyole
YYPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Plastikler, yapay ve organik malzemelerdir. Plastiklerin yapısında en küçük birime monomer denmektedir. Monomerlerin birbiriyle yaptıkları bağlar sonucunda polimer adı verilen zincir yapılar oluşur ve bu yapılara göre plastik adlandırılır. Polimer zincirinin oluşmasında monomerlerin birbiriyle bağ kurması işlemine polimerizasyon denmektedir [Tuğ, 2005].

Plastikler sağlam, hafif ve ucuz olmalarının dışında kolay şekil verilebilen malzemelerdir. Bu özellikleri dolayısıyla plastiğin kullanım alanı olarak parça imalatı, ulaşım, tekstil, otomotiv gibi teknolojik alanlar örnek verilebilir. [Askeland, 1996; Callister, 2000; Yaşar, 1992; Schaffer ve ark., 1999]. Plastik, petrol endüstrisine dayalı bir sektördür ve sürekli değişim içerisindedir. Her geçen gün yeni plastik türleri ortaya çıkmaktadır. Ayrıca; grafit, cam ve karbon elyafları ile karıştırmanın bir sonucu olarak elde edilen yeni ürünler, plastiklerin gelişiminde önemli bir adımdır [Çetinel, 2000].

Otomotiv sektöründe de polimerlerin kullanılabilceği neredeyse sınırsız uygulama alanı vardır. Valf kapakları, hava filtreleri ve hava giriş tertibatları gibi plastikten elde edilen parçalar tek bir üniteye birleştirilebilir. Önceden metalden yapılmış hava giriş boruları ve yakıt depoları artık aşınmaya karşı daha dayanıklı ve montajı daha kolaydır, aynı zamanda %40-50 daha hafiftir. Ortalama 1000 kg ağırlığındaki yeni bir orta sınıf otomobilin yaklaşık % 15'i (yani 150 kg) plastiktir. Ön cam ve tamponlar, ön paneller, farlar, yan ve iç döşemeler, koltuklar ve hava yastıkları, halılar, lastikler, fitiller ve contalar, vantilatör kayışları, dişli kutusu bağlantıları, motor kapakları, birinci sınıf görsel parçalar ve diğer birçok küçük otomobil parçası plastikten yapılmıştır [www.pagev.org].

Otomobillerin ön tamponları otomobil endüstrisinde plastik kullanımına örnek olarak verilebilir. Darbe emiciler, önden çarpma durumunda araçların yolcu bölmesinde daha az zarara uğraması ve çarpışma etkisini en aza indirmesi amacıyla kullanılır. Otomotiv sektöründe plastik kullanımına örnek olarak otomobillerin ön tamponları da verilebilir. Darbe emiciler, aracın kinetik enerjisini plastik deformasyonla bir dereceye kadar emerler. Darbe emici profilleri, sönümlemeyi olumsuz etkileri azaltmak için tasarlanmaları halinde akordeon gibi katlanarak gerçekleştirir. Darbe emiciler, aracın sahip olduğu kinetik enerjiyi, plastik deformasyona uğrayarak belli bir oranda sönümlerler. Önden çarpışma durumunda ilk darbeden sonra, enerjinin belirli bir kısmı darbe emiciler üzerinde emilir. Enerjinin emiciliği, akordeon formundaki ön darbe emicilerin plastik deformasyon sonucu katlanmasıyla elde edilir [Nakazawa ve diğ., 2005].

Plastiklerin otomotiv sektöründe ve diğer alanlarında kullanımını artıran özellikleri şunlardır:

- Mukavemet/ağırlık oranı olarak aynı kullanım alanındaki diğer malzemelere göre daha hafiftir,
- Aracın performansını artırmanın yanı sıra daha düşük maliyetli bir malzeme olmasından kaynaklı üretim ve kullanım giderlerini azaltmaktadır,
- Kolay şekillenebilir olması dolayısıyla yeni tasarım ve yeniliklere olanak vermektedir,
- Daha yüksek konfor taleplerine uyumlu olması,
- Otomotiv sektörünün karmaşık, estetik, güvenlik, konfor, yakıt verimi gibi mühendislik taleplerini kolayca karşılaması,
- Elektronik performansa maliyeti azaltacak şekilde uyum sağlayabilmesi,
- Geri dönüşümü kolay bir malzeme olması dolayısıyla çevreye zararın minimize edilebilir olması [www.subconturkey.com].

Son zamanlarda, otomobillerdeki metal parçalar, polimer ve alüminyum gibi metalden daha hafif malzemeler ile değiştirilmektedir. Bu değişim 20 kg çelik yerine 10 kg poliamid kullanılması örnek verilerek açıklanabilir. Bir arabanın önemli

noktalarındaki sertliği artırmak için de poliamid kullanılmaktadır. Azımsanamayacak miktarda poliamid, kısma valfleri, makine dairesi gövdesi ve emme manifoldları gibi otomobil bileşenlerinde kullanılır. Polyamidler, kimyasallara karşı olan dayanıklılıkları sayesinde kimyasal etkileşimin olduğu benzin, fren, AC boruları gibi yerlerde de kullanılır [Demirci, 2011].

Bu çalışmada güçlendirilmiş poliamid malzemenin otomotiv jantı olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2

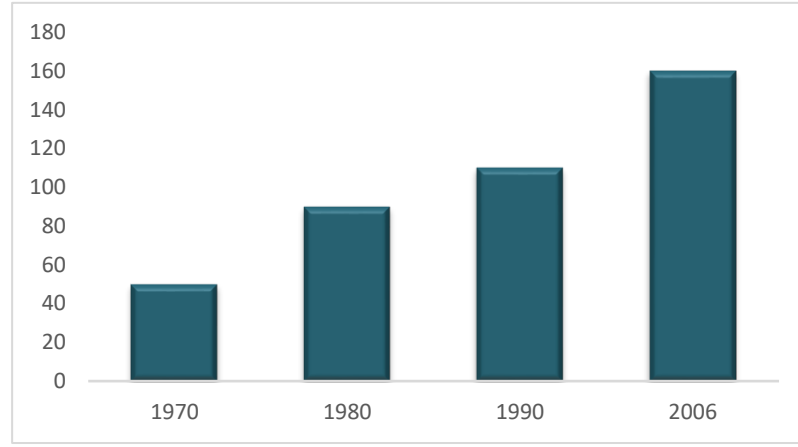
LİTERATÜR TARAMASI

Taşıt ağırlığının azaltılması, sera gazı emisyonları ve binek araçların yakıt kullanımı konusundaki iyileştirmeler için sık kullanılan bir yöntemdir. Araç ağırlığındaki %10'luk bir düşüşün yakıt tüketimini yaklaşık %7 oranında azaltabildiği tespit edilmiştir. Plastikler ve polimer kompozitleri halihazırda bir aracın ağırlıkça yaklaşık %8'ini ve hacimce %50'sini oluşturmaktadır ve bu oranın zamanla artması beklenmektedir [Cheah, 2010].

Gelişmiş, yüksek performanslı polimerlerin gelişmesi, plastiklerin otomotiv endüstrisinde kullanımlarını önemli ölçüde arttırmıştır. Otomotiv endüstrisinde plastik bileşenlerin kullanılması son on yılda oldukça artmıştır. Günümüzde plastikler, dayanıklılığı, korozyon direnci, tokluğu, tasarım esnekliği, düşük maliyetle yüksek performans sağlamalarının yanı sıra, ağırlıklı olarak arabaları daha fazla enerji verimli hale getirdikleri için otomotiv sektöründe sıkça kullanılmaktadır [Szeteiovà, 2010].

Bir araçta ortalama 1163 kg demir ve çeliğe kıyasla yaklaşık 150 kg plastik ve plastik kompozit kullanılmaktadır. Bu da bir otomobil ağırlığını yaklaşık %10-15'ini oluşturmaktadır [Szeteiovà, 2010].

Şekil 2.1'de otomobillerde plastik kullanımının yıllara göre artışı görülmektedir.



Şekil 2.1. Otomobillerde plastik kullanımının yıllara göre artışı [Szeteiovà, 2010].

Araçta %3'lük bir ağırlık tasarrufu ile, %1'lik bir yakıt tasarrufu elde edilmektedir, böylece metallerin 100 kg'lık plastiklerle değiştirilmesi, en az % 5'lik bir yakıt tasarrufu sağlamaktadır [Maxwell, 1994].

Plastik kullanımının avantajları arasında düşük montaj maliyetleri de bulunmaktadır. Her çeşit şekil ve ebatla binden fazla farklı kısımda birçok polimer tipi kullanılmaktadır. Otomobillerde plastikler tamponlar, kapılar, farlar, bagaj kapakları, jant kapakları gibi dış ve iç bileşenlerde kullanılabilir [Szeteiovà, 2010].

Özellikle far camları plastikler için en yaygın otomotiv uygulamalarından biridir ve polikarbonat, otomotiv aydınlatması için birçok yararlı performans özelliği sunan ilk ticari polimerdir [Sehanobish, 2009].

Yapılan bir çalışma ile M3 sınıfı yolcu otobüslerinde kullanılan yolcu koltuklarının yüksek mukavemetli çelik malzeme kullanılarak hafifletilmesi hedeflenmiştir. Tasarlanan koltukların prototip imalatı yapılmış daha sonra güvenlik testleri yapılmıştır. Kullanılan malzemenin akma noktasının düşük olması gerekçesi ile koltuğun emniyet kemer bağlantı noktaları ve boruların büküm yerleri gibi bazı bölümlerde gerilme değerinin yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yüksek

mukavemetli çelik boru ve profil kullanılmıştır ve bu sayede geleneksel koltuk yapısına göre yaklaşık olarak 12 mm daha ince bir yapı elde edilmiştir. Yapılan bu işlemler sonrasında referans alınan araca göre oluşturulan 2 nokta emniyet kemerli koltuğun ağırlığı %15 oranında azaltılabilmektedir. Koltuğun geneli değerlendirildiğinde yaklaşık %20 oranında bir hafifletme sağlanmıştır [Yüce vd., 2013].

Yapılan bir başka çalışmada ince saclar kullanılarak araç ağırlığında hafifletme gerçekleştirilmiştir. Ancak ince sac kullanılırken mukavemet ve güvenlikten ödün verilmemesine dikkat edilmiştir. Yapılan çalışmada 0,8 mm kalınlığındaki DP600 çeliği ile 1,3 mm kalınlığındaki TWIP900CR çeliklerinin malzeme özellikleri ve şekillendirme yetenekleri karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda TWIP900CR çeliğinin DP600 den çok daha fazla uzama gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca şekillendirme açısından önem arz eden düzgün uzama miktarının TWIP çeliklerinde daha yüksek olduğu, bu sebeple TWIP çelikleriyle daha karmaşık geometrilerin üretilebileceğine karar verilmiştir [Kılıç vd., 2016].

Gerçekleştirilen bir başka çalışmada ilk etapta S355 malzemesinden üretilen ve tanesi 2300 gr olan hafif ticari araç kapı menteşeleri yapılan çalışmada Al7075 alaşımından üretilmiştir. Çelik malzemesinin özgül ağırlığı $7,8 \text{ kg/dm}^3$ iken alüminyum malzemesinin özgül ağırlığı $2,7 \text{ kg/dm}^3$ 'tür. Bu bilgiler göz önüne alındığında bir menteşede ağırlığın yaklaşık %65 oranında düşmesini sağlamaktadır. Kullanılan yeni menteşe tasarımında menteşenin yaklaşık ağırlığı 720 gramdır ve araçta bu menteşelerden 4 adet bulunmaktadır. Yapılan çalışma ile eski tasarım ve yeni tasarım arasında toplamda 6920 gram hafifletme gerçekleştirilmiştir [Tüfekçi, 2016].

Yapılan bir çalışmada geleneksel ticari araç yöntemi olan kutu profil destekli metal yapı yerine sandviç kompozit yapı kullanılarak daha hafif bir podest üretilmiştir. Sandviç kompozit yapı daha hafif olduğu için yakıt tüketiminin ve karbondioksit salınımının azaltılması hedeflenmiştir. Sandviç kompozit yapı sayesinde bir araçta 100

bin kilometre yol yaptığında yaklaşık 1844 lt yakıt tasarrufu sağlanmakta ve 4610 kg CO₂ salınımı azaltılmaktadır [Bülbül vd., 2016].

Bir diğer çalışma kapsamında A356 alaşımından üretilen bir binek araç jantının mekanik yükleme altında tasarım ve ağırlık optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda hafif ve mekanik davranışı iyileştirilmiş bir jant tasarımı elde edilmiştir. Gerçekleştirilen çalışma sonucunda elde edilen tasarımlardan en ağır ile en hafifi arasında 1.15 kg ağırlık farkı bulunmaktadır. Bu sayede uygun olarak değerlendirilen tasarım ile en ağır tasarımdan 1.0775 kg daha hafif bir tasarım oluşturulmuştur [Kara vd., 2017].

BÖLÜM 3

PLASTİKLER

Plastikler, yüksek moleküler ağırlıklı organik moleküller veya polimerlerden oluşur. Organik moleküller ve polimerler, bileşimin kimyasal olarak bağlanmış birimlerinin tekrarlanmasından kaynaklanan yapılardır. Plastik, şekillendirilebilir demek olan Yunanca "plastikos" kelimesinden gelir. Plastiklerin en temel özelliklerinden biri basit şekillendirilebilmeleridir [Güler, Çobanoğlu, 1997].

3.1. TERMOPLASTİKLER

Günümüz dünyasında plastik malzemeler insanoğlunun geçmişten beri kullandığı ahşap, seramik, iplik gibi malzemelerin yerini almaktadır. Plastik; otomotivden elektronik eşyalara, ayakkabı yapımından tekstile birçok alanda tercih edilmektedir. Polietilen, polistiren, polivinil klorür ve polipropilen gündelik yaşamda kullandığımız birçok eşyanın yapımında kullanılan ve en çok bilinen termoplastik malzemelere örnektir. Ek olarak, plastiğin kullanıldığı yere göre seçimine de dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu seçim yapılırken dikkat edilmesi gerekenler şunlardır:

- Neden plastik malzeme kullanılacağı,
- Hangi koşullara dayanıklı olması gerektiği,
- Geri dönüşüm kısıtları,
- Kullanıldığı alanda diğer kullanılan malzemelerle olan durumu,
- Tasarım kısıtları,
- Sıcaklığa karşı davranışı,
- Mekanik özellikleri [Kaya, 2005].

Termoplastiklerin, plastik malzemeler içerisinde en önemli grubu oluşturmalarının sebebi ısıtıldıklarında erimeleri, daha sonra eriyik haldeki akışkan plastiğe verilen şeklin soğutulduğunda da devamının sağlanması ve bu işlemlerin tekrarlanmasına izin veren bağ yapılarıdır. Bu işlemlerin gerçekleşmesi plastiklerin kimyasal özelliklerini değiştirmemektedir. Ancak bu işlemler mekanik özelliklerde değişimlere neden olabilmektedir. Termoplastiklerin içine eklenen katkı malzemeleri sayesinde oluşan kompozit malzemeler ilk hallerine göre daha iyi mekanik özelliklere sahip olabilmektedirler. Termoplastikler esasen amorf ve kısmikristalin olmak üzere iki grupta incelenebilir. Amorf yapıları termoplastikler incelendiğinde içerisinde bulunan molekül zincirleri karmaşık yapıda olduğu görülür. Kristalin yapıda molekül zincirleri ise üç boyutlu bir düzene benzeyen düzenli bir şekilde bulunurlar [Akkurt, 2007].

3.1.1. Poliamid

Poliamidler, yüksek mukavemetli, iyi kimyasal özellikler, hafif ve birçok türü bulunan polimerlerdir. Poliamidler termoplastik sınıfındadır. Bir diaset ve bir diamin polimerizasyonunun sentezine dayanan poliamitler, çeşitli kimyasalların varlığında farklı çeşit ve özelliklerde poliamidlerin oluşmasına izin vermektedir. Poliamidler yüksek erime sıcaklığına sahip olmaları dolayısıyla yüksek sıcaklıklarda sertliklerini korumaktadırlar. Pek çok üstün özellik arasında yüksek sertlik, tokluk, yorulma dayanımı, sünme dayanımı, alev geciktiricilik, elektrik yalıtımı, kimyasal dayanım, aşınma direnci, düşük sürtünme katsayısı, dış koşullara karşı direnç, geniş renk aralığı ve işlem kolaylığı bulunur [Yılmaz, Taşdelen, 2018].

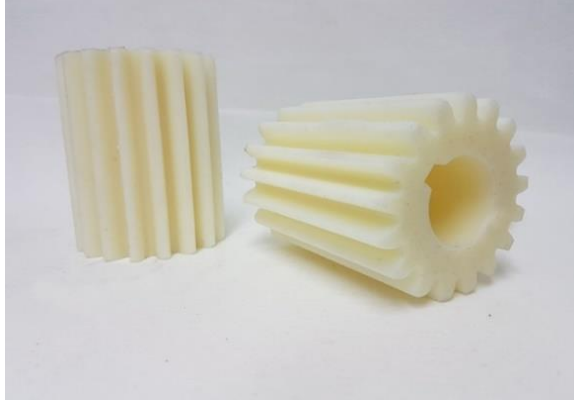
Poliamid dayanıklı ve elastik modülü yüksek aynı zamanda da aşınmaya karşı dayanıklı bir polimerdir. Mukavemet ve düşük sürtünme gerektiren dişli, yatak vb. kısımlarda metal yerine kullanılabilir [Erbay, 2009].

Poliamid birçok alanda kullanılan bir plastik çeşididir. Bunlardan bazıları:

- Otomotiv

Hava Yakıtı: Hava Giriş Manifoltları,
Güç Aktarma Organları: Dişliler, Kavramalar, Zincir Gergileri
Kapaklar: Motor Kapakları
Üfleme Hava Kanalları
İç mekân: Hava Yastığı Kanisterleri
Dış mekân: Izgaralar, Kapı Tutamakları, Jant kapakları, Ayna

Şekil 3.1.'de otomotivde kullanılan bir dişli örneği görülmektedir.



Şekil 3.1. Poliamid dişli [www.cemakfirinmakinalari.com].

- Elektrik & Elektronik
Güç Dağıtımı: Düşük Voltaj Vites Dişliler
Konnektörler: Endüstriyel CEE Konnektörleri, Terminal Blokları
Elektrikli Aksamlar: Anahtarlar
- Genel Endüstriler
Elektrikli/Güç Aletleri: Yuvalar ve Dahili Parçalar
Spor: Kayak tutturucuları, İç Hat Patenleri (In-Line Skates)
Raylar: Ray Ped'leri
Döküm Tekerler
Mobilya: Muhtelif Aplikasyonlar
Off Shore Tubing
Ambalaj Filmleri [www.aydinplastik.com]

Şekil 3.2.'de yapısında poliamid bulunan fren hava hortumu örneği görülmektedir.

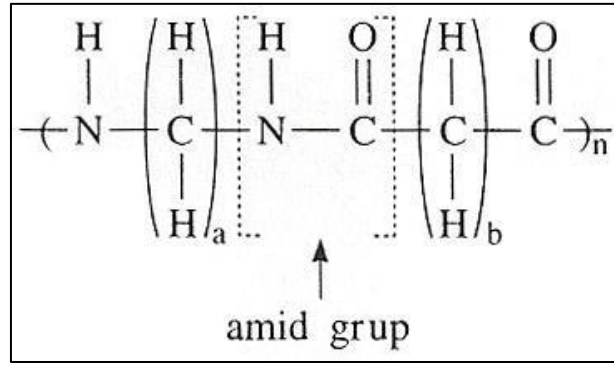


Şekil 3.2. Poliamid fren hava hortumu [www.hakanotomotiv.com.tr].

3.1.1.2. Poliamid yapısı

Poliamid ailesinin belirleyicisi amid grubudur. Monomerlerin yoğunlaşmak polimerizasyonu sonucu poliamid oluşur. Hem N-H bağı hem C-O bağları polardır, N ve O da negatif uçlardır. Bu polarite, bitişik naylon molekülleri arasında ikinci bağların oluşumuna sebep olur. Bu ikincil bağlar (H bağları) naylon moleküllerin kombinasyonuna göre hareketlerini sınırlar ve gerilme mukavemetini artırır. Ek olarak, ikincil bağlar, yüksek kristalleşmeleri nedeniyle naylon moleküllerinde oluşan sıkışmayı gevşetirler. Bu kristalizasyon, yüksek mukavemet, yüksek rijitlik, düşük gaz ve buhar geçirgenliği, yarı saydamlık, dar bir erime aralığı, yüksek sıcaklıkta işleme kabiliyeti sağlar [Erbay, 2009].

Şekil 3.3.'te poliamidlerin yapısına dair bir görsel verilmiştir.



Şekil 3.3. Poliamidler için tekrar eden polimer birimi [Strong, 2000].

Amid gruplarındaki karbonların sayısı farklı poliamid türlerini oluşturmaktadır. Poliamid 6-karbonlu bir diamin ve 12-karbonlu bir diasitten oluşmuşsa ortaya çıkan poliamide Poliamid 6.12 adı verilmektedir [Erbay, 2009].

Bunun dışında poliamidler monomer uçlarında amin grubu ve asit grubunun yer almasıyla yalnız tek bir monomerdan de oluşabilirler. Poliamid 6, poliamid 11, poliamid 12, poliamid 6.6, poliamid 6.12 gibi ticari amaçlı poliamidler içinde en sık kullanılanı poliamid 6.6'dır [Erbay, 2009].

Diamin ve diasit içindeki 6 karbon düşük maliyetlidir ve monomerlerin özelliğini gösterir. Uzun zincirler kısa zincirlere göre daha esnektir. Kısa zincirler güçlü, sert ama kırılmandır 6 karbonlu zincirler yeterli esnekliğe ve iyi tokluğa sahip kristal, sert ve dayanıklı bir poliamid olan poliamid 6.6 yı oluştururlar [Erbay, 2009].

Poliamidlerin güçsüz yönlerine örnek olarak bazı niteliklerinin nemli ortamlarda değişikliğe uğramaları, kuvvetli asitlere karşı dayanıklı olmamaları verilebilir [Erdoğan, 2010]. Çizelge 3.1.'de iki farklı poliamid türünün fiziksel ve mekanik özellikleri yer almaktadır.

Çizelge 3.1. Poliamid 6.6 ve Poliamid 6.10 plastiklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin karşılaştırılması.

Malzeme Özellikleri	Poliamid 6.6	Poliamid 6.10
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	1.12-1.14	1.12-1.14
Gerilme Kuvveti (MPa)	85-100	80-100
Elastik Modülü (MPa)	3000-3500	2600-3000
Darbe Dayanımı (kJ/m ²)	4-10	4-10
Deformasyon Sıcaklığı (°C)	75	180
Erime Sıcaklığı (°C)	255-265	220-223

3.1.1.3. Kestamid

Mühendislik alanında en çok kullanılan plastiklerden biri olan poliamidin dökümü ile döküm poliamid olarak da adlandırılan kestamid elde edilir. Kestamidin sert ve sıkı bir dokusu vardır. Kimyasal açıdan değerlendirildiğinde üstün özelliklere sahiptir, bunun nedeni çapraz bağlı molekül yapısına sahip olmasıdır. Sert dokusunun nedenleri olarak yüksek molekül ağırlığı, çapraz bağlı ve kristal yapısı sayılabilir. Sert olması dolayısıyla sert, bükülmeye ve aşınmaya dayanıklıdır. Sarı renkli olan kestamid istenen renkte üretilebilmektedir. Pompa ve vana kılıfları, besleme vidaları, araba tekerlekleri, contalar, manifoldlar kullanım alanlarından bazılarıdır [www.polikim.com.tr]. Şekil 3.4.'te kestamid çubuk yer almaktadır.



Şekil 3.4. Kestamit Çubuk [www.metalreyonu.com.tr].

3.1.2. Polietilen

Polietilen 1884'de Kustavson tarafından ilk kez sentezlenmiştir. 1938'de İngiltere'de yüksek basınç altında 500 atm ve 180-200 °C'de sanayi üretimi başlamıştır [Sezer 2007]. Polietilen, yüksek basınçta etilen molekülünün veya düşük basınç ve organometalik katalizörleri eşliğinde katılma polimerizasyonu ile üretilir. Düşük basınç ürününün molekülleri dallanmamış, daha yoğun, daha az geçirgen ve daha sağlam polimerlerdir. Asit ile alkalilere karşı dayanıklılığı yüksektir. Polietilen, oda sıcaklığında hiçbir çözücüde çözünmez ancak uzun zaman alifatik, aromatik ve hidrokarbonlarda durduğunda şişer. Toluen, ksilen ve petrol eterinde yaklaşık 70 °C'de çözünürler. Polietilen, UV ışınlarından olumsuz olarak etkilenir, kırılabilirliği artar, üzerinde çatlaklar oluşur [Baysal, 1994]. Polietilenin otomotivde kullanım alanlarından biri olan cam suyu deposuna dair bir örnek Şekil 3.5.'te yer almaktadır.



Şekil 3.5. Polietilen araç cam suyu deposu [www.tudeks.com.tr].

Polietilen yüksek dielektrik özelliğine sahiptir. Aynı zamanda yüksek dielektrik özelliğine sahip apolar bir polimerdir. Bu yüzden polar sıvıların buharını oldukça az geçirebilir, apolar sıvıların buharını ise polar sıvılara göre daha fazla geçirir [Baysal, 1994].

Polietilen su buharını az geçirmesinden kaynaklı olarak birçok malzemenin kaplanmasında sıkça kullanılmaktadır [Kangallı, 2007]. Polietilen moleküldeki zincir şeklindeki makromoleküllerin farklı dallanma durumlarından kaynaklı olarak polietilen çeşitliliği meydana gelmektedir. Düz zincirli polietilen elde etmek özel şartlar gerektirdiğinden dolayı kolay değildir. Düz zincirli polietilen, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) olarak bilinir kendine özel katalizörler kullanılarak üretilmektedir bu nedenle de oldukça pahalıdır. Düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) dallanmış polietilendir ve daha kolay temin edilebilir. Yüksek yoğunluklu polietilen gibi özel koşullar gerektirmediği için o kadar pahalı değildir. Fiziksel olarak belirli bir düzende bir araya gelmesi, belirli bir ağına içine yerleştirilmesi, yani kristalleşmesi çok büyük polimer molekülleri olmalarından kaynaklı olarak zordur. Bu sebeple, düz zincirli YYPE molekülleri, dallanmış AYPE moleküllerine kıyasla belli bir dizin içinde nispeten daha rahat bir araya gelerek kristal yapı oluşturur [Basan, 2001].

Ambalajdan otomotive, inşaattan tarıma birçok alanda polietilene sıkça rastlanmaktadır. Geçmiş yıllarda çevre ile ilgili düzenlemelerin de tesiri ile geri

dönüşümü yapılabilir olan PE dünyada en sık kullanılan plastikler arasına girmiştir. Polietilenleri sera örtüleri, çöp ve gübre torbaları, boru, ambalaj kaplama, enjeksiyon ürünleri, oyuncaklar, her türlü kablo ve elektrik elektronik yalıtımında, endüstriyel film, mutfak eşyaları, metal üzerine kaplamalar gibi alanlarda kullanılabilir. Ek olarak, kimya sanayisinde ambalaj ve yüzey kaplamada asit ve baza dayanımlarından dolayı sıkça kullanılmaktadır [Ceylan, 2006].

3.1.3. Polistiren

Stiren monomerlerinin biraraya gelerek polistiren oluşturmaktadır. Bu polistiren zinciri yaklaşık olarak 750 ile 1300 stiren monomerinden oluşmaktadır. Stiren, 145 °C sıcaklıkta hızla polimerleşebilmektedir. Stiren 145 °C’de kaynar, 100 °C'nin altında şeffaf ve katıdır. Sıcaklık 100 °C'nin üzerine çıktığında yumuşayıp akışkan hale dönüşmektedir bu sayede de kolayca kalıplama ve şekillendirme yapılabilir [Yaşar, 2001; Ekşi, 2007]. Polistirenin otomotivde kullanımına bir örnek Şekil 3.6.’da yer almaktadır.



Şekil 3.6. Polistiren otomotiv spoiler pick up kasa kapağı [www.polikarbonfiyat.com].

Polistiren en yaygın olarak kullanılan plastiklerdendir. Stirenin polimerizasyonu ile elde edilen 2 türü vardır. Bunlar; “kristal polistiren” veya “genel amaçlı polistiren”dir. Bir diğer polistiren türü stiren monomerinin polibutadien kauçuğu ile aşlanarak üretilmesiyle ortaya çıkan antişok polistirendir. Polistireni amorf yapıda olması

dolayısıyla termoplastik sınıfında en avantajlı olanlardandır. Camsı halden eriyik hale geçerken düşük bir enerji harcanmaktadır. Kristalizasyon enerjisinin olmaması ve hızlı ısıtılıp soğutulabilmesi sayesinde hızlı kalıplanma avantajı bulunmaktadır. Ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama metodları ile düşük bir enerji ile, bozunmadan rahatlıkla kalıplanabilir [Tuğ, 2005]. Polistirenin karmaşık yapıda olması, kristal yapılı polietilen ve polipropilen gibi plastıklere göre kalıplama esnasında çekme miktarının çok az olmasına sebep olur (%0,45). Elektrik yalıtımı özelliği dolayısıyla bütün polimer tipleri arasında en iyisidir. Dielektrik sabiti 20-80 °C arasındadır ve sıcaklıktan bağımsızdır [Taşkiran, 2001].

3.1.4. Polivinil Klorür

Ekstrüzyon, basınç kalıplama ve enjeksiyon gibi yöntemler yardımıyla üretimi gerçekleştirilebilen ve çeşitli katkı maddeleriyle karakteristiği değiştirilebilen bir malzeme olan polivinil klorür vinil polimerleri içerisinde en yaygın kullanılan malzeme olma özelliğine sahiptir. Polivinil klorür amorf yapıda bir plastiktir. PVC 60 °C işlenebilme ve 80 °C yumuşama sıcaklığına sahiptir. Aynı zamanda alevle teması halinde yanmamaktadır. Kolay bir yöntem olması dolayısıyla geri dönüşüm tesislerinde polivinil klorür malzemeleri diğer malzemelerden ayıklamak için bu ayırt edici özelliğinden yararlanılmaktadır. Polivinil klorür yapısında bulundurduğu klordan dolayı yanmamaktadır. İki çeşit PVC malzeme vardır. İlki sert olanlar boru ve pencere profili gibi dış ortam şartlarına dayanım gereksinimi yüksek olan yerlerde kullanılmaktadır. Yumuşak olan türleri ise zemin döşemeleri, eldiven ve kablo gibi malzemelerin yapımında tercih edilmektedir. Polivinil klorür, oksijen ve ısıya karşı dayanıklı değildir. PVC türlerinin büyük çoğunluğu katkı maddesi katılarak işlenebilmektedir. Katkı maddesi katılması mekanik özelliklerini molekül ağırlığını artırarak iyileştirdiği için oldukça önemlidir. Ekstrüzyonla üretim, polivinil klorür üretimi için en çok kullanılan yöntemdir [Kaya, 2005].

3.1.5. Polikarbonatlar

Levha halinde üretilen polikarbonatlar tok ve şeffaf termoplastiklerdir. Yüksek darbe mukavemetine sahip olup, camdan yaklaşık 150 kat daha dayanıklıdırlar. Aynı zamanda iyi akustik özelliğe de sahiptirler. Yüksek ışık geçirgenliğine sahip polikarbonatlar optik olarak da oldukça temizlerdir. -40 °C ve 135 °C arasındaki sıcaklıklara dayanıklı olmalarının yanı sıra iyi mekanik özelliklere de sahiptirler. 140°C'den sonra kullanılamazlar ve bu sıcaklıkta yanarlar ancak yanma işlemi devam etmediği için alev almadan sönerler. Kimyasal açıdan değerlendirildiğinde asitler tarafından aşınmaya uğramazlar ancak alkalilerden etkilenir ve petrol kaynaklı yakıt veya yağlara karşı aynı direnci göstermezler. İyi birer yalıtkanlardır. Çeşitli sıcaklık ve nem durumlarında bu özelliklerini koruyabilirler. Polikarbonatlar; otomotiv sanayinde sinyal lambalarında, sağlık donanımı, sokak ve trafik lamba armatürlerinde, güneş kolektörü camları, yüksek basınç ve yüksek sıcaklığa dayanıklı pencereler, lensler, elektronik ve telekomünikasyon parçaları, büro ve iş makineleri gövdeleri yapımında, hassas cihaz, gıda ambalajlarında, inşaat ve dekorasyonda, elektrik yalıtımları, kalkan ve kask imalatında, kış bahçeleri, karayollarında ses bariyeri olarak kullanımı, kurşungeçirmez cam vb. malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır [Erdem, 2008].

3.1.6. Polipropilen

En hafif termoplastik olan Polipropilen kısmikristalin bir yapıya sahiptir. Birçok termoplastik üretim tekniği ile üretilebilmektedir. Polipropilen güneş ışınlarına karşı dayanıksız olduğu için dış ortamlarda kullanılması tercih edilmemektedir. 1950'li yıllarda polietilenin icat edilmesiyle polipropilenin bulunmasına öncü olmuştur [Kaya, 2005]. Polipropilenin otomotivde akü yapımında kullanımına örnek Şekil 3.7.'de yer almaktadır.



Şekil 3.7. Polipropilen traksiyoner akü [www.yigitaku.com].

Polipropilen, polietilen gibi maliyeti düşük bir malzemedir. Ancak polietilene kıyasla polipropilen darbeye, neme, baskı ve çatlamalara karşı yüksek mukavemete sahiptir. Bunun dışında üretimi kolay aynı zamanda da ekonomik bir malzemedir. Bu yüzden oldukça sık tercih edilmektedir. Ancak darbe dayanımı düşük sıcaklıklarda iyi değildir bu durum kullanım alanını daraltmaktadır. Ev, hastane ve laboratuvarlarda kullanılan malzemeler, tekstil endüstrisinde, aerosol vanası ve kapağı, tıbbi ekipmanların yapımında, ayakkabı topuğu, otomotiv sanayi, tekstik ve yiyecek paketlenme, mürekkep kapları, şişe, şişe kapakları, menteşe yuvaları ve akü kutusu gibi parçaların yapımında sıkça rastlanmaktadır [Kaya, 2005].

3.1.7. Polietilen tereftalat

Polietilen tereftalat termoplastik bir eriyiktir. Düşük viskoziteli veya yüksek viskoziteli olarak ikiye ayrılmaktadır. Düşük viskoziteli “Staple PET” reçine iplik, şişe, fotoğraf filmi üretimi gibi birçok uygulamalarda tercih edilmektedir. Yüksek viskoziteli reçineler yani “Endüstriyel” veya “Heavy Denier” PET ise lastik kablo, emniyet kemeri vb. ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır. PET reçineler ticari olarak etilen glikol ve dimetiltereftalat (DMT) veya tereftalik asitten (TPA) üretilmektedir. Dimetiltereftalat ve tereftalik asit katıdır. Tereftalik asit süblimleşirken dimetil tereftalat 140 °C’de erimektedir. Üretim iki adımda yapılmakta, birinci adımda bis-(2-hidroksietil)-tereftalat (BHET) monomeri ve metanol veya su ortaya çıkmaktadır.

Sonrasında ise bis-(2-hidroksietil)-tereftalat monomeri basınç, sıcaklık ve katalist etkisiyle polimerleşmekte ve PET eriyik üretilmektedir. Dimetiltereftalat kullanılan süreçte metanol üretildiği ve metanol geri dönüşüm sistemi, safsızlaştırma operasyonları gerektirdiği için tereftalik asit ile üretimi yaygınlaşmıştır [Küçükgül ve Kırşen, 2007].

3.1.8. Polimetil metakrilat

PMMA yüksek saydamlığı, ısıya dayanım, yüksek mukavemet ve stabil boyutu çizilmeye karşı dayanıklılığı ile tercih edilmektedir. Bu nedenle genellikle otomotiv sektöründe sinyal, stop üretiminde ve aydınlatma sektöründe kullanılmaktadır. Dış hava koşullarına dayanıklıdır bu sayede de gösterge panellerinde, reklam sektöründe billboardlarda sıkça kullanılabilir [www.pagev.org].

3.2. TERMOSET PLASTİKLER

Termoset plastikler zincirleri arasında yoğun çapraz ağ yapısı bulunan, ısı ile sertleşip daha sonra tekrar eski haline dönmeyen plastiklerdir. Bozunmaları için yüksek sıcaklık gereklidir. Sertlikleri ve aldıkları şekli uzun süreli muhafaza edebilmeleri çapraz bağlı yapıları sayesinde. Termoset plastikler ısıtıldıkları zaman termoplastiklere kıyasla yumuşamazlar ve erimezler, hatta tam tersi sertleşirler. Termoset plastiklerin polimerizasyonu genelde iki aşama halinde gerçekleşir ve iki aşamanın sonunda istenen ürün elde edilir. İlk aşamada mol kütlesi 500 - 5000 arası değişen düşük mol kütleli doğrusal bir önpolimer hazırlanır. Önpolimer içerisine boya vb. çeşitli katkı maddeleri katılır ve viskoz sıvı görünümünde bir karışım elde edilir. Kalıplama işleminden sonra kullanılabilir termoset malzemeye dönüşecek olan bu viskoz sıvıya reçine denir. İkinci aşamada reçine uygun kalıplara koyulur ve radikalik başlatıcı kullanımı, ısı, ışın gibi etkilerle çapraz bağlı yapıya dönüştürülür [Saçak, 2005]. Aşağıda Şekil 3.8.'de yapısında termoset plastik bulunduran Hummer marka bir araç görseli bulunmaktadır.



Şekil 3.8. Yapısında termoset SMC kompozitler barındıran Hummer H2 SUT [www.grafen.com.tr].

3.2.1. Alkidler

Bu plastiklerin en önemli özellikleri çok düşük su emme, çok iyi elektrik özelliği gösterirler, fiyatları oldukça düşüktür. Alkalilerden etkilenir, fakat zayıf asitlere dayanıklıdır. Özellikle elektrik malzemelerinde çok kullanılırlar [w3.balikesir.edu.tr].

3.2.2. Amino (Melanin-Üre)

Oda sıcaklığında sıvı, katı ve kuvvetlendirilmiş olarak bulunurlar. Bir katalizör, ısı altında malzeme sert ve mukavim hale gelir. Amino plastikler üre ve melaminden elde edilirler. Amino reçineleri, sert, rijit, aşınmaya dayanıklı, yük altında çok az şekil değiştirirler. Elektrik yalıtkanlığı iyi, yiyeceklere koku vermezler. Alev karşı dayanıklılıkları iyidir. Ağaç yapıştırıcıları, kaplamalar da kullanılırlar. Düğme, tabak, bardak, elektrik parçaları olarak yapılırlar [w3.balikesir.edu.tr].

3.2.3. Epoksi Reçine

Termoset bir plastik olan epoksi reçine yüksek yapıştırma gücüne sahiptir. Genel amaçlı yapıştırıcılarda, otomotiv endüstrisinde, spor aletlerinin üretiminde, fiber

takviyeli plastiklerde kullanılabilir. Termik özellikleri ve kimyasal mukavemetleri çok iyidir. Havada dayanıklılıkları iyidir, neme ve ısıya karşı uzun ömürlüdürler. Düşük olan dayanımları lifli güçlendiricilerle iyileştirilebilir [www.malzembilimi.net].

3.2.4. Fenolikler

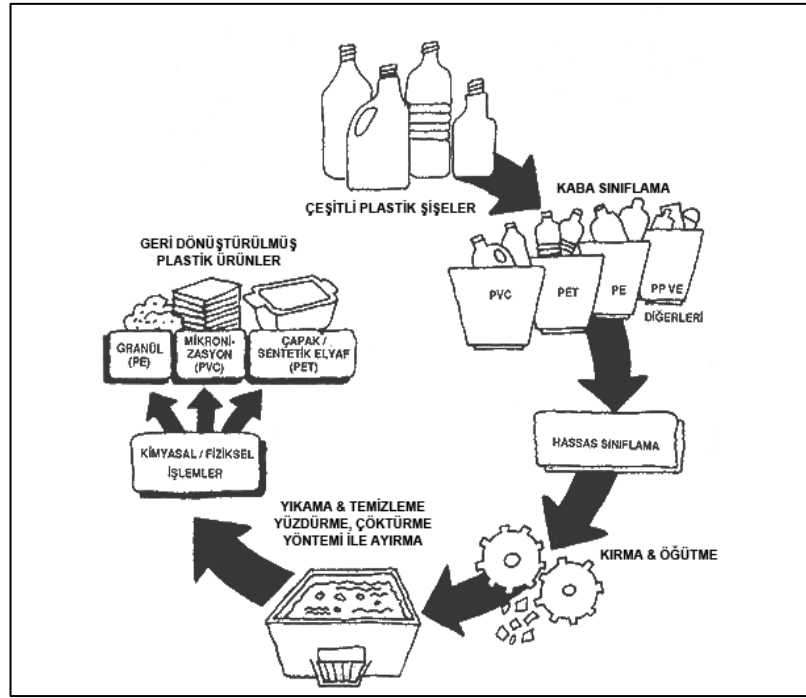
Genel amaçlı, katkısız, darbeye karşı mukavemetli, ısıya mukavemetli, iyi elektrik özelliği olan, malzemelerdir. Elektrik parçaları, düğme, açık havada çalışan pompa gövdeleri, elektrik süpürge parçaları, yapıştırma, emdirme, kaplama gibi alanlarda kullanılır [www.plastikpazari.com].

3.2.5. Polyester

Genellikle termoset polyester cam ile kuvvetlendirilmiş olarak CTP şeklinde kullanılır. Bu reçineler kütle kalıplama ve levha kalıplama şeklinde de bulunurlar. Mekanik özellikleri katkı elemanlarına göre çok farklılıklar gösterir. Tekne, mimari paneller, atletizm elemanları, su depoları, sandalye, mobilya yapımında kullanılırlar [w3.balikesir.edu.tr].

3.3. GERİ DÖNÜŞÜM

Çeşitli fiziksel ve/veya kimyasal işlemlerden geçirildiğinde yeniden değerlendirilme imkanı olan atıkların ikincil hammaddeye dönüştürülerek üretim sürecine tekrar dahil edilmesine geri dönüşüm denir [Yurtseven, 2017]. Şekil 3.9.'da plastiklerin geri dönüşümü şematize edilmiştir.



Şekil 3.9. Plastik ambalajların geri dönüşümü [www.kimyasalgelismeler.com].

3.3.1. Plastik Atık Yönetimi

Mevcut atık yönetimi dört seviyeli bir hiyerarşik yaklaşımla açıklanabilmektedir:

- Azaltma; Ortaya çıkan atık meblağını azaltmak için ürün tasarımında yapılacak iyileştirmeler sayesinde hammadde tüketimi en aza indirilerek, yaşam döngüsü sona erdiğinde ortaya çıkan atık miktarı azımsanamayacak miktarda azalır. Ancak bu değişiklikler ürünün mekanik özelliklerini olumlu etkileyebildikleri gibi olumsuz da etkileyebilmektedir.
- Yeniden kullanma; Bu yöntem, başka ürünlerin desteğiyle ya da desteksiz olarak, ambalaj malzemelerinin doldurulduğu ya da tasarlandığı amaç için ambalajlama mallarına uygulanabilmektedir. Temeli, bertaraf etmek yerine malların ve ambalajların yeniden kullanılmasını sağlamaktır. Bu yöntem özellikle şişe, çanta vb. için kullanılmaktadır.
- Geri dönüşüm; Eğer geri dönüştürülecek ürün için harcanacak geri dönüşü enerjisi yeni ürün üretmek için gerekli enerjiden düşükse kullanılır. Geri

dönüşüm atıkların tüketim döngüsüne tekrar dönmesine izin verir. Mekanik ve kimyasal olmak üzere iki çeşit geri dönüşüm türü bulunmaktadır.

- Enerji geri kazanımı; Geri dönüşümü mümkün olmadığı veya geri dönüştürülmüş ürün için pazar bulunmadığı durumlarda atık yakılarak atık yakma ısısından enerji üretilir. Plastikler kalorifik değeri yüksek malzemeler olmaları dolayısıyla plastik atıklar yakma tesislerinde üretilen enerjiye oldukça büyük katkı sağlar [Aguado, Serrano, 1999].

3.4. OTOMOTİVDE PLASTİK KULLANIMI

Otomotiv sektöründe sıkça kullanılan plastik, aracın birçok bölümünde karşımıza çıkmaktadır.

3.4.1. Gövde

Araç gövdesinde yatay, dikey panellerin ve kapakların farklı fiziksel taleplerini yansıtan birçok çeşit plastik formülasyonu kullanılmaktadır. Plastiklerin araç içinde kullanıldığı alanlar şu şekildedir:

Yatay panellerde; PP, ABS, PPE, PP/PS karışımları, ASA/ABS karışımları, PC/PBT karışımları, PSU/PP karışımları, SMC, BMC, PUR.

Dikey panellerde; PE, PP, PET, PPE/PA karışımları, TPO, SMC, UP.

Kaplamalar için; SMC, PUR, PPE/PA karışımları, PC/PBT karışımları, PC/ABS karışımları kullanılmaktadır [Maxwell, 1994].

3.4.2. Cam

Plastik cam sistemleri, birçok otomobil üreticisi ve tedarikçisi tarafından geliştirilmektedir. Kaplanmış PC en çok tercih edilen malzemedir ancak PAI, PMMA veya PMMI gibi diğer plastikler de yakın gelecekte kullanılmak üzere test edilmektedir. PC'nin öncelikli olarak yan camlarda kullanılması öngörülmektedir; ön

camlarda kullanılması yakın gelecekte olası değildir. Termoplastik malzemelerin otomotiv camları için başarısı ve devamlılığı; şeffaf, aşınmaya ve UV ışınlarına dayanıklı kaplamaların geliştirilmesine bağlıdır [Maxwell, 1994].

3.4.3. İç Tasarım

Ekonomik geri dönüşüm için, gösterge paneli de dahil olmak üzere iç donanımlar, araçtan kolayca çıkarılabilir olmalıdır. Bunun dışında estetik beklentiler ve gerekliler de bulunmaktadır. İç mekanlar, uzman üreticiler tarafından komple bir modül olarak tasarlanma eğilimindedir. PVC hala birçok modelde kullanılmaktadır, ancak kullanımının kademeli olarak azalması beklenmektedir. Kapı kalıplarında, kapı astarları için birçok çeşit plastik kullanılabilir, ancak bunun yerine doğal elyafları takviye olarak kullanma eğilimi yaygınlaşmaktadır [Maxwell, 1994].

3.4.4. Motor Parçaları

Kaporta altındaki birçok parça için plastik tercih edilmektedir. Kullanılan ana plastik poliamiddir ve PA türü olarak PA 6 ve PA 66 kullanımı da oldukça yaygındır. Çok yüksek sıcaklık uygulamaları için de PA 46 kullanılmaktadır [Maxwell, 1994].

BÖLÜM 4

OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE HAFİF MALZEME KULLANIMI

Araç tasarımında güç, emniyet ve konfor ihtiyaçlarının sağlanması sonucunda araç ağırlığı artmaktadır. Örneğin ihtiyaçların artmasıyla ortaya çıkan hava yastıkları, klima, büyüyen araç ebatları vb. durumlarda araca fazladan eklenen veya olanı değiştirme yoluyla yapılan iyileştirmeler kimi zaman ağırlık artışına sebep olmaktadır [Zeytin, 1999].

Bunların sonucunda da araç ağırlığını azaltmak bir ihtiyaç haline gelmiştir. Hafif gövdeli taşıtlarda %40 seviyelerine hafifletmeler yapılabilmektedir. Bu da en genel anlamda enerji tasarrufu ve emisyonların azaltılması anlamına gelmektedir. Taşıt hafifletmenin birçok getirisi vardır. Yakıt tasarrufu sağlamak, karbondioksit emisyonunu azaltmak, maliyet minimizasyonu sağlamak ya da ivmelenme performansını artırmak taşıt hafifletmenin getirilerinden bazılarıdır [Kartal, 2014].

Uzmanlar, bir aracın enerji tüketimini ve emisyonlarını azaltmak için en basit ve en düşük maliyetli yöntemin aracın ağırlığını azaltmak olduğunu söylemektedir. Araç ağırlığındaki %10'luk bir hafifletmenin %5 ila %7 oranında yakıt azalması sağladığı öngörülmektedir. Otomotiv endüstrisinde hafif malzemelerin kullanılması bu sebeple bir gerekliliktir [Szeteiovà, 2010].

4.1. HAFİF MALZEME KULLANIMININ YAKIT TÜKETİMİNE ETKİSİ

Araç ağırlığı azaltıldığında verimlilik artarak ulaşım için harcanan enerji tüketimini etkiler. Yakıttaki enerjinin %85'inden fazlası aktarma organlarında ısı ve mekanik verimsizlik nedeniyle tüketilirken [Pinkus, Wilcock, 1978], kalan enerjinin %12–15'i ileri harekete dayanan çekme kuvvetlerini absorbe etmek için harcanır [Cheah, 2010].

Hafifleyen aracın yokuş çıkması için gerekli enerji azaldığı için araç daha kolay hızlanabilmektedir. Bu sayede de fren kullanımı minimize edildiği için fren sürtünmeleri dolayısıyla kaybolan enerji miktarı azaltılır. Enerji korunumu arttıkça yakıt ekonomisinde de iyileşmeler görülür yani yakıt tüketimi azalır. Hafifletme sayesinde aynı performans ve akselerasyon seviyesini sağlayacak daha küçük motor kullanılabilir duruma gelmektedir. Küçük boyutlardaki motorlar yüksek ortalama verimle çalışmaya daha yatkındır. Bu da aynı yakıt miktarıyla daha uzun menzil ve daha büyük güç ortaya çıkarır. Bu sayede yakıt tüketimi azaltılır [Kartal, 2014].

Yapılan bir çalışmada boş ağırlığı ve yakıt tüketimi verilerini araç performansını normalleştirmek için bir teknikle birleştiren bir model yardımıyla, araç ağırlığındaki % 10'luk bir düşüşün, otomobiller için yakıt tüketiminde % 5,6 ve hafif kamyonlar için yakıt tüketiminde %6,3 azalma sağladığı sonucuna ulaşılmıştır [Cheah, 2010].

Diğer çalışmalarda daha karmaşık modeller kullanılmıştır. Motor orijinal aracın performans özelliklerini koruyarak yeniden boyutlandırıldığında, araç ağırlığında % 10'luk bir azalma için yakıt ekonomisinde %6.8'lik bir iyileşme olduğunu [Casadei, Broda, 2007]; Farklı bir ayrıntılı modelleme tekniği kullanılarak yapılan benzetim çalışmasında, ağırlıkça % 10'luk bir azalmanın, otomobiller için yakıt tüketiminde % 6,9 ve hafif kamyonlar için yakıt tüketiminde %7,6 azalma sağladığını göstermektedir [Bandivadekar vd., 2008].

Elektrikli araç ve hibrit elektrikli araçların (HEA) gelişimi için bataryaların gelişmesi oldukça önemlidir. Günümüzde yer alan elektrikli taşıtların en büyük sorunu batarya ağırlığı ve buna bağlı olarak da taşıtların gidebildiği maksimum mesafedir. Bataryalar üzerinde yapılan çalışmalarla şarj sürelerinin kısaltılması, şarjın daha uzun süreli korunabilmesinin yanında hafifletme de petrol kullanmayan taşıtların pazar payını artırabilmektedir [Kartal, 2014].

Hafifletmenin emisyonlar üzerinde de oldukça önemli katkıları vardır. Dünyadaki karbondioksit oranının %20'si otomobil kullanımından kaynaklanmaktadır. Bu oran

gün geçtikçe artmaktadır. Bu durum göz önüne alındığında gelecek yıllarda emisyonların yasalarla daha katı şekilde kontrol edilmesi tahmin edilmektedir. Bunlar değerlendirildiğinde tasarımcılar adına emisyonların azaltılması oldukça önemli bir hale gelmektedir. Emisyonları azaltmak için yapılan çalışmalar emisyon değerlerinde önemli düşüşler sağlayabilmektedir. Örneğin taşıtlarda yüksek dayanımlı çelik kullanımı ile kazanımlar elde etmek mümkündür. Çeliklerle yapılan üretimi ile bir taşıtın ömrü boyunca çevreye bıraktığı CO₂ miktarında yaklaşık 2800 kg'lık bir azaltma sağlanabilmektedir. Bu kazanımların 460 kg'lık bölümü malzemelerin üretimi sırasında sağlanırken geri kalan 2340 kg'lık bölümü ise taşıtların kullanılması sırasında sağlanmaktadır [Kartal, 2014].

4.2. HAFİFLETME YÖNTEMLERİ

Otomotivde hafifletme işlemi birçok yöntem kullanılarak yapılabilmektedir.

4.2.1. Hafifletmede Alüminyum Kullanımı

Otomobillerde hafif metal kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte alüminyum da otomotiv sanayine girmiştir. Bu gelişmeler sonucunda son zamanlarda ortalama bir arabada birçok çeşit alüminyum parçalar kullanılır hale gelmiştir. Örneğin döküm yöntemiyle alüminyumdan imal edilmiş silindir kafaları, dişli kutusu gövdeleri, jantlar; ekstrüzyon yöntemiyle alüminyumdan üretilmiş radyatörler, koltuk kızakları, darbe çubukları vb. alüminyumdan üretilmiş parçalar, aracın toplam ağırlığının yaklaşık %6'sına denk gelmektedir. Alüminyum, ağırlık azaltılmasında oldukça kullanılmaktadır. Çünkü alüminyum sayesinde emniyet ve konfordan ödün verilmeden taşıt ağırlığında hafifletme yapılabilmektedir. Çelik ve bakırın yerine alüminyum tercih edilmesinin bir nedeni de alüminyumun yoğunluğunun diğerlerinin üçte biri kadar olmasıdır. Diğer malzemelere göre hafif bir malzeme oluşu alüminyumun kullanılmasının başlıca nedenlerindedir. Hafif olmasına rağmen dayanımının yüksek olması taşıtlarda sıkça kullanımının temel sebeplerindedir [European Aluminium Association, 2012; FKA, 2004].

Alüminyum kullanarak ortalama (1400 kg) bir araçta, yaklaşık 300 kg ağırlık tasarrufu sağlamak mümkündür. Yani alüminyum kullanımıyla orta büyüklükte bir araçta %20'ye yakın azalma sağlamak mümkündür [Hirsch, 1999].

Alüminyum aynı zamanda geri dönüşüme elverişli bir malzeme olması dolayısıyla da kullanıma uygundur. Alüminyumun kalitesi bozulmadan geri dönüşümü sağlanabilmektedir. Bu yüzden alüminyumun hurda değeri de oldukça yüksektir. Otomobillerde kullanılan alüminyumun %95'i hurda alüminyumdan geri dönüşüm yoluyla imal edilebilmektedir [Schultz, 1998].

Alüminyum $2,7 \text{ g/cm}^3$ lük yoğunluğu ile performans ve emniyetten ödün vermeden 300 kg'a kadar ağırlık tasarrufu sağlayan malzemedir. Alüminyumun aynı kalınlıkta çeliğin yerine kullanılabildiği durumlarda %65'e yakın değerlerde hafifletme sağlanabilmektedir. Ancak bu durum her zaman geçerli değildir çünkü alüminyumun çelik ile aynı mukavemet değerlerine sahip olması beklendiği durumlarda daha kalın alüminyum kullanılması gerekmektedir. Yapısal uygulamalarda en çok karşılaşılan oran 1,5'tur. Örneğin 1,2 mm kalınlığındaki çelik parça yerine 1,8 mm kalınlığında alüminyum kullanılabilmektedir. Bu şekilde ağırlık tasarrufu %50 olmaktadır [European Aluminium Association, 2012; FKA, 2004].

Otomobillerdeki yapının kinetik enerjiyi absorbe etme kapasitesi, kullanılan malzemenin mekanik özellikleri, dizayn ve montaj şekilleri ile belirlenmektedir. Yapılan çok sayıda çarpışma testi, enerji yutma özelliklerinin alüminyum kullanımı ile optimize edilebildiğini göstermektedir. Bu nedenle alüminyum ön darbe sistemlerinde kullanım için idealdir [Zeytin, 2000].

Sonuç olarak alüminyum parçaların kullanılmasının en önemli nedenleri şöyle sıralanabilir:

- Estetik ve güzel bir tasarım oluşturma imkanı,
- Isıyı iyi iletmesi,

- Korozyon dayanımının yüksek oluşu,
- Hafif oluşu,
- Elektriği iyi iletmesi.

Aşağıda alüminyum ve çelikten yapılmış olan birer adet otobüsün karşılaştırması üzerine yapılmış bir çalışma örneği yer almaktadır. Çizelge 4.1.'de referans alınmış bir taşıtın yakıt tipi, yolcu kapasitesi, toplam uzunluğu vb. özellikleri yer almaktadır.

Çizelge 4.1. Referans çelik taşıtın özellikleri [Özcömert, 2006].

Otobüs Tipi	Şehir İçi
Yakıt Tipi	Dizel
Yolcu Kapasitesi	44
Projeksiyon Alanı	7.8 m ²
Şasi	Ashok Leyland Viking
Toplam Uzunluk	10590 mm
Toplam Ağırlık	11500 kg

Aşağıda ise gövde yapısı ve diğer yapısal komponentlerin alüminyum ve çelik gövdeler için ağırlık karşılaştırmaları üzerine yapılmış bir çalışma bulunmaktadır.

Çizelge 4.2'de referans taşıtın çelik ve alüminyum kullanımındaki ağırlık farklılıkları bulunmaktadır.

Çizelge 4.2. Çelik ve alüminyum otobüslerin ağırlık kıyaslaması [Özcömert, 2006].

Gövde Sistemler	Çelik Otobüs (kg)	Alüminyum (kg)
Üst Yapılar	2400	1396
Gövde Panelleri	700	378
Diğer Komponentler	960	518
Toplam Gövde Ağırlığı	4060	2192
Toplam Taşıt Ağırlığı	11500	9632

Ortaya koyulan veriler analiz edilip yorumlandığında taşıtın ağırlığında yaklaşık %46 oranında azaltma sağlandığı ortaya çıkmaktadır. Çizelge 4.3.'de çelik ve alüminyum kullanımında aracın enerji tüketimi kıyaslaması bulunmaktadır.

Çizelge 4.3. Alüminyum ve çelik otobüslerin ömür boyu enerji tüketiminin kıyaslaması [Özcömert, 2006].

Taşıt Tipi	Çelik Otobüs	Alüminyum Otobüs
Ortalama Ömür (km)	6000000	6000000
Gerekli Enerji (MJ/km)	12.12	10.17
Ömür Boyu Gerekli Enerji(MJ)	7272000	6102000
Yakıt Ekonomisi(km/l)	3.13	3.57
Ömür Boyu Yakıt Tüketimi(l)	191693	168067
Ömür Boyu Yakıt Tasarrufu	-	23626

4.2.2. Hafifletmede Çelik Kullanımı

Çelik endüstrisinde her geçen gün ilerleme ve gelişme içerisinde. Otomotiv sektöründe araç ağırlığını azaltarak yakıt tasarrufu sağlamak için plastik, alüminyum kullanımı vb. yollara başvurulmaktadır. Ancak çelik hala otomotiv sektöründe önem arz eden bir yapı malzemesidir. Aynı zamanda araç hafifletmeye çalışılırken emniyette herhangi bir düşüş olması istenmemektedir [Arıkan, Başman, 2001].

Çelik endüstrisindeki gelişmeler sayesinde araç ağırlığını azaltmak bununla birlikte maliyeti düşürmek ve emniyeti sağlamak amaçlanmaktadır. Bu hedefleri gerçekleştirmek için üç ana hedef belirlenmiştir:

- Yeni çelik ürünler geliştirme,
- Çelik dönüşüm süreçlerini iyileştirme,
- En uygun parçaların tasarımını geliştirmeye çalışma [Arıkan, Başman, 2001].

4.2.3. Hafifletmede Plastik Kullanımı

Günümüzde plastikler, mukavemeti, korozyon dayanımı, tokluğu, tasarım esnekliği ve düşük maliyeti ile yüksek performansı sağlamanın dışında, genelde arabaları daha çok enerji verimli hale getirmek ve aracın ağırlığını azaltmak için de kullanılmaktadır. Ortalama bir araçta 1163 kg demir ve çeliğe kıyasla yaklaşık 150 kg plastik ve plastik kompozit kullanılır – bu da bir otomobilin toplam ağırlığının %10-15'i anlamına gelmektedir [Szeteiovà, 2010].

Otomotiv endüstrisinde, yaklaşık % 68'i temsil eden demir metaller ve alaşımlardan (dökme demir, çelik, nikel) sonra ikinci olarak en yaygın otomotiv malzemesi çok çeşitli uygulamalarda işlenmiş polimer kompozitler ve plastiklerdir. Araçların plastik içerikleri; güvenlik alt sistemleri, kapı ve koltuk donanımları dahil olmak üzere tüm iç bileşenlerin yaklaşık yarısını oluşturur [Szeteiovà, 2010]. Bu sebeple araçlarda çeliğe ve alüminyuma göre daha hafif olan plastik kullanımı araç ağırlığını azaltması açısından oldukça önemlidir.

Ağırlık tasarrufu motor üreticisinin doğrudan ilgisini çekmiyor. Ancak yakıt ekonomisi hem müşteriler hem de otomobil üreticileri için ilgi çekicidir. Direkt olarak plastik kullanımı sayesinde olduğu kabul edilen otomobil ağırlık düşüşünün %5 oranında yakıt tasarrufu sağladığı hesaplanmıştır. Küresel olarak, bu, kişi başına 15 milyon ton tasarruf anlamına gelebilir [Maxwell, 1994].

Otomobillerde plastik kullanımına kaput altı bölgesinde, yakıt depolama ve temin sistemlerinde, iç döşemelerde, ön panellerde, çamurluklarda, kanallarda, tamponlarda, göstergelerde ve daha birçok yerde rastlanabilmektedir. Plastiğin otomotiv sektöründe kullanılma nedenlerinden bazıları şunlardır:

- Çeliğe göre daha ucuz bir malzeme olması dolayısıyla araç üretim ve kullanım maliyetini azaltır
- Yüksek konfor taleplerini karşılayabilmektedir
- Geri dönüşümü kolay bir malzemedir
- Çelik, alüminyum vb. malzemelere göre daha hafiftir
- Emniyet, tasarım, yakıt tasarrufu gibi taleplere uygundur [www.pagev.org].

4.2.4. Hafifletmede Magnezyum Kullanımı

Magnezyumun otomotiv sektöründe ağırlık azaltmak için kullanılmasının dışında cazip olmasının bir diğer nedeni de kolay üretilebilir olmasıdır. Bu avantajları nedeniyle otomotiv sektöründe sıkça magnezyum kullanımına rastlanmaktadır. Magnezyumun alüminyuma göre ısı kapasitesi daha düşük olduğu için basınçlı dökümde daha hızlı işlem yapılabilir. Eş değer başlangıç değerlerine sahip olması ve parça boyutu sabit kalması şartı ile alüminyum ve çinko ile kıyaslandığında basınçlı döküm ürünü sayısı çinko için 2, alüminyum için 5, magnezyum için ise 7.5 olmaktadır. Otomotiv sektöründe üretim hızının yüksek olması gerektiği durumlarda aranan bir özelliktir. Alüminyumun mukavemet değerleri ile kıyaslandığında düşük mukavemet değerlerine sahiptir ancak kıyas yapılamayacak düzeyde değildir. Ek olarak saf magnezyumun korozyon direnci de oldukça yüksektir.

Ayrıca çelik ya da plastik kullanılarak üretilmesi istenen parça birkaç parçanın bileşiminden dolayısıyla da ağırlığı artmış bir şekilde üretilebilirken bunun yerine tek parça halinde ve daha hafif olarak üretilebilen magnezyum oldukça tercih edilmektedir. Buna örnek olarak ön panelin çelik ve plastik teknolojisi ile üretimi gerçekleştirildiğinde 25-30 kg ve yaklaşık 60 parçadan oluştuğu gözlemlenirken, magnezyum kullanılarak üretilen parçanın tek bir parça olduğu ve diğer duruma göre ağırlığının yaklaşık yarıya düştüğü gözlemlenmiştir [Kaya vd., 2002].

Magnezyumun yüksek sıcaklığa dayanıklı olduğu için otomotivde bu alanlarda sıkça karşımıza çıkmaktadır. Örneğin dişli kutuları, emme manifoldları, karterler, yağ pompası vb. gibi yüksek sıcaklığa dayanıklı olması beklenen parçaların üretimi için Mg alaşımları kullanılabilir [Barth vd., 2005].

Genel olarak değerlendirildiğinde malzeme fiyatı Mg için kendine yakın malzemelerden %60 oranında daha fazladır. Ancak daha kısa sürede daha çok ürün üretebilme özelliğine sahip olduğu için üretim kapasitesi bazında değerlendirildiğinde fiyatları uygun diye nitelendirilebilmektedir [Kaya vd., 2002].

4.2.5. Motorda Hafifletme

Motor ağırlığını azaltma işlemi daha önce anlatıldığı gibi plastik, alüminyum gibi hafif malzeme kullanılarak yapılabildiği gibi yüksek güç ağırlık oranına sahip motorlarda küçültme yoluyla da yapılabilir. Ancak bu iki yöntem ayrı ayrı değil aynı anda yapıldığında daha çok verim sağlanabilmektedir. Yani ileri düzey motor tasarımları ile hafif malzeme kullanımını aynı anda gerçekleştirmek daha etkili bir yöntemdir. Aşağıda 2.2 litrelik, 4 silindirli ve turbo şarjlı bir benzinli motor için hafifletme yöntemiyle ortaya çıkan sonuçlar verilmiştir. Motorun toplam ağırlığı 134 kilogramdır [Jen ve Lu, 2009].

Çizelge 4.4.'te farklı malzeme kullanımlarıyla araç ağırlığındaki azalma yüzdeleri yer almaktadır.

Çizelge 4.4. Ağırlığı 134 kg olan motor için hafifletme değerleri [Jen ve Lu, 2009].

Motor Bileşeni	Durum		Ağırlığın Tüm Motor İçindeki Yüzdesele Oranı	Ağırlıktaki Yüzdesele Azalma
	Alternatif	Ağırlık (kg)		
Denge Mili	Var	4.47	%3.3	%3.3
	Yok	2	%0	
Emme Manifoldu	Dökme Alüminyum	5.67	%4.2	%2.4
	Plastik	2.48	%1.9	
Karter	Dökme Alüminyum	4.8	%3.6	%1.8
	Preslenmiş Çelik	2.39	%1.8	

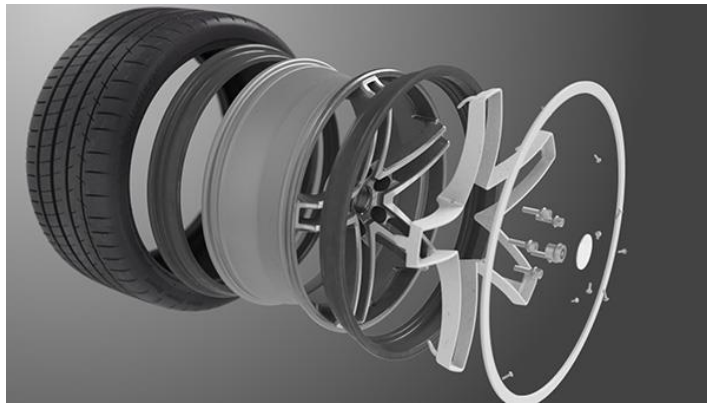
BÖLÜM 5

OTOMOTİV JANTLARI

Tekerlek jantı, lastiğin takıldığı silindirik parçanın adıdır. Bir tekerlek, jant ve disk plakası arasındaki kombinasyonun adıdır. Disk plakası silindirin içine yerleştirildiğinde, bu tertibat bir tekerlek veya tekerlek jantı haline gelir.

- Tekerlek: Tekerlek genellikle jant ve diskten oluşur.
- Jant: Lastiğin takıldığı kısımdır. Tekerleğin en dış radyal kısmıdır, lastiği yerleştirmek için kullanılır.
- Disk: Bu, dingil göbeğine sabitlendiği jantın bir parçasıdır. Jant ve merkez arasında arayüz görevi görür.
- Ofset: Göbeğin cıvatalandığı tekerlek montaj yüzeyleri ile jantın merkez çizgisi arasındaki mesafedir.
- Flanş: Flanş, lastiğin her iki tarafını da tutan jantın bir parçasıdır. İki jant flanşı arasındaki doğrusal mesafeye jant genişliği denir [Yadav ve Hanamapure, 2013].

Şekil 5.1’de bir otomobil jantının parçalarına ait görsel verilmiştir.



Şekil 5.1. Jant bileşenleri [www.maxionwheels.com]

İnsanların emniyetini sağlayan araç jantları, taşıtlar için en kritik parçalardan biridir. Lastiğin takılıp dayandırıldığı, lastikle aks sistemi arasına yerleştirilmiş, yük taşıyan ve dönen parçaya jant denmektedir. Emniyet parçaları: araç üzerinde mal ve can güvenliğini doğrudan etkileyen yasal yükümlülükleri olan parçalardır [Oytaç, 2006].

Jant ve lastik aracın zemin ile arasındaki ilişkiyi sağlar. Araçlar hareket halindeyken, yürüyen aksamla alakalı oluşabilecek herhangi bir aksaklık sonucunda önemli sorunlar yaşanabilmektedir. Bu sebeple, yüksek kalite ile üretilmiş, yüksek performansa sahip jant kullanımının önemi ortaya çıkar [Wang ve ark., 2010].

Jantın boyutu ve dizaynı ne şekilde olursa olsun, her türlü yol ve kullanım koşuluna dayanıklı, emniyetli, uzun ömürlü, aracın motor gücünü ve performansını doğrudan yansıtıyor olması dayanıklı ve sağlam olması açısından önemlidir. Bir jantın dayanıklı ve sağlam olması birçok açıdan önemlidir. Jantların çalıştığı yük değişiklik gösterebilmektedir. Bunun sonucunda da zamanla jantlarında bazı bölgeleri üzerinde çatlaklar oluşabilmektedir [Carvalho ve ark. 2010].

5.1. ÇELİK JANT

Bileşimde %2'ye kadar Karbon (C) bulunduran Demir-Karbon (Fe-C) alaşımına çelik denir. Çelikler içerisinde bulunan karbon miktarına göre; %0,25'e kadar az karbon bulundurduğu durumlarda az karbonlu, %0,25-0,55 arası karbon bulundurduğunda orta karbonlu ve %0,55 karbon üzeri karbon bulundurduğunda ise yüksek karbonlu çelik denir [Kaya, 2010].

Kimyasal bileşiminde karbondan başka, farklı oranlarda diğer alaşım elementleri ve saf olmayan (empürite) elementler de bulunur. Çelik içerdiği elementlerin kimyasal bileşimine göre farklı özellikler gösterebilmektedir. Farklı oranlarda alaşım elementleri katılabileceği gibi, çeşitli işlemler yapılarak (ıslah, normalizasyon vs.) çeliğin içyapısı da kontrol edilerek kullanım amacına göre farklı özelliklerde çelik üretilebilir [Kınıkoğlu, 2001; Onaran, 2006].

Jantlar, jant çeliklerinden soğuk Őekillendirmeye uygun olarak imal edilmektedir. İmalat sırasında bu malzemeler soğuk Őekillendirmenin dışında kaynaklı birleŐtirme işlemine de girmektedir. Ayrıca imalat sonrası koruma amaçlı kataforez ve boyama işleminden sonra fırında kurutma işlemi de gerçekleŐtirilmektedir. Ek olarak servis Şartlarında jantlar statik ve dinamik yükler etkisi altında kalmaktadır [Kazdal, 2007]. Yapısında elik bulunduran bir jant görseli Şekil 5.1.'de yer almaktadır.



Şekil 5.2. 15" elik jant [www.oto724.com].

5.2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLI JANT

Günümüzde almiyumu alaşımlı jantların sıkça tercih edilmelerinin sebebi olarak; bu jantların hafif olmaları, yüksek dayanım/ağırlık oranı, yorulma dirençlerinin ve tokluklarının yüksek olması sayılabilir. Almiyumu alaşımlı jantlar en alçak basınçlı döküm yöntemi ile üretilmektedir. Bütün bu mekanik özellikleri ve retilbilirliği göz önünde bulundurulduğunda almiyumu alaşımları otomotiv, uzay ve havacılık sektörlerinde oldukça sık karşımıza çıkmaktadır. Almiyumu alaşımlı jantlar bu sayılan mekanik ve üretilbilirlik özelliklerinin dışında üretim yöntemi karmaşık Őekillerin elde edilmesi için uygundur. [Kara vd., 2017]. Şekil 5.2.'de almiyumu alaşımlı jant görseli bulunmaktadır.



Şekil 5.3. 18" Alüminyum alaşım jant [www.fordaksesuar.com].

Ağırlık azaltma konusunda alüminyum kullanılarak yapılan bir çalışmada ağırlıkta %3 azalma sağlanmış, toplamda stepne de dahil edildiği takdirde bir araç için 1 kg ağırlık avantajı öngörülmüştür [Jape ve Jadhav, 2016]. Alüminyum jant malzemenin mekanik özellikleri Çizelge 5.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Alüminyum jant malzeme mekanik özellikleri.

Elastisite Modülü	70 GPa
Poisson Oranı	0,30
Akma Gerilmesi	165 MPa
Maksimum Kopma Gerilmesi	235 MPa
Sertleşme Gerinimi Üsteli	0,545
Yoğunluğu	2700 kg/m ³

5.3. DİĞER JANTLAR

Magnezyum alaşımli jant alüminyumdan yaklaşık %30 daha hafiftir ve boyut dengesi ve darbe dayanımı bakımından oldukça iyidir. Ancak kullanımı yarışlar ile sınırlandırılmıştır. Bunun sebebi alüminyum ile karşılaştırıldığında korozyon direncinin düşük olması ve yüksek mukavemet özellikleri gerektirmesidir. Son

zamanlarda, döküm ve dövme teknolojisinin geliştirilmesiyle ve magnezyumun korozyon direncinin artırılmasıyla daha sık kullanılabileceği düşünülmektedir.

Titanyum alaşımlı jant, korozyon direnci ve mukavemeti alüminyuma kıyasla (yaklaşık 2,5 kat) daha iyi bir metaldir, ancak makine işleme, tasarım ve yüksek maliyet nedeniyle kullanım oranı düşüktür. Yarış alanında bir miktar kullanım olmasına rağmen hala gelişim aşamasındadır [Narayana vd., 2014].

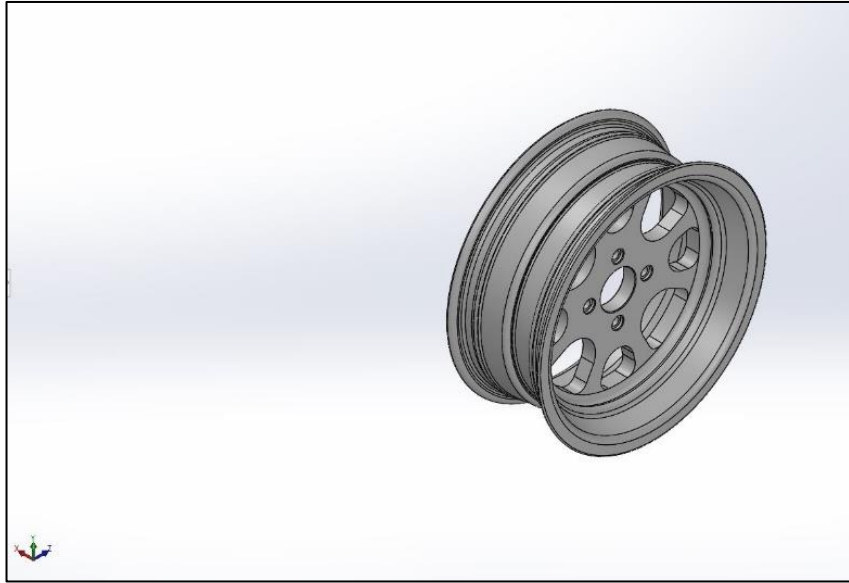
BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMA

6.1. JANT TASARIMI VE İMALATI

6.1.1. CAD Tasarımı ve Statik Analiz

Bu aşamada jantın bilgisayar ortamında tasarımı ve statik analizleri anlatılmıştır. Tasarım için SolidWorks 2019, analiz için ise NASTRAN 2019 kullanılmıştır. Jant için öğörülen tasarım girdileri, 5.5Jx14 HH2+ referans alınarak oluşturulmuştur. Şekil 6.1.'de Solidworks üzerinde hazırlanan jant tasarımı görülmektedir.



Şekil 6.1. Solidworks jant tasarımı.

Analiz girdileri için belirlenen araç ağırlığı;

Ortalama Araç Ağırlığı : 800 KG

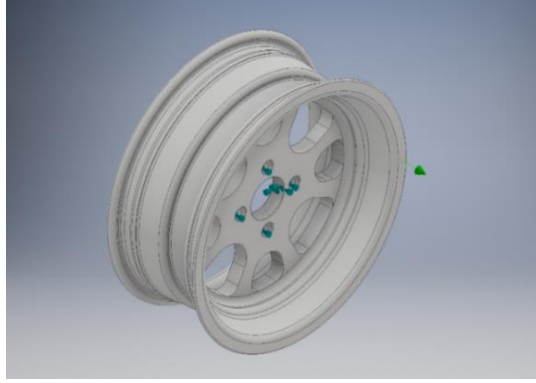
Toplam Yolcu Ağırlığı : $70 \times 4 = 280$ KG

TOPLAM = $800 + 280 = 1080$ KG

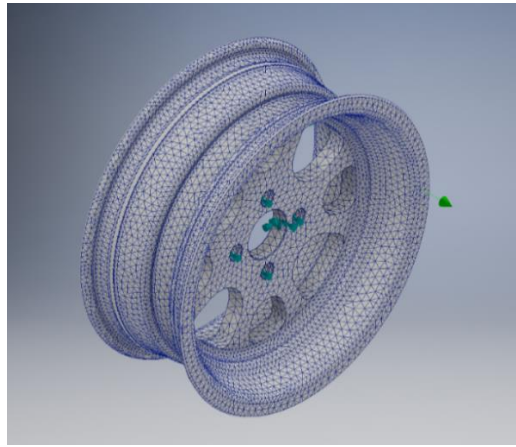
$1080 \text{ KG} \times 9,81 = 10594,8 \text{ N}$

Lastik Başına Düşen Kuvvet = $10594,8 / 4 = 2648,7 \text{ N}$

2650N kuvvet altında yapılan statik analiz için jant göbeğinden sabitlenmiştir. Bijonlar için oluşturulan delikler yardımıyla sabitlenen janta, lastik topuk bölgesinden yatay kuvvet uygulanmıştır. Jant sabitleme modeli Şekil 6.2. ve Şekil 6.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Jant sabitleme noktaları.



Şekil 6.3. Sabitleme sonucu janttaki iç gerilmeler.

Lfh89d0n2 yapısı üzerinde Autodesk Nastran Sürüm 13.2.0.168 sonlu eleman çözücü kullanılarak doğrusal statik analiz yapılmıştır. Sonlu elemanlar modeli esas olarak elemanlar içermekte ve 350586 derece serbestlikten oluşmaktadır. 1 yükleme koşulu analiz edilmiştir. Maksimum deplasman 7,047E-02 mm, maksimum von mises stresi 0,8881 MPa bulunmuştur. Sonuçlar Çizelge 6.1 ve 6.2’de verilmiştir.

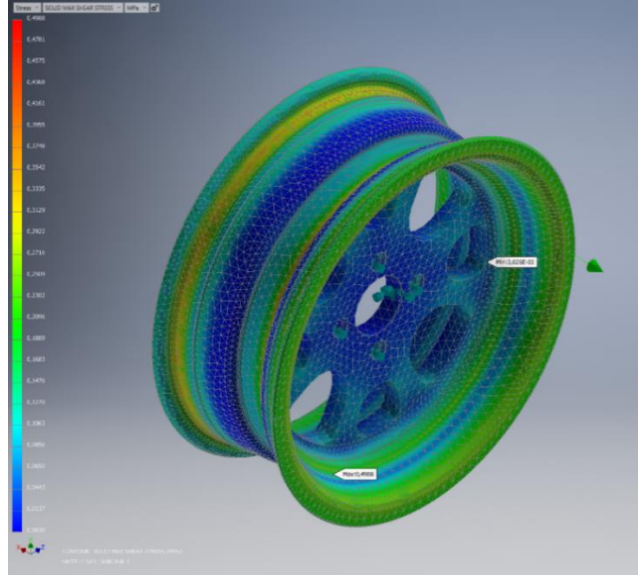
Çizelge 6.1. Maksimum minimum asal gerilme.

	Minimum Asal Gerilme (MPa)	Özellik Grubu	Maksimum Asal Gerilme (MPa)	Özellik Grubu	Maksimum Von Mises Stresi (MPa)
Miktar	-0,5332		1,135		0,8881

Çizelge 6.2. Hata tablosu.

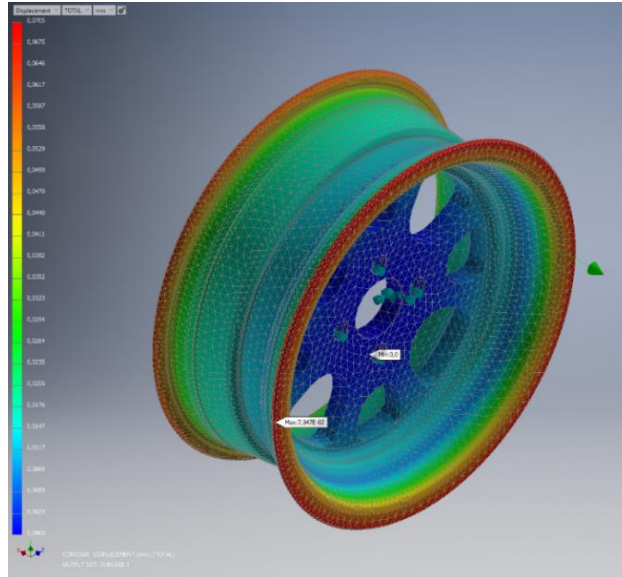
Hata	Çözüm Hatası Ölçü	Kabuk Ögesi Bağlı Gerilme Hatası	Katı Element Bağlı Gerilme Hatası
Sonuç	1,576E-09	n/a	9,764E-0

Jant sabitleme işleminden sonra uygulanan kuvvet ile jantın gösterdiği dayanım Çizelge 6.1 ve 6.2’de verilirken, NASTRAN tarafından oluşturulan görseller, Şekil 6.4’de kesme gerilmesi, Şekil 6.5’de toplam yer değiştirme, Şekil 6.6’da malzemenin elastik şekil değiştirme miktarı gösterilmiştir.



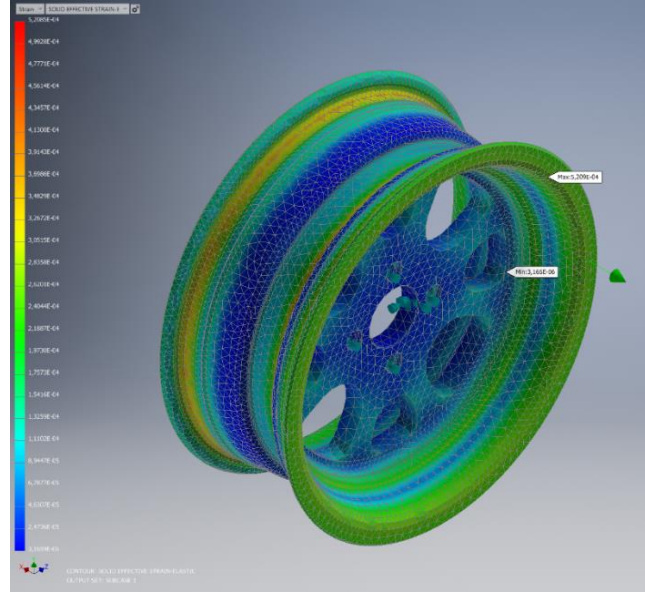
Şekil 6.4. Kesme gerilmesi.

Lastiğin janta baskı uyguladığı noktalara $1000/4=250$, $250/2=125$ kg uygulanması sonucu toplam yer değiştirme kritik seviyeleri aşmamış ve jantın yük altında lastik topuklarını baskısı ile esnememesi beklenmiştir. Şekil 6.5.'te analiz sonuçları paylaşılmıştır.



Şekil 6.5. Toplam yer değiştirme.

Test sonucunda malzemenin plastik şekil değiştirmeye uğramadığı, elastik şekil değiştirmenin kritik seviyenin altında olduğu analiz ile incelenmiştir. Analiz sonucu Şekil 6.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 6.6. Malzemenin elastik şekil değiştirme miktarı.

6.1.2. Kalıp Tasarımı

Poliamid malzemenin döküm sonrası %10-15 çekmesi hesaba katılarak 14”+çekme payı şeklinde kalıp çapı hesaplanmıştır. Yine yükseklik de 14”x5.5 jant yüksekliğine göre tolerans eklenerek belirlenmiştir. Bu aşamada maliyet sebebiyle alüminyum yerine sac levha kullanılmıştır. Kalıp tasarımı aşamasında çekilmiş bir görsel Şekil 6.7.’de yer almaktadır.



Şekil 6.7. Kalıp tasarımı.

6.1.3. Döküm İşlemi

Çalışma kapsamında özel tasarım döküm makinesi ile monomerden polimer üretimi yapılmıştır. Üretime karışımların hazırlanması ile başlanmıştır. Karışım hammadde, aktivatör, katalizör ve mekanik iyileştiricinin döküm kazanında biraraya getirilmesi ile oluşturulmuştur. 1. Kazana hammadde, aktivatör ve mekanik iyileştirici; 2. Kazana hammadde ve katalizör eklenmiştir. Kazan sıcaklığı 135-140 °C'ye getirilmiştir. Karışım 160-165 °C'de kalıba dökülmüştür. Daha sonra 50-55 dakika fırında bekletilmiştir. Bir gün oda koşullarında dinlendirilen malzeme hazır hale gelir. Şekil 6.8.'de döküm fırını yer almaktadır.



Şekil 6.8. Döküm fırını.

Malzeme kalıptan söküldükten sonra 24 saat oda koşullarında bekletilmiştir. Malzemenin %15 çekmesi ile yarı mamül boyutları 14” jant için (390mm çap) kullanılabilir boyutta üretilmiştir.

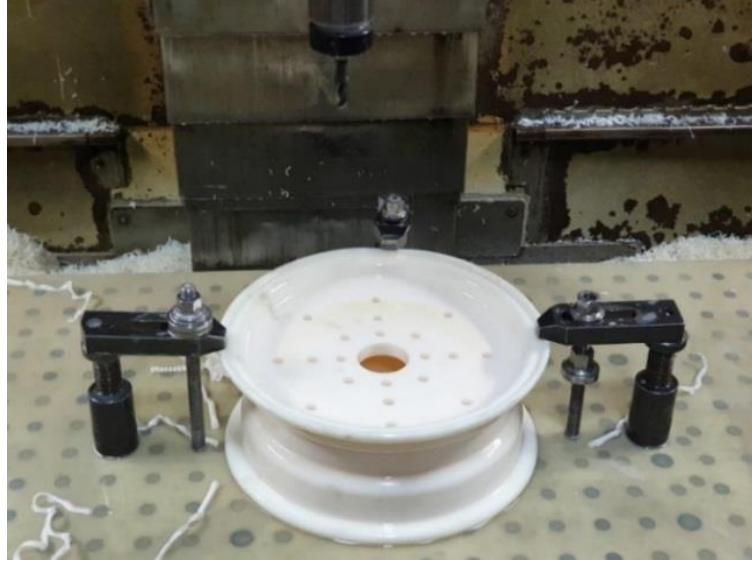
Yaygın olarak kullanılan poliamidin özgül ağırlığı 1.12-1.14 iken bu çalışma kapsamında yapılan işlemler ile güçlendirilen poliamidin özgül ağırlığı 1.15; darbe dayanımı 4-10 kJ/m² aralığında iken 104.65 kJ/m² olmuştur. Otomobillerde yaygın olarak kullanılan 14” jant 6-7 kg aralığında iken güçlendirilmiş döküm poliamid ile oluşturulan jant ağırlığı 3.5-4 kg ağırlığındadır. Bu sayede 4 jant için toplamda yaklaşık olarak 10 kg araç hafifletme işlemi yapılmıştır.

6.1.4. Talaşlı İmalat

Mühendislik plastikleri sadece yüksek teknoloji alanlarında değil, buna ek olarak spor, eğlence alanları, mobilya, inşaat tesisleri, otomotiv, elektronik, ev aletleri ve daha

yüksek direnç ve ısı gerektiren alanlar gibi günlük yaşamda da kullanılmaktadır. Tüm plastikler farklı fiziksel özelliklere sahiptir. Bu da işlem sırasında önlem alınmasını gerektirir. Isıya bağlı olarak plastiklerin termal özellikleri (ısı iletkenliği, genleşme katsayısı vb.) ve bazı mekanik özellikleri (sertlik vb.) mekanik işleme için önemlidir.

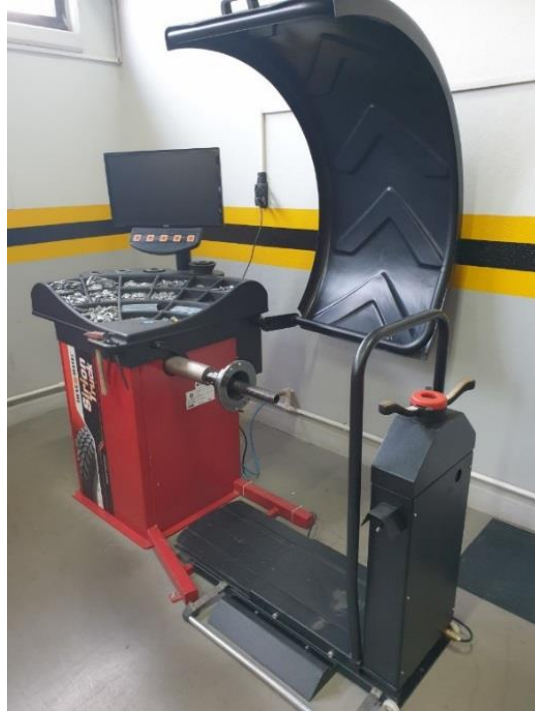
Güçlendirilmiş döküm poliamidin talaşlı imalatında torna ve freze CNC makineleri kullanılmıştır. CNC frezede malzemenin fikstür ile bağlanması Şekil 6.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 6.9. CNC Frezeye malzemenin fikstür ile bağlanması.

6.1.5. Balans

CNC Tornada oluşmuş olası salgılara karşı araca balans uygulaması yapılmıştır. Balans makinesi Şekil 6.10.'da gösterilmiştir.



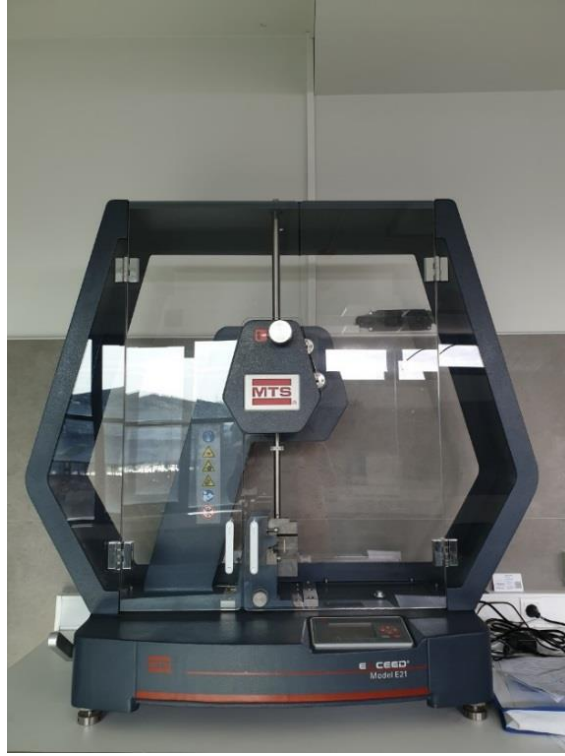
Şekil 6.10. Balans makinesi.

6.2. MEKANİK DENEYLER

Malzemenin mekanik davranışlarının tespit edilmesi için yapılan deneylerdir.

6.2.1. Darbe Deneyi

Darbe deneyi gevrek kırılmaya neden olabilecek şartlar altında çalışan malzemelerin mekanik özelliklerinin saptanmasında kullanılır. Deneyde numunenin dinamik zorlama altında kırılması için gereken enerji belirlenir. Bulunan değer malzemenin darbe direnci (darbe mukavemeti) olarak tanımlanır. Darbe dayanımında kullanılan test standartı DIN EN ISO 179-1/1eA'dır. Darbe deneyi Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi'nde yapılmıştır. Darbe deney cihazı Şekil 6.11 'de gösterilmiştir.



Şekil 6.11. Darbe deney cihazı.

Test cihazına uygun numuneler CNC Freze ile işlenerek cihaza yerleştirilmiştir. Şekil 6.12. 'de gösterilen numuneler DIN EN ISO 527-1 standartına uygun olarak CNC freze ile işlenerek hazırlanmıştır.



Şekil 6.12. Darbe ve çekme deneyi numuneleri

6.2.2. Çekme Deneyi

Plastik malzemelerin mekanik mukavemetini göstermesi açısından çekme testleri oldukça önemlidir. Bu testlerle plastiğin esnekliği, akma dayanımı, çekme dayanımı, kopma dayanımı ve uzama miktarı hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Çekme testlerinde kullanılan test standardı DIN EN ISO 527-1'dir. Çekme testi Şekil 6.12.'de görseli bulunan cihaz ile yapılmıştır.



Şekil 6.13. Çekme deneyi cihazı.

Test cihazına uygun numuneler CNC Freze ile işlenerek cihaza yerleştirilmiştir. Cihazın malzeme koptuğu andaki elde ettiği enerji ile ortaya çıkan değer referans alınmıştır.

6.2.3. Dinamik Yorulma Testi

Test cihazı, yüklü lastikten daha geniş düz bir yüzeye sahip tahrikli döner tamburdan oluşur. Tambur eksenini, test tekerleğinin eksenine paraleldir. Test tekerleği ve lastiği, tambur yüzeyine normal olarak ve test tekerleğinin merkezi ile tamburun radyal çizgisine göre yükleme sağlar. Bu test, tekerleğin bir yoldaki yuvarlanma hareketini dönen bir tamburla temas ettirerek simüle eder. Bununla, tekerlek kamburunu yapmak ve eğiltmek, virajlarda olduğu gibi ekstra bir eksenel yük oluşturmak için de bükülebilir.

Belirli bir çalışma süresinden sonra, tekerlek olası çatlaklara karşı denetlenir. Test numunesi pozisyon, uzunluk, tip ve çatlak sayısına göre değerlendirilebilir. Genel olarak, başarısızlık, çatlaklardan aşamalı hava kaybı sonucu meydana gelir. Diğer tipik kırıklar bölgesi havalandırma deliklerinde ve saplama deliklerinde ortaya çıkar. Güvenlikle ilgili bir bileşen olarak, tekerlek, araçların tüm ömrü boyunca işlev güvenilirliğini yerine getirmelidir.

Her testin amacı, tekerleğin karşılaşacağı ortak yükleri simüle etmektir. Çatlaklar oluşmadan önce tekerleğin dayanacağı yük çevrimi sayısı veya tekerlek tamamen başarısız olursa, sonraki kullanımda güvenilirliği hakkında bilgiler sağlar [Yadav, Hanamapure, 2013]. Testin yapıldığı cihaz Şekil 6.13'de görülmektedir.



Şekil 6.14. Dinamik yorulma test cihazı.

Güçlendirilmiş döküm poliamidin dinamik yorulma test parametreleri Çizelge 6.3’de verilmiştir.

Çizelge 6.3. Dinamik yorulma parametreleri.

Jant ölçüsü	5.5Jx14”
Radyal yük	9850/4 N
Devir sayısı	15250 Devir
Hava basıncı	28 PSi
Lastik ölçüsü	175/70R14
Saplama sıkma torku	84 N.m
Test hızı-Alınan yol	50 km/h – 50 km yol 60 km/h – 50 km yol 70 km/h – 50 km yol

Jantın test makinesine bağlanabilmesi için özel flanş tasarlanmıştır. Bu flanş ile jant makineye belirtilen torkta monte edilmiştir. Otomasyon üzerinden Çizelge 6.3.’te verilen değerler tanımlanmıştır.

6.2.4. Sertlik Ölçme Testi

İmal edilen malzemenin sertliği shore sclereskobu yöntemi ile ölçülmüştür. Bu yöntemde sertlik elmas uçlu bir çekiç cam boru içerisinde parça üzerine bırakılıp çekicinin zıplama boyuna göre hesaplanır.

Testlerde Shore-D yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem; polyester, ABS, naylon, poliüretan, poliamid, kevlar, akril, ahşap ve polistren gibi daha rijit malzemelerin sertliğinin ölçülmesinde kullanılmaktadır. Şekil 6.14'de sertlik ölçüm cihazı görülmektedir.



Şekil 6.15. Sertlik ölçüm cihazı.

BÖLÜM 7

DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Tasarımı ve imali yapılan jant malzemesi bazı testlere tabi tutulmuştur. Jant ile birlikte dökülen test numuneleri mekanik testlerden geçirilmiştir.

Test nümunesi darbe test cihazında test edilmiştir. Malzemenin darbe direnci belirlenmiştir. Döküm poliamid jant darbe testi verisi Çizelge 7.1’de verilmiştir.

Çizelge 7.1. Döküm poliamid jant darbe testi verisi.

Darbe Dayanımı [kJ/m ²]
104.65

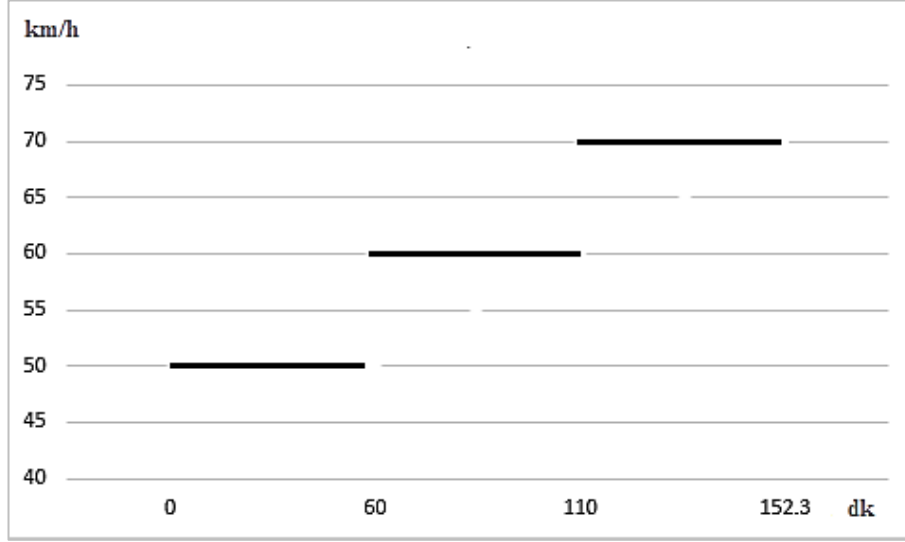
Test nümunesi çekme testine tabi tutularak malzemenin elastiklik modülü, akma dayanımı, çekme dayanımı, kopma dayanımı ve % uzama miktarı belirlenmiştir. Test sonucu elde edilen veriler Çizelge 7.2’de verilmiştir.

Çizelge 7.2. Döküm poliamid jant çekme testi verileri.

E - Modul [MPa]	Akma Dayanımı [MPa]	Çekme Dayanımı [MPa]	Kopma Dayanımı [MPa]	% Uzama [%]
1580	41,2	46,7	44,1	120

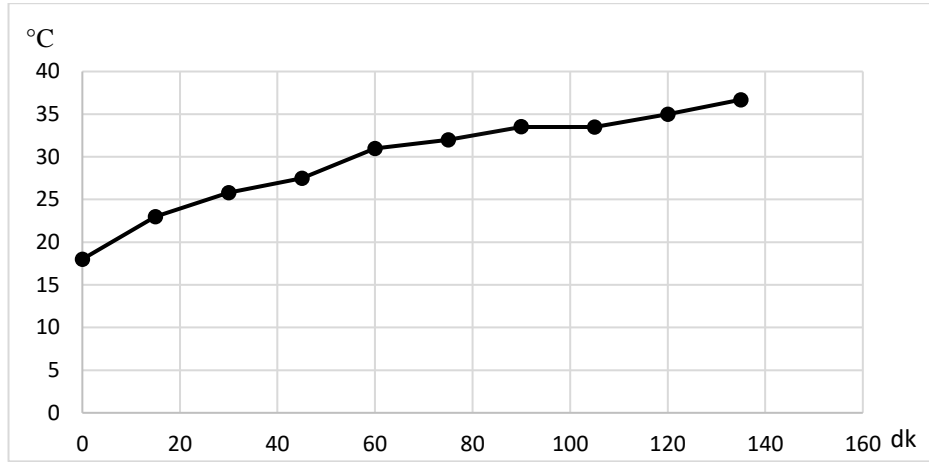
İmal edilen jant dinamik yorulma testine tabi tutulmuştur. Bu test ile tekerleğin yol şartlarında karşılaşacağı ortak yükler simüle edilmektedir. Çizelge 7.1 ve Çizelge 7.2’de verilen değerler ile dinamik yorulma test parametreleri belirlenmiştir. Dinamik

yorulma testi sonucu elde edilen hız-zaman grafiği Şekil 7.1’de, sıcaklık-zaman grafiği ise Şekil 7.2’de gösterilmiştir.



Şekil 7.1. Hız-zaman grafiği.

Dinamik yorulma sonucunda oluşan sıcaklık-zaman grafiği Şekil 7.2’de yer almaktadır.



Şekil 7.2. Sıcaklık-zaman grafiği

Grafiklerden anlaŐılacađı üzere lastik tabanındaki sıcaklık değerı aracı olumsuz etkileyecek seviyelere gelmemiŐtir. Jant ve lastik arasındaki sürtünmenin yeterli

olması sebebiyle birbirlerinden bağımsız hareket etmemiş ve sıcaklığı artırmamıştır. Buna ek olarak parametrelerde belirtilen yük altında hız ve yol isterleri tamamlanabilmiştir.

Güçlendirilmiş döküm poliamid ile üretilmiş otomobil jantı Şekil 7.3’de verilmiştir.



Şekil 7.3. Güçlendirilmiş döküm poliamid ile üretilmiş otomobil jantı.

Bu kapsamda güçlendirilmiş döküm poliamidin metal malzemelere göre daha düşük mekanik dayanıma sahip olduğu buna karşın dinamik yorulma test standartlarını sağlayabileceği öngörülmüştür.

Jant malzemesinin sertlik değerini tespit etmek amacıyla malzeme sertliği shore-D yöntemiyle ölçülmüştür. Malzeme sertlik ölçüm sonucu Çizelge 7.5’de verilmiştir.

Çizelge 7.3. Malzeme sertlik ölçüm verisi.

Sertlik değeri
80 shore D

BÖLÜM 8

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada ilk aşamada, imal edilecek poliamid jantın bilgisayar ortamında tasarımı ve statik analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler ile jant üzerindeki gerilmeler belirlenmiştir. İkinci aşamada, özel bir döküm makinesi ile güçlendirilmiş döküm poliamid üretimi yapılmıştır. Güçlendirme işlemi; aktivatör, katalizör ve mekanik iyileştirici yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Üretilen malzeme imalat süreçlerinden geçirilerek otomobil jantı formuna getirilmiştir.

Yaygın olarak kullanılan poliamidin yoğunluğu 1.12-1.14 g/m³ iken güçlendirme işlemi ile poliamidin yoğunluğu 1.15 g/m³; darbe dayanımı 4-10 kJ/m² aralığında iken güçlendirme işlemi ile 104.65 kJ/m² olmuştur.

Otomobillerde yaygın olarak kullanılan 14" jant 6-7 kg aralığında iken güçlendirilmiş döküm poliamid ile oluşturulan jant ağırlığı 3.5-4 kg ağırlığındadır. Bu sayede 4 jant için toplamda yaklaşık olarak 10 kg'lık hafifletme sağlanmıştır.

Poliamid malzeme üzerinde darbe, çekme, dinamik yorulma ve sertlik testleri uygulanarak jant malzemesi olarak kullanılabilirliği konusunda fikir sahibi olunulmuştur. Sonuçlara göre poliamid jantın mekanik dayanımının metal jantlara göre daha düşük olduğu, ancak dinamik test sonuçlarına göre jant olarak kullanılması durumunda düşük taşıt hızları (70 km/h) için uygun olduğu değerlendirilmiştir.

Taşıt ağırlığındaki hafifletme sonucunda; yakıt tüketiminde azalma, sera etkisi yapan CO₂ emisyonunda azalma ve insan sağlığını tehdit eden CO, HC ve NOx emisyonlarında azalmalar elde edilebileceği dolaylı olarak söylenebilir.

Poliamid malzemenin bağ yapısı güçlendirilerek çekme ve darbe direnç değerleri daha da iyileştirilebilir. Poliamid malzeme hammadde olarak alınarak seçilecek mekanik iyileştirici ile metal jantlara daha yakın sertlikte jant üretilebilir.

Dinamik yorulma testi araçta gerçek yol şartları altında yapılarak tam performans verileri ölçülebilir.

Araçlarda stepne lastik için kullanılan metal jant yerine güçlendirilmiş döküm poliamid ile üretilmiş plastik jant tercih edilebilir.

Güçlendirilmiş poliamid malzeme yüksek mekanik zorlamalara maruz kalmayan değişik makina parçalarında kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Aguado, J., Serrano D., “Feedstock Recycling of Plastic Wastes”, *MPG Books*, Bodmin, (1999).
- Akkurt, S., “Plastik malzeme bilimi teknolojisi ve kalıp tasarımı”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 552 (2007).
- Arıkan, M., Başman, G., “Otomotiv endüstrisi için yeni çelik ürünler ve özellikleri”, TMMOB Metalurji Müh. Odası 1.Demir-Çelik Sempozyumu, *Bildiriler Kitabı*, Zonguldak (2001).
- Askeland D.R., “The science and engineering of materials”, *Chapman&Hall*, China, 518 (1996).
- Aydın Plastik, “Mühendislik plastikleri”, <http://www.aydinplastik.com/Urun/7/PA-6.html>, Erişim Tarihi: 19.09.2019.
- Barth, Rückert, Achten,. “Daimler-Chrysler operation and production experiences of the new 7 G-tronic magnesium transmission case”, *The 62nd Annual World Magnesium Conference*, Berlin, 22-24 (2005).
- Balıkesir Üniversitesi, “Termoplastik ve termoset plastikler”, <http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/pm/plastikte.mek2.pdf>, Erişim Tarihi: 12.09.2019.
- Basan, S., “Polimer kimyası”, *Cumhuriyet Üniversitesi Yayını*, Sivas, 24 (2001).
- Baysal, B. “Polimer kimyası”, *ODTÜ yayını*, Ankara, 33-34 (1994).
- Callister W.D., “Materials science and engineering an introduction”, *John Wiley & Sons*, Inc., United States of America, 500 (2000).
- Carvalho, C, P, Voorwald, H., Lopes, C., “Automotive wheels an approach for structural analysis and fatigue life prediction”, *SAE International Technical Note*, (2001).
- Casadei, A., and Broda, R., “Impact of vehicle weight reduction on fuel economy for various vehicle architectures”, *VA: The Aluminum Association Inc.*, Arlington (2007).

Cem Ak Fırın Makinaları, <https://www.cemakfirinmakinalari.com/101-kestart-polyamid-dislisi.html>, Erişim Tarihi: 14.09.2019.

Ceylan, M., “Linyit-düşük yoğunluklu polietilen (dype) karışımlarının pirolizle değerli kimyasallara dönüştürülmesi ve sonuçlara deney koşullarının etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 18 (2006).

Cheah, L., “Cars on a diet: The material and energy impacts of passenger vehicle weight reduction in the U.S.”, *Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology*, (2010).

Çetinel, H., “Polietilen ve polipropilenin mekanik özelliklerinin incelenmesi”, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 3(2): 80 (2000).

Ekşi, O., “Plastik esaslı malzemelerin ısıl şekil verme özelliklerinin incelenmesi”, Edirne (2007).

Erbay, K., “Silah gövdeleri için polimer esaslı kompozit malzeme üretimi ve özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon (2009).

Erdem, S., “Çatıda kullanılan polimer kökenli levhaların karşılaştırmalı analizi”, Yüksek Lisans Tezi, (2008).

Erdoğan, Y., “Polyamid esaslı kompozit üretiminde üretim parametrelerinin mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi”, Lisans Tezi, Trabzon (2010).

European Aluminium Association, “Aluminium in Automotive Industry”, www.eaa.net, Erişim Tarihi: 06.09.2019

FKA, Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen, “Lightweight potential of an aluminium intensive vehicle”, (2004).

Ford Aksesuar, <http://fordaksesuar.com/al%C3%BCminyum-ala%C5%9F%C4%B1m-jantlar/al%C3%BCminyum-ala%C5%9F%C4%B1m-jantlar/18%22-al%C3%BCminyum-ala%C5%9F%C4%B1m-jant/2265014?model=ecosport&year=2017>, Erişim Tarihi: 18.09.2019.

Grafen Chemical Industries Company, “Otomotiv kompozitleri”, <https://grafen.com.tr/pdf/1386448563.pdf>, Erişim Tarihi: 16.09.2019

Güler Ç., Çobanoğlu Z., “Plastikler”, *Aydoğdu Ofset*, Ankara, 9 (1997).

Hakan Otomotiv, <http://www.hakanotomotiv.com.tr/1010354.html>, Erişim Tarihi: 19.09.2019.

Hirsch, J., “Light Metal World”, *Light Metal Age*, 124 (1999).

Jape RK, Jadhav SG. “CAD modeling and FEA analysis of wheel rim for weight reduction”. *International Journal of Engineering Science and Computing*, 6(6), 7404-7411 (2016).

Jen, M.U. ve Lu M.H., “Weight reduction feasibility of engine components concerning noise and vibration”, SAE International Report, *Industrial Technology Research Institute* (2009).

Kangallı, E. “Polietilen atıklardan elde edilmiş piroliz sivisinin polimerizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 15 (2007).

Kaya, A. A., Özdoğru, E. F., Abanoz, D., Yiğit, S., Yücel, O., “Otomotivde Magnezyum Alaşım Uygulamaları”, *OTEKON02 Otomotiv Teknolojileri Kongresi*, 24-26 Haziran, Bursa, 41-46 (2002).

Kara, A., Çubuklusu, H. E., Topçuoğlu, Ö. Y., Çe, Ö. B., Aybarç, U., Kalender, C., “Alüminyum alaşımlı jantların tasarım ve ağırlık optimizasyonu”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(8): (2017).

Kaya, F., “Plastikler ve katkı maddeleri”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul (2005).

Kaya, N., “AISI 304 Paslanmaz çelik ile genel yapı çeliğinin sürtünme kaynak kabiliyetinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2010).

Kazdal, Z. H., “Demir ve Çelik Malzemelerin Mikro Yapısı”, *TÜBGTAKMAM Eğitim Notları*, Gebze, 118 (2007).

Kınıkoğlu, N.G., “Malzeme Bilimi ve Mühendisliği”. *Yıldız Teknik Üniversitesi Yayını*, İstanbul, 65 (2001).

Kimyasal Gelişmeler, “Plastik geri dönüşümü nasıl yapılır?”, <http://www.kimyasalgelismeler.com/sectorler/geri-donusum-teknolojisi/plastik-geri-donusumu-nasil-yapilir.html>, Erişim Tarihi: 17.09.2019.

Küçükgül, E.Y. ve Kırşen Doğan, S., “Yaşam Çevre Teknoloji-Pet Şişenin Yaşam Döngü Analizi” *7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi* (2007).

Lansy Danışmanlık, “Kati atıklar ve geri dönüşüm”, <https://www.lansydanismanlik.com.tr/?sec=yazar&id=624>, Erişim Tarihi: 15.09.2019.

Lindsay, B., Harry, E., “Automakers and Suppliers Accelerate Their Efforts to Reduce Vehicle Weight by Engineering Them for Greater Use of Lighter, Stronger Materials”, *Mass Reduction Special Report*, (2009).

Malzeme Bilimi, <https://malzemebilimi.net/epoksi-recine-nedir.html>, Erişim Tarihi: 10.09.2019.

Maxwell, J., “Plastics in the Automotive Industry”, *Woodhead Publishing Limited*, Cambridge, (1994).

Metal Reyonu, <https://www.metalreyonu.com.tr/urunler/kestamidcubuk>, Erişim Tarihi: 17.09.2019.

Nakazawa, Y., Tamura, K., Yoshida, M., Tagaki, K., Kano, M., “Development of crash-box for passenger car with high capability for energy absorption”, *VIII. International Conference on Computational Plasticity*, Barcelona (2005).

Onaran, K., “Malzeme Bilimi”, *Bilim Teknik Yayınevi*, İstanbul, 383 (2006).

Oto724, <https://www.oto724.com/urun/cms-758-3-6-5x15inc-5x112-et45-black-diamond-celik-jant>, Erişim Tarihi: 15.09.2019.

Oytaç, M., “Türkiye jant sanayi ve jant sanayinde kullanılan kalıp çeliklerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi*, Eskişehir (2006).

Özcomert, M., “Otomotiv endüstrisinde alüminyum uygulamaları” *İstanbul Ticaret Odası* (2006).

PAGEV, “Plastikler sayesinde daha hafif otomobiller”, <https://www.pagev.org/plastikler-sayesinde-daha-hafif-otomobiller>, Erişim Tarihi: 18.09.2019.

PAGEV, “Türkiye otomotiv plastikleri sektör raporu”, <https://www.pagev.org/upload/files/Hammadde%20Yeni%20Tebli%C4%9F%20Bilg.%203/T%C3%BCrkiye%20Otomotiv%20Plastikleri%20Sekt%C3%B6r%20Raporu%202016.pdf>, Erişim Tarihi: 17.09.2019.

Plastik Pazarı, http://www.plastikpazari.com/tanitim/fenolik-plastigi-nedir_126.html, Erişim Tarihi: 12.09.2019.

Polikarbon, <http://polikarbonfiyat.com/polistiren-otomotiv-spoiler-pick-up-kasa-kapaklari/>, Erişim Tarihi: 16.09.2019.

Polikim, <http://www.polikim.com.tr/pdf/kestamid.pdf>, Erişim Tarihi: 18.09.2019.

Pinkus O. ve Wilcock, D., “Lubr.”, *Eng. 34*, 599 (1978).

Saçak, M., “Polimer Kimyası”, *Gazi Kitabevi*, Ankara (2002).

Schultz, R., Hauptrich, A., “Trends in Aluminum Use for Passenger Cars and Light Trucks in North America”, *Light Metal Age*, (1998).

Schaffer J.P., Saxena A., Antolovich D., Sanders T.H., Warner S.B., “The science and design of engineering materials”, *Mc Graw-Hill*, Singapore, 194 (1999).

Sehanobish, K. “Engineering Plastics and Plastic Composites in Automotive Applications” *SAE International*, United States of America, (2009).

Sezer, M.K., “Şırnak-Silopi asfaltı ile polietilenin eşprolizi ürünlerinin değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, *Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı*, Ankara, 19 (2007).

Strong, A.B., “Plastics Material and Processing Prentice Hall”, Ohio (2000).

SunConTurkey, “Otomotiv sektöründe plastik kullanımı”, <http://www.subconturkey.com/2011/Nisan/koseyazisi-Otomotiv-Sektorunde-Plastik-Kullanimi.html>, Erişim Tarihi: 10.09.2019.

Szeteiová, K. “Automotive materials plastics in automotive markets today”, *Bratislava*, Slovak University of Technology (2010).

Taşkıran, İ., “Polistiren”, Polimerler I kitabı, *Pagev Yayınları*, ss: 167-197 (2001).

Tudeks Otomotiv Parçaları, <http://tudeks.com.tr/otomotiv-parcalari/>, Erişim Tarihi: 17.09.2019.

Tuğ, S., “Polistiren enjeksiyonunda çevrim zamanı optimizasyonu”, *Yüksek Lisans Tezi, Çorlu Üniversitesi Makine Mühendisliği*, Tekirdağ, 2 (2005).

Wang, L., Chen, Y., Wang, C., Wang, Q., “Fatigue life analysis of aluminum wheels by simulation of rotary fatigue test”, *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering*, 57 (2011).

Yadav, Sunil N. , Hanamapure, N. S. “Analyze the Effect of Slip Angle on Fatigue Life of Wheel Rim of Passenger Car by Using Radial Fatigue Testing”, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 9(2):2 (2013).

Yaşar H. , “Plastikler Dünyası”, *MMO Yayınları*, Ankara 3-89 (2001).

Yaşar H., “Plastikler dünyası”, *TMMOB Makina Mühendisleri Odası*, Ankara, (1992).

Yılmaz, İ.N., Taşdelen M.A., “Cam elyaf katkıli poliamid 66/Poliftalamid karışımlarının hazırlanması”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 23(1): 1 (2018).

Yiğit Akü, <https://www.yigitaku.com/traksiyoner-akuler/>, Erişim Tarihi: 15.09.2019

Zeytin, H. K., “Magnezyum Alaşımaları: Otomotiv Endüstrisinde Uygulaması ve Geleceği”, *Marmara Araştırma Merkezi*, Kocaeli (1999).

ÖZGEÇMİŞ

Anıl ŞİMŞEK 1992 yılında Ankara'da doğdu; ilk ve orta öğrenimi yine Ankara'da tamamladı. Ankara Kanuni Lisesi'nden mezun oldu. 2010 yılında Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde öğrenimine başlayıp 2015 yılında 3.12 ortalama ile mezun oldu. 2017 yılında Aksa Runflat Firması'nda Üretim Mühendisi olarak çalışmaya başladı. Askerlik sebebi ile işten ayrıldı. 2018 yılında Aksa Runflat'da Üretim Sorumlusu olarak tekrar çalışmaya başladı. Halen aynı yerde çalışmaya devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Adnan Yüksel Cad. Varto Sok. 19/3
Etlik Mahallesi
Keçiören/ANKARA
Tel : (543) 780 03 73
E-posta : anil.simsek@outlook.com