

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

**ÜÇ BOYUTLU YAZICI İLE ÜRETİLEN DÜZ DİŞLİ
ÇARKLARIN AŞINMA DAYANIMLARININ
DENEYSEL İNCELENMESİ**

Turgut TORUN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi M. Şafak TUNALIOĞLU**

**MAYIS 2019
ÇORUM**

**ÜÇ BOYUTLU YAZICI İLE ÜRETİLEN DÜZ DİŞLİ
ÇARKLARIN AŞINMA DAYANIMLARININ
DENEYSEL İNCELENMESİ**

Turgut TORUN

**Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**

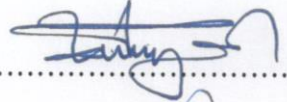
Yüksek Lisans

**TEZ DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi M. Şafak TUNALIOĞLU**


Çorum 2019

Turgut TORUN tarafından hazırlanan “Üç Boyutlu Yazıcı İle Üretilen Düz Dişli Çarkların Aşınma Dayanımlarının Deneysel İncelenmesi” adlı tez çalışması ~~02.05./2019~~ tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

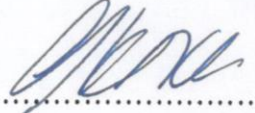
Doç. Dr. Naci KURGAN



Dr. Öğr. Üye. Mert Şafak TUNALIOĞLU



Dr. Öğr. Üye. Yusuf KANCA



Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun ~~29/05/2019~~ tarih ve ~~2019/1119~~ sayılı kararı ile Turgut TORUN’un Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.



Doç. Dr. Cengiz BAYKASOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BEYANI

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan ederim.

Turgut TORUN



ÜÇ BOYUTLU YAZICI İLE ÜRETİLEN DÜZ DİŞLİ ÇARKLARIN AŞINMA DAYANIMLARININ DENEYSEL İNCELENMESİ

Turgut Torun

HİTİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Mayıs 2019

ÖZET

Düz dişli çarkların imalatı yapılırken nasıl bir yüke maruz kalacağı, çalışma ortamı, imalatının yapılırken hangi malzemeden yapılacağı, hangi imalat türünün seçileceği mühendislik hesaplamaları ve analizleri çok iyi yapılması gerekmektedir.

Günümüz dişli imalatlarında çoğunlukla talaşlı imalat, belirli modeli yapılmış kalıba enjeksiyon döküm yöntemi kullanılmaktadır. Günümüz teknolojisine giren 3 boyutlu yazıcılarla birçok karmaşık malzemeler üretildiği gibi dişli çarklarda bu yöntemle 0,01 mm hassasiyetle üretilebilmektedir.

Bu tez çalışmasında dişli çarkların sınıflandırılması, genel dişli kanunu, düz dişli çark hesapları ve plastikler hakkında genel bilgi verilecek olup plastik düz dişlilerde hasar mekanizmaları ve ana konusu olan üç boyutlu yazıcılar anlatılacaktır.

Bu tezin deney kısmında kapalı sistem güç aktarma deney cihazı imal edilecek ve bilgisayar ortamında tasarlanan ve boyutlandırılan dişli çarkların üç boyutlu yazıcıda imalatı yapılacaktır. İmalatı yapılan dişlilerin deney cihazından önce ve daha sonraki her deney aşamasında aşınma miktarları için 10^{-4} gram hassasiyetli tartım cihazı ve dişlilerin aşınma derinliklerini ölçmek için yüzey ölçüm cihazı kullanılacaktır.

Değişik yükler ve devirler altında birbirleriyle çalışan dişli çark çiftlerinde oluşan aşınma değerleri tablo ve grafiklerle karşılaştırılacak ve 3 boyutlu yazıcıda üretilen dişlilerin uygun çalışma koşulları belirlenecek ve böylece daha karmaşık yapıllı malzemelerin üretimi daha hassas ve hızlı bir şekilde yapılabilecektir.

Anahtar kelimeler: Üç Boyutlu Yazıcı, Düz Dişli Çark, Aşınma, Plastik Dişli Çark



**EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON ABRASION RESISTANCE OF
SPUR GEAR WHEEL PRODUCED WITH THREE DIMENSIONAL
PRINTER**

Turgut TORUN

HİTİT UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

May 2019

ABSTRACT

While manufacturing the spur gear wheels, it is important to consider how it will suffer from the load, its work environment, what material to use, which type of manufacturing selected, engineering calculations and analysis.

Nowadays, in the production of gears, mostly metal cutting and injection molding method to the specific mold are used. As many sophisticated materials are produced with 3D printers used in today's technology, gears wheel can be produced with this method with a precision of 0.01 mm.

In this thesis, general information on classification of gear wheels, general gear law, spur gear wheel calculations and plastics will be given and damage mechanisms in plastic spur gears and especially 3D printers will be explained.

In this thesis, closed system power transmission test device will be manufactured and gear wheels designed and sized in computer environment will be manufactured with 3D printers. Weighing device with the 10^{-4} gram precision for the abrasion rates in the gears manufactured before and after the each test phase will be used and surface measuring device will be used to measure the wear depth in gears.

Abrasion values on gear wheels working with each other under different loads and cycles will be compared with tables and graphs. Suitable working conditions of gears produced in 3D printer will be specified and so the production of complex structured materials can be made more precisely and quickly.

Key Words: 3D Printer, Spur Gear Wheel, Abrasion, Plastic Gear Wheel



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin hazırlanması esnasında değerli fikirleri ile beni yönlendiren ve birçok konuda yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi M. Şafak TUNALIOĞLU'na, saygı değer babam Alaittin TORUN'a, annem Meryem TORUN'a ve kıymetli eşim Özlem TORUN'a, canlarım İ.Beril ve Ö.Reha TORUN'a, tez yazım çalışmalarım esnasında benden yardımlarını esirgemeyen değerli baldızım Öğr. Gör. Esra AKDOĞAN'a ve deney cihazı imalatında her türlü desteği gösteren saygı değer kayınpederim Abdullah EKER'e teşekkür ederim.



Bu tez çalışmasına, MUH19004.17.003 numaralı proje kapsamında vermiş oldukları destekten dolayı, Hitit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederiz.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	x
RESİMLER DİZİNİ.....	xv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xvii
TABLolar DİZİNİ.....	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xx
1. GİRİŞ	1
2. DİŞLİ ÇARK SİSTEMLERİ VE DÜZ DİŞLİ ÇARKLAR	4
2.1. Silindirik veya Alın Dişli Çarklar	4
2.1.1. Konik dişli çarklar.....	4
2.1.2. Yuvarlanmalı veya kaymalı dişli çark	4
2.2. Dişli Çarkların Üretim Yöntemleri	6
2.2.1. Yuvarlanma metodu	6
2.2.2. Doğrudan döküm yöntemi	9
2.2.3. Modül frezeleri ile dişli üretimi	9
2.2.4. Şablona göre diş açma.....	10
2.2.5. Haddemele veya ovalama ile diş açma	10
2.2.6. Zımbalama ile dişli üretimi	10
2.2.7. Püskürtme döküm ile dişli üretimi	10
2.2.8. Sinterleme metodu ile dişli üretimi	11

Sayfa

2.2.9. Broşlama metodu ile dişli üretimi	11
2.2.10. Lazer kesim ile dişli üretimi.....	11
2.3. Düz Dişli Çarklar	11
2.3.1. Silindirik düz dişli çarkların temel kavramları ve boyutlandırılması	11
2.3.2. Genel dişli kanunu	13
2.3.3. Kavrama doğrusu	15
2.3.4. Dişlilerin diş profillerinde kullanılan eğriler	15
2.4. Düz Dişli Çarklar İçin Mukavemet Hesapları.....	16
2.4.1. Levis eşitliği.....	18
2.4.2. Diş dibi kırılma gerilmesine göre mukavemet hesabı.....	19
2.4.3. Dişli çarkların yüzey basıncı.....	20
2.4.4. Plastik dişli çark hesapları.....	22
2.4.5. Düz ve plastik dişliler ile ilgili yapılan çalışmalar.....	25
3. PLASTİK DİŞLİ ÇARKLAR.....	33
3.1. Plastik Çeşitleri	33
3.1.1. Akrlonitril-bütadien stiren (ABS).....	33
3.1.2. ABC/PC	33
3.1.3. Polyamid (Naylon).....	34
3.1.4. POM-Derlin (Asetal-Polioksimetilen).....	34
3.1.5. Kestamid (Cast Poliamid).....	35
3.1.6. Polikarbonat	35
3.2. Dişli Yapımında Kullanılan Plastiklerin Özellikleri.....	36
3.3. Plastik Dişli Çarkların Avantajları ve Dezavantajları.....	37

Sayfa

3.3.1. Plastik dişlilerin avantajları.....	37
3.3.2. Plastik dişlilerin dezavantajları	38
3.4. Plastik Dişlilerde Hasar Mekanizmaları.....	38
3.4.1. Plastiklerin yorulması	39
3.4.2. Plastiklerin viskoelastik davranışı.....	41
3.4.3. Plastiklerin sürünmesi	41
3.4.4. Plastiklerin gerilme gevşemesi.....	42
3.4.5. Plastiklerde aşınma ve yağlama	43
3.4.6. Polimerlerin kırılması	45
3.5. Plastik Dişli çarkların Mukavemetini Artırmak İçin Öneriler	46
3.5.1. Modülün seçimi.....	46
3.5.2. Kavrama açısını değiştirmek.....	47
3.5.3. Diş kök eğrisi formu	48
3.5.4. Tamamlayıcı profil.....	48
3.5.5. İşletme gürültüsünün azaltılması	48
3.5.6. Profil kaydırma	49
3.5.7. Diş hasarları	49
3.5.8. Boyutsal değişiklikler	50
3.5.9. Malzemeye dayalı değişiklikler	50
4. ÜÇ BOYUTLU YAZICILAR	51
4.1. Üç Boyutlu Yazıcılarda Teknolojik Gelişim.....	51
4.1.1. Kartezyen tipi üç boyutlu yazıcı	52
4.1.2. Delta tipi üç boyutlu yazıcı	53

Sayfa

4.1.3. Core XY tipi üç boyutlu yazıcı	54
4.1.4. Metal baskı yapan üç boyutlu yazıcı	55
4.2. Üç Boyutlu Yazıcılarda Kullanılan Malzemeler	57
4.2.1. PLA malzeme	57
4.2.2. ABS malzeme	57
4.2.3. Üç boyutlu yazıcılarda kullanılan malzeme listeleri	58
4.3. Üç Boyutlu Yazıcıların Avantajları	59
5. MATERYAL VE YÖNTEM	60
5.1. Deney Parametrelerinin Belirlenmesi	61
5.2. Dişlilerin Modellenmesi	64
5.3. Dişli Çarkların İmalatının Yapılması	66
5.4. Deney Test Düzenegi	67
5.4.1. Würth devir ölçme cihazı ve özellikleri	70
5.4.2. Deney düzenegine yük uygulama	70
5.5. Düz Dişli Çarklarda Hasarların Tespiti	71
5.5.1. Eletronik tartı cihazı ve ölçümü	72
5.5.2. Yüzey pürüzlük ölçümü ve cihazı	73
6. TEORİK VE DENEYSEL SONUÇLAR	75
6.1. Elektronik Tartı ile Dişli Çiftindeki Aşınmanın Gözlenmesi	75
6.2. Diş Profillerinde Yüzey Pürüzlük Ölçüm Değişimi	85
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	95
KAYNAKLAR	97
EKLER	99

Sayfa

EK-1. PLA-ABS Malzemeleri Isıl ve Mekanik Özellikleri.....	100
EK-2. St 37-2 Malzemedен İmal Çark Dişlinin Spektra Analiz Raporu ve St 37-2 Çeliği Mekanik Özellikleri.....	101
EK-3. Plastik Pinyon Dişli Çarkların Fotoğraf Çekimleri.....	102
ÖZGEÇMİŞ.....	105



RESİMLER DİZİNİ

Resim	Sayfa
Resim 1.1. İlkel dişli çark sistemleri	1
Resim 2.1. Azdırma tezgahlarında kullanılan kesici takımlar	7
Resim 2.2. Azdırma tezgahında diş açma	8
Resim 2.3. Fellow tezgahında dişli açma.....	9
Resim 3.1. Polimerlerin düz dişlinin diş dibinden kırılması.....	46
Resim 4.1. Kartezyen üç boyutlu yazıcı.....	53
Resim 4.2. Delta tipi üç boyutlu yazıcı.....	54
Resim 4.3. Core xy mantığı ile üretilmiş üç boyutlu yazıcı.....	54
Resim 4.4. Metal baskı yapan robot tipi üç boyutlu yazıcı.....	55
Resim 4.5. Metal tozlarını püskürterek baskı yapan üç boyutlu yazıcı	56
Resim 4.6. Metal baskı yapan üç boyutlu yazıcı.....	56
Resim 5.1. Azdırma tezgahında üretilen poliyamid dişlinin deney sonucu aşınması.....	62
Resim 5.2. Test numunesi diş profili aşınması	63
Resim 5.3. Solidworks çizim programında modellenmiş z=17, m=6 pinyon dişli.....	65
Resim 5.4. Solidworks çizim programında modellenmiş z=22, m= 6 çark dişli.....	65
Resim 5.5. Dişlilere ait bitmiş ürün resimleri	65
Resim 5.6. Dişlilerin üretiminde kullanılan üç boyutlu yazıcı.....	66
Resim 5.7. Üç boyutlu yazıcıda üretilen pinyon dişli.....	66
Resim 5.8. Deney düzeneğinin yandan görünüşü	68
Resim 5.9. Deney düzeneğinin üstten görünüşü	68

Resim	Sayfa
Resim 5.10. Denev cihazına bağlanmış dişli arklar.....	68
Resim 5.11. Würth marka devir lme cihazı.....	70
Resim 5.12. Pinyon dişlinin tartımında kullanılan elektronik tartım cihazı	72
Resim 5.11. Pinyon dişli profil yüzey lm.....	73
Resim 6.1. Pinyon dişli 300 d/dak sabit devirde 5×10^4 turda 0,5 Nm, 1 Nm, 1,5 Nm yüklerde aşınma.....	85



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Dişli Çarkların Sınıflandırılması.....	5
Şekil 2.2. Fellow tezgahında dişli üretim şematik gösterimi	8
Şekil 2.3. Düz dişli şematik gösterimi	12
Şekil 2.4. Genel dişli kanunu	14
Şekil 2.5. Kavrama doğrusu	15
Şekil 2.6. Yanak Profili	16
Şekil 2.7. Diş üzerine etkiyen kuvvetler	16
Şekil 2.8. Dişte çalışma esnasında oluşan gerilmeler	18
Şekil 3.1. Değişken yüke maruz kalan plastiklerde	40
Şekil 3.2. Plastiklerin şekil değiştirme mekanizması.....	42
Şekil 3.3. Gerilme gevşemesi.....	43
Şekil 5.1. Deneyde izlenecek adımlar	63
Şekil 5.2. Tork yükleme kolu ve aparatı	63
Şekil 5.3. Deney düzeneği şematik gösterimi	69
Şekil 5.4. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazında ölçüm yapılan bölge.....	74
Şekil 6.1. Devir ve moment değerlerine göre 5×10^4 dönme tekrarına göre aşınma miktarı grafiği.....	76
Şekil 6.2. Devir ve moment değerlerine göre 10×10^4 dönme tekrarına göre aşınma miktarı grafiği.....	77
Şekil 6.3. Motor hızı 300 d/dak, farklı momentlerde 5×10^4 dönme tekrarına göre aşınma miktarı grafiği.....	79
Şekil 6.4. Motor hızı 300 d/dak, farklı momentlerde 10×10^4 dönme tekrarına göre aşınma miktarı grafiği.....	80
Şekil 6.5. Motor hızı 600 d/dak, farklı momentlerde 5×10^4 dönme tekrarına göre aşınma miktarı grafiği.....	81

Şekil	Sayfa
Şekil 6.6. Motor hızı 600 d/dak, farklı momentlerde 10×10^4 dönme tekrarına göre aşınma miktarı grafiği.....	82
Şekil 6.7. Motor hızı 900 d/dak, farklı momentlerde 5×10^4 dönme tekrarına göre aşınma miktarı grafiği.....	83
Şekil 6.8. Motor hızı 900 d/dak, farklı momentlerde 10×10^4 dönme tekrarına göre aşınma miktarı grafiği.....	84
Şekil 6.9. Motor hızı 300 d/dak 0,5 Nm moment yükte pürüzlük ölçüm grafiği.....	87
Şekil 6.10. Motor hızı 600 d/dak 0,5 Nm moment yükte pürüzlük ölçüm grafiği.....	87
Şekil 6.11. Motor hızı 900 d/dak 0,5 Nm moment yükte pürüzlük ölçüm grafiği.....	88
Şekil 6.12. Motor hızı 300 d/dak 1 Nm moment yükte pürüzlük ölçüm grafiği.....	89
Şekil 6.13. Motor hızı 600 d/dak 1 Nm moment yükte pürüzlük ölçüm grafiği.....	89
Şekil 6.14. Motor hızı 900 d/dak 1 Nm moment yükte pürüzlük ölçüm grafiği.....	90
Şekil 6.15. Motor hızı 300 d/dak 1,5 Nm moment yükte pürüzlük ölçüm grafiği.....	91
Şekil 6.16. Motor hızı 600 d/dak 1,5 Nm moment yükte pürüzlük ölçüm grafiği.....	91
Şekil 6.17. Motor hızı 600 d/dak 1,5 Nm moment yükte pürüzlük ölçüm grafiği	92

TABLolar DİZİNİ

Tablo	Sayfa
Tablo 3.1. Dişli yapımında kullanılan plastiklerin mekanik özellikleri.....	36
Tablo 3.2. Dişli yapımında kullanılan plastiklerin bazı fiziksel özellikleri.	37
Tablo 4.1. Makergeeks firmasına ait 3B filament listesi.....	58
Tablo 4.2. Esun3d firması 3B filament malzeme listesi	59
Tablo 5.1. Testlerde kullanılan pinyon ve çark dişli boyutlandırma tablosu.....	64
Tablo 5.2. Pinyon dişli malzemelerin üç boyutlu yazıcıda üretim parametreleri	67
Tablo 5.3. Dişli çark yükleme ve ölçüm periyodu tablosu	71
Tablo 6.1. Plastik düz pinyon dişli aşınma test ölçüm sonuçları.....	75
Tablo 6.2. Yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri.....	86

SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

ω	Açısal hız
φ	Evolventin içinde bulunduğu açı (radyan)
α	Basınç açısı, derece
ev α	Evolvent α
inv α	İnvolute α
ϵ	Toplam kavrama oranı
<	Küçük
>	Büyük
°	Derece
\approx	Yaklaşık
K	Profil kaydırma miktarı
m	Modül
x	Profil kaydırma faktörü
Rm	Çekme Mukavemeti
%	Yüzde
i	Çevrim Oranı
β	Helis Açısı
z	Diş sayısı
mt	Alın modülü
mn	Normal modül
Pn	Normal diş taksimatı
Pt	Alın taksimatı
α_n	Normal kavrama açısı
α_t	Alın kavrama açısı
d	Taksimat dairesi çapı
Pet	Alın kavrama taksimatı
Pen	Normal kavrama taksimatı
db	Temel daire çapı

da	Diş başı dairesi çapı
df	Diş dibi dairesi çapı
h	Diş yüksekliği
a	Eksenler arası mesafe
ϵ_a	Kavrama oranı
ϵ_b	Atlama oranı
\geq	Büyük eşit
\leq	Küçük eşit
zn	Eş değer diş sayısı
α_{wt}	Çalışma durumunda alın kesit kavrama açısı
KA	Çalışma işletme faktörü
TN	Nominal çevirme momenti
$\tau_{tmüs}$	Müsade edilen burulma gerilmesi
τ_{tsch}	Smith diyagramından yarın değişken burulma gerilmesi
n	Devir
ψ_d	Çap - genişlik oranı
ψ_m	Modül - genişlik oranı
KV_α	Düz dişliler için KV değeri
μm	Mikrometre
$^\circ C$	Derece santigrat

Kısaltmalar

M.Ö	Milattan Önce
yy	Yüzyıl
vb	ve benzeri
Al	Alüminyum
Cu	Bakır
Zn	Çinko
FDM	Fused Deposition Modelling (Eriyik Yığılma Teknolojisi)

1. GİRİŞ

Dişli çarkların tarihi gelişimi çok eskilere dayanmaktadır. İlk dişli çark kullanımının M.Ö 330 yıllarına dayandığı tahmin edilmektedir. Mezopotamyalıların sulama kanallarında, Romalılar un değirmenlerinde dişli çarkları kullanmış olmaları tahmin edilmektedir. Tarihsel gelişime bakmaya devam ettiğimizde 17. yy sonlarına doğru bilim adamları episikloid profillerin kullanımı hususunda kanaate varmışlardır (Kutay, 2010).

Makine sektörünün ana malzemesini oluşturan maden (bakır, tunç, demir), maden devri olarak da bilinen bu devir, ilk insanlar tarafından keşfedilmiş ve bulunan bu materyaller günümüzde makine sektörünün ana malzemesini oluşturmaktadır. İnsanlar ilk olarak bakır madenini, daha sonra bakıra kalay katarak tunç madenini ve son olarak ta her ikisinden daha mukavim olan demir madenini keşfetmişlerdir.

Sürekli olarak bir arayış içinde olan insanoğlu, yaşam hayatını kolaylaştırmak için bu madenleri beslenme ihtiyaçlarını karşılamak için avlanmada kullanmışlardır. Çağlar ilerleyip medeniyetler oluşmaya başladıkça bu madenleri bazı imalat yöntemlerini de geliştirerek günümüze ışık tutmuş günümüz teknolojisini yapı taşını oluşturmuştur.



Resim 1.1. İkel dişli çark sistemleri (Anonim, 2019)

Tarihte asıl dönüm noktası Buhar makinelerinin icadı olmuş ve dişli çarklarda önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Dişli çark mekanizmalarının yüksek güç ve devirleri minimum kayıpla iletmeleri için, mekanizmaların daha verimli imal edilmeleri ve dişlilerin standardize edilmesi kaçınılmaz bir ihtiyaç olmuştur. Geçmişte çeşitli bilim adamları bu çalışmalarını yaparak dişli çarkların bu standardizasyonlarını yapmış, değişik dişli tipleri ile imal şekilleri de geliştirmişler ve sikloid profilli dişlilerin ortaya çıkmasına sebep olmuşlardır (Kutay, 2010).

Dişlilerin standartlaştırılması fikri ilk kez 18. Yüzyılda ortaya atılmıştır. "Circular Pitch" tarafından dişli çarkın taksimatı tanımlandı. 1840 yılında "Willis" tarafından diş üstü ve diş dibi daire çapları standartlaştırılarak, Circular Pitch yerini "Diametral Pitch" aldı. Aynı tarihlerde evolvent profil keşfedildi. 1874 senesinde "Brown & Sharpe" şirketi freze takım tezgahı üretimine başladı. 1856 da "Schiele" yuvarlama metodu takımını ve 1899 yılında "Fellow" ilk kesici takımı icat etti. Bu yıllarda diş dibi kesilmesi tanımlı değildi, XX. yy başlarında imalat esnasında bulunarak teorisi ilerleyen yıllarda tamamlandı. Otomobil endüstrisinin XX. yy başlarında seri imalata başlaması, dişli çarklar için dönüm noktası oldu. 1908 yılında "Sunderland" tarafından tarak şekilli diş açma takımı, 1909 senesinde "Max MAAG" tarafından günümüz dişli açma metodu geliştirdi (Kutay, 2010).

Düz dişli çarklar, endüstride en çok kullanılan dişli türüdür. Dişli çarkların üretimlerinin zorluğundan dolayı aşınma kriterlerinin belirlenmesi ve bu kriterler doğrultusunda çalıştırılması gerekmektedir. 1970'li yılların sonlarına doğru bilim dünyasına girmeye başlayan üç boyutlu yazıcılar, bilgisayar üzerinde tasarlanmış veya üç boyutlu olarak taranmış modelleri, bir çok farklı malzeme kullanarak çok hızlı ve ekstra bir kalıp ya da fikstüre ihtiyaç duymadan üreten cihazlardır.

Günümüzde yeni bir imalat şekli olan 3 boyutlu yazıcılarla PLA, NYLON, ABS ve benzeri (kullanım alanına göre değişiklik arz edebilir) diğer malzemeler kullanılarak günümüzde kalıplaşmış imalat tekniklerine alternatif olacak şekilde makine parçaları daha ucuza mal edilebilmektedir.

Bu tez çalışmasında dişli çark sistemleri ve dişli çarkların gruplandırılması yapılacak, dişli çarkların imalat yöntemleri düz dişli çarklar ve dişli kanunundan bahsedilecektir. Dişli hasar türleri ve nasıl önlenileceği, plastikler hakkında genel bilgilerden bahsedilecek 3 boyutlu yazıcılar ve 3 boyutlu yazıcılarda kullanılan malzemeler anlatılacaktır.

Bu tez çalışmasında aşınma dayanımları deneyleri için FZG (Forschungsstelle für Zahneder und Getriebebau) sistemli kapalı devre güç aktarım deney cihazı imalatı yapılacaktır. İmalatı yapılan deney cihazında 3 boyutlu yazıcı 3D Filamenti PLA olan malzemeden üretilen düz dişli çarklar ile farklı yük ve devir sayılarında aşınma deneyleri yapılacaktır. Her deney kademesinde dişli çarkların aşınma miktarları ve aşınma derinlikleri belirlenecektir. Aşınma miktarı ölçümleri için 10^{-4} gr. hassasiyetinde hassas terazi, aşınma derinlikleri ölçümleri için üç boyutlu tarayıcı kullanılacaktır. Elde edilen veriler grafikler halinde kıyaslanacak ve üç boyutlu yazıcı ile elde üretilen dişli çarkların daha hızlı ve daha hassas düz dişli çarkların imalatının yapılması sağlanmış olacaktır.

2. DİŞLİ ÇARK SİSTEMLERİ VE DÜZ DİŞLİ ÇARKLAR

Dişli çarklar; aralarında bir kayma oluşmadan iki mil arasında kuvvet ve hareket ileten elemanlardır. Mekanizmanın bir döndüren veya bir kaç döndürülen elemanı vardır. Genellikle mekanizmanın küçük olan dişlisine pinyon diğerine ise çark denir. Dişli çarklar millerin konumuna göre çark mekanizmaları silindirik veya alın dişli çarklar, konik dişli çarklar, spiral dişli çarklar olmak üzere 3 başlıkta toplanır.

2.1. Silindirik veya Alın Dişli Çarklar

Eksenleri aynı düzlemde paralel olan iki mil arasında güç ve devir ileten çarklara silindirik veya alın dişli çark denir. Dişlerin yönü çark eksenine paralel ise düz silindirik, eğik ise helisel silindirik veya çift helisel silindirik (ok) dişli çark adını alırlar. Ayrıca çarklar, birbirinin dışında veya içinde yuvarlanmalarına göre dış veya iç silindirik dişli çarklar şeklinde adlandırılırlar. Dişli çarkın yarıçapı sonsuz olarak düzlendiğinde çubuk şekline bir dişli oluşmakta olup bu dişli kramayer dişli olarak adlandırılır (Rende, 1997).

2.1.1. Konik dişli çarklar

Eksenleri aynı düzlemde fakat kesişen iki mil arasında iletim olması durumunda konik dişli çarklar söz konusudur. Bunlarda kendi aralarında düz, helisel, çift helisel, veya eğrisel konik dişli çarklar adını alırlar.

2.1.2. Yuvarlanmalı veya kaymalı dişli çark

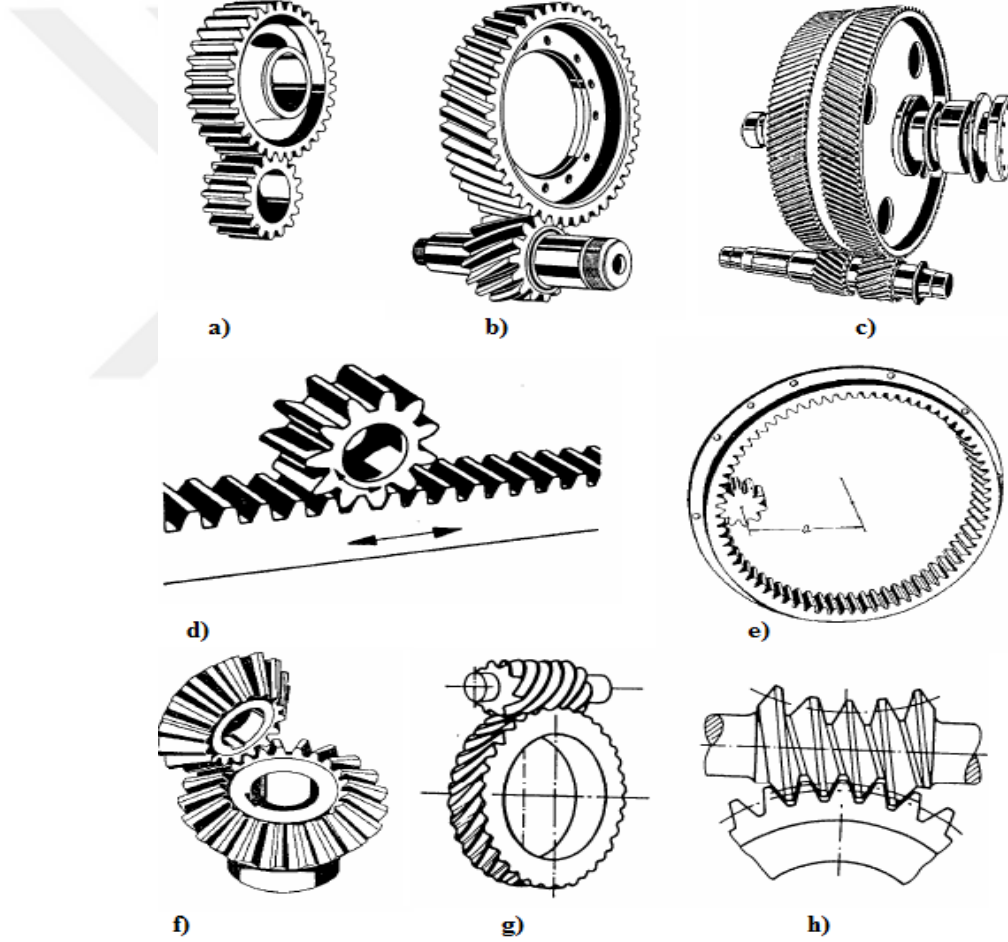
Bu grup dişli çarklar iki grupta tanımlanmaktadır. Birinci grup spiral dişli çarklar, ikincisi ise hipoid dişli çarklar olarak tanımlanmaktadır (Rende, 1997).

2.1.2.1. Spiral dişli çarklar

Bu dişliler mil eksenleri aynı düzlemde olmadan güç iletirler. Bu gruba en net örnek sonsuz vida mekanizmasıdır.

2.1.2.2. Hipoid konik dişliler

Bu dişliler eksenleri aynı düzlemde olmayıp kesişmeyen dişli çarklardır Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Dişli çarkların sınıflandırılması (Rende, 1997)

(a) Düz alın dişli çark, (b) Silindirik helisel dişli çark, (c) Çift helisel dişli çark, (d) Düz krameyer dişli çark, (e) İç dişli çark, (f) Konik düz dişli çark, (g) Sonsuz helisel dişli çark, (h) İse yine sonsuz düz dişli çark mekanizmalarını temsil etmektedir.

2.2. Dişli Çarkların Üretim Yöntemleri

Dişli çarklar geometrik büyüklük, malzeme ve kullanım amaçlarına bağlı olarak farklı şekillerde imal edilirler.

Dişli çarkların imalatı;

1. Yuvarlanma metodu,
2. Doğrudan döküm yöntemi,
3. Modül frezeleri ile dişli üretim,
4. Şablona göre diş açma,
5. Haddeleme veya ovalama ile,
6. Zımbalama ile,
7. Püskürtme(enjeksiyon) döküm ile,
8. Sinterleme metodu ile,
9. Broşlama metodu ile
10. Lazer kesimle ile,

Bu dişli üretim metotlarından ilk üçü en çok kullanılan üretim şekilleridir. Bunları detaylı olarak anlatılacaktır. Diğerlerine kısaca değinilecektir.

2.2.1. Yuvarlanma metodu

Günümüzde üretilen dişli çarkların büyük bir çoğunluğu yuvarlanma metoduyla çalışan tezgahlarda üretilirler. Düz ve helis dişli çarkların üretimi için genel olarak şu üretim şekilleriyle üretilir.

1. Kremayer şeklindeki kesici bıçakla diş açma (MAAG sistemi),
2. Sonsuz vida şeklindeki freze ile diş açma (Azdırma sistemi),
3. Dişli çark şeklindeki kesici bıçakla diş açma (FELLOW sistemi).

Bu yöntemde imalatı yapılacak dişli çark makine tablası üzerinde tabla ile beraber kendi eksenini etrafında dönmekte kesici takım da kendi eksenini etrafında dönerek ve yukarı - aşağı kesme hareketi yaparak imalat gerçekleştirilmektedir.

Maag diş açma tezgahı ile düz ve helis silindirik diş, alın dişlileri, zincir dişlileri, dişli miller ve bunlara benzer profilleri yuvarlanma ve form takımıyla üretilen parçalar üretilir. Ek takımla da kremayer dişlileri, helis ve düz silindirik iç dişliler üretilir. Maag tezgahı şematik olarak aşağıda gösterilmiştir.

2.2.1.1. Azdırma yöntemi

Yuvarlanma metoduna göre diş açan "Maag" veya "Fellow" tezgahları planya hareketi yaparak diş açarlar yani aşağı doğru kesiş hareketi yaparken yukarı boş hareket yaparlar. Azdırma tezgahı ise kesici bıçak sonsuz vida şeklinde olmasından dolayı sürekli kesim hareketi yapar. İş parçası döner bir tabla üzerine bağlanarak kendi eksenini etrafında döner kesici takım da kendi etrafında dönerek aşağı yukarı hareket ederek sürekli talaş kaldırarak dişli üretim şeklidir.

Aşağıdaki resimlerde azdırma tezgahında kullanılan kesici azdırma çakıları ve azdırma tezgahında dişli üretimi gösterilmiştir.



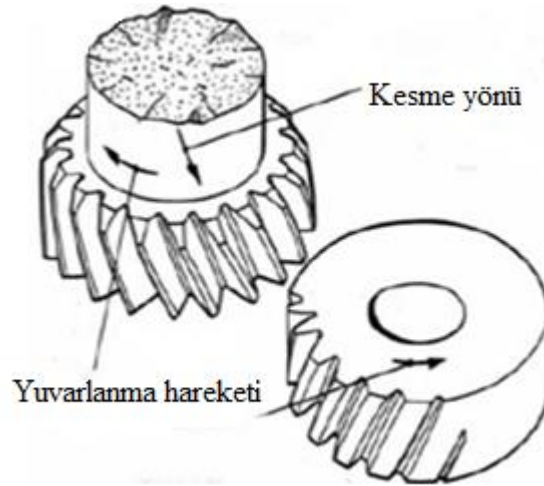
Resim 2.1. Azdırma tezgahlarında kullanılan kesici takımlar (anonim, 2019)



Resim 2.2. Azdırma tezgahında diş açma (Anonim, 2019)

2.2.1.2. Dişli çark şeklindeki kesici bıçakla diş açma (FELLOW sistemi)

Fellow sisteminde iş parçası döner bir tabla üzerine bağlanır ve kendi ekseni etrafında dönme hareketi yaparken yuvarlak şeklindeki bıçakların kendi ekseni etrafında dönmesiyle ve yukarı aşağı hareketiyle dişli üretim şeklidir. Şekil 2.2’de şematik gösterimi ve Resim 2.3’te ise fellow tezgahında dişli üretimi gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Fellow tezgahında dişli üretim şematik gösterimi (Maag)



Resim 2.3. Fellow tezgahında dişli açma (Anonim, 2019)

2.2.2. Doğrudan döküm yöntemi

Bu üretim yönteminde dişliler bir kalıba dökülerek veya enjeksiyonla kalıba basınçla enjekte edilerek elde edilir. Bir başka üretim şeklide metal tozlarının yüksek ısı da ve yüksek basınçta kalıp içinde sinterleme yoluyla elde etme işlemleridir. Büyük boyutlu ve yavaş dönen dişlilerde sınırlı olarak uygulanır.

2.2.3. Modül frezeleri ile dişli üretimi

Karşılıklı çalışan iki dişli çarkın diş profillerinin resimlerini çizip bunlara göre disk şeklinde form frezeleri yaparak diş açmak mümkündür. Bu şekildeki diş açılışı normal freze tezgahlarında yapılır burada bir diş açıldıktan sonra divizör yardımıyla çark bir diş adımı ileri çevrilir ve ikinci diş açılır. Divizör hatalarına karşı günümüzde CNC tezgahları bu taksimat işlemini otomatik yapmaktadır. Bir kademedeki dişli çiftinin küçük dişli çarkının temel dairesi ufak, büyük çarkların ki ise büyüktür. Bu sebepten evolvent profilleri de değişik çıkar; küçük çarkların ki çok eğri, büyüklerinki ise az eğridir.

2.2.4. Şablona göre diş açma

Şablona göre diş açan tezgahlarda genelde özellik taşıyan konik dişli imalinde kullanırlardı. Yuvarlanma metoduna göre diş açan tezgahlar geliştikten sonra bunlar önemini kaybettiler. Bu sistemle imalat basit olduğundan ve yerel olarak üniversal tezgahlarda yapılabileceklerinden, konik dişli imali problemleri ile karşılaşan ufak ve orta çaptaki imalatçıları tarafından kullanılırlar. Çalışma sistemi kopya freze sistemidir.

2.2.5. Haddeleme veya ovalama ile diş açma

Dolu malzemenin ovalama metoduyla çeşitli vida ve cıvataların imalinde alınmış olan iyi sonuç, aynı metotla dişli çarkların imal edilmesine yol açmıştır. Büyük serilerle imal edilen otomobil dişlerinde haddeleme ile imalatı ilk olarak başlanmıştır. Sistem cıvata imali ile aynıdır.

2.2.6. Zımbalama ile dişli üretimi

Zımbalama tekniği ile sac malzemelerin üzerinden dişli çark üretim tekniğidir. Saat, sayaç, aparat, oyuncak vb. gibi çok küçük güçler ileten dişliler için uygulanır. Oldukça ince saclardan kesilerek elde edilen bu dişliler kesici kalıbın hassaslığına göre oldukça düzgün yapılabilir.

2.2.7. Püskürtme döküm ile dişli üretimi

Enjeksiyon yöntemiyle dişli çark imali düşük güçler ileten ve büyük serilerle imal edilen sayaç, aparat ve benzeri yerlerde uygulanırlar. Bunlar ısıtılarak madeni kalıplara basınçla püskürtülürler ve kalıpta çok kısa bir sürede soğurlar. Soğurken büzülme paylarını da hesaplamak ve kalıpları ona göre boyutlandırmak gereklidir. Plastik dişliler genel olarak bu yöntemle imal edilirler.

2.2.8. Sinterleme metodu ile dişli üretimi

Sinterleme ile dişli imali için toz şeklindeki metal tozlarının, özel preslerde dişli kalıbına preslenerek sinterlenir ve dişli elde edilir. Elde edilen dişliler biraz gözenekli, fakat sağlamdırlar.

2.2.9. Broşlama metodu ile dişli üretimi

Broşlama ile dişli imalinde genel olarak uzun bir broş kullanılır. Bu broşun üzerinde arka arkaya dizilmiş bıçaklar vardır. Bıçaklar kademeli bir şekilde işlenmiştir ve çubuğun bir çekilmesi yada itilmesinde dişli imal edilmiş olur. Seri üretim için uygun olup "Broşun" imali çok pahalıdır.

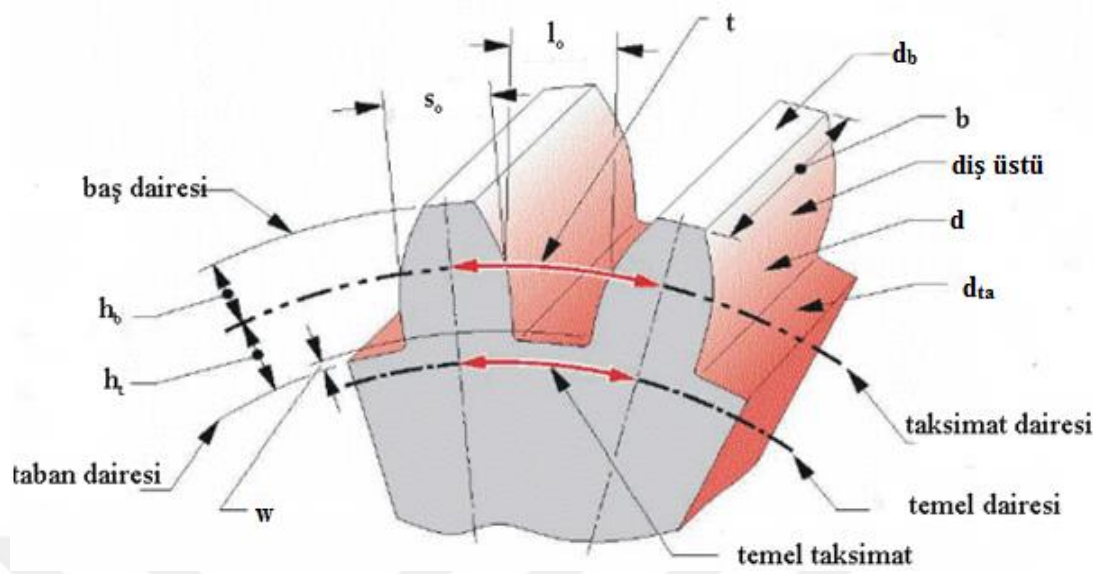
2.2.10. Lazer kesim ile dişli üretimi

Çok kalın olmayan ince et kalınlığına sahip dişliler (max 25 mm'ye kadar) bu yöntemle imal edilirler. Çok hassas olmayan ve düşük hızlı yerler için tercih edilir.

2.3. Düz Dişli Çarklar

2.3.1. Silindirik düz dişli çarkların temel kavramları ve boyutlandırılması

Düz dişli mekanizmaları: Dişlilerin diş yanakları birbirlerine ve dişli çark dönme eksenlerine paraleldir. Tahvil oranı $i \leq 8$ dir. Düz bir dişlinin şematik gösterimi ve kavramları Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Düz dişli şematik gösterimi (Anonim, 2019)

- t : Taksimat (adım)
 s_o : Diş kalınlığı
 l_o : Diş boşluğu
 b : Diş genişliği
 h_b : Diş başı yüksekliği
 h_t : Taban yüksekliği
 w : Diş boşluğu

Taksimat dairesi (Yuvarlanma dairesi) : Dişlerin taksimatının yapıldığı ve dişli çarkın büyüklüğünü gösteren dairedir. Bu daire üzerinde bir diş kalınlığı ve boşluğunu kapsayan uzunluk diş taksimatı (t) veya hatve denir.

$$\text{Yuvarlanma dairesi çapı (d)} = z.m \quad (2.1)$$

$$\text{Modül (m)} = d/z = t/\pi \quad (2.2)$$

$$\text{Diş sayısı (z)} = d/m \quad (2.3)$$

$$\text{Adım (t)} = \pi.m \quad (2.4)$$

$$\text{Baş dairesi çapı (d}_b\text{)} = d_0 + 2h_b = m(z+2) \quad (2.5)$$

$$\text{Taban dairesi çapı (d}_{ta}\text{)} = d_0 - 2h_t = m(z-2.5) \quad (2.6)$$

$$\text{Kavrama açısı (}\alpha\text{)} = 20^0 \quad (2.7)$$

$$\text{Temel dairesi çapı (d}_t\text{)} = d \cdot \cos\alpha \quad (2.8)$$

$$\text{Temel daire taksimatı (t}_t\text{)} = t \cdot \cos\alpha \quad (2.9)$$

$$\text{Kavrama oranı (}\epsilon\text{)} = \text{Kavrama kıtası}/t \cdot \cos\alpha \quad (2.10)$$

$$\text{Yuvarlanma dairesi çevresi} = \pi \cdot d = z \cdot t = \pi \cdot z \cdot m \quad (2.11)$$

$$\text{Çevresel hız (v)} = \pi \cdot d \cdot n / 60000 \text{ (m/h)} \quad (2.12)$$

$$\text{Dış başı yüksekliği (h}_b\text{)} = m \quad (2.13)$$

$$\text{Dış yüksekliği (h)} = h_b + h_t \quad (2.14)$$

$$\text{Dış kalınlığı (}\delta\text{)} = t/2 \quad \text{boşluksuz dişlilerde} \quad (2.15)$$

$$\text{Dış boşluğu (w)} = t/2 \quad \text{boşluksuz dişlilerde} \quad (2.16)$$

$$\text{Dış genişliği (b)} = \psi_m \cdot m \quad (\psi_m : \text{modüle göre genişlik sayısı}) \quad (2.17)$$

Dişli Çark Mekanizmasının Boyutlandırılması

$$\text{Eksenler arası uzaklık (a)} = (d_1 + d_2)/2 = (z_1 + z_2) \cdot m/2 \quad (2.18)$$

$$\text{Yuvarlanma dairesi çapı pinyon (d}_1\text{)} = z_1 \cdot m \quad (2.19)$$

$$\text{Yuvarlanma dairesi çapı çark (d}_2\text{)} = z_2 \cdot m \quad (2.20)$$

$$\text{Yuvarlanma daireleri çevre hızları} = v_1 = v_2 = \omega_1 \cdot r_1 = \omega_2 \cdot r_2 \quad (2.21)$$

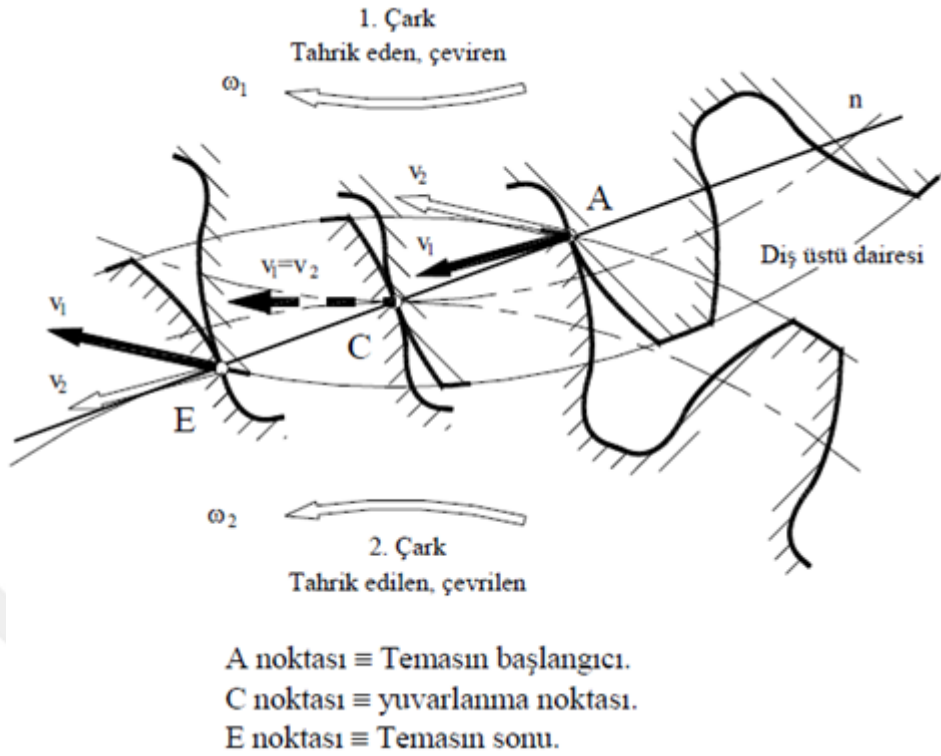
$$\text{Yuvarlanma dairesi çapı pinyon (d}_1\text{)} = 2a/(i+1) \quad (2.22)$$

ω : Açısal hız

"1" indisi döndüren dişli (pinyon). "2" indisi döndürülen dişli (Çark) için kullanılır.

2.3.2. Genel Dişli Kanunu

İki dişli çarkın birbiri ile çalışabilmesi için diş profillerinin birbiri ile aynı olması gerekmektedir. Bu profillerin birbirine uygun olması demek birbirlerine benzediği anlamına gelmemektedir. Dişli formuna sahip birbirine benzer herhangi iki diş profili çizer ve bu profile göre imalatı yapıp bu iki dişliliyi birbiri ile çalıştırırsak diş profillerinde ya ezilmeler oluşacak veya birbirinden ayrılacaklardır. Bazen çok güçlkle birbirini döndürmekte çoğu zamanda ise hiç dönme hareketi yapmadıklarını görürüz. Dişli çiftinin belirli bir devirde bir gücü, bir milden diğer bir mile normal bir şekilde aktarabilmesi için açısal hızlarının (ω_1 ve ω_2) her durumda eşit ve sabit olması gerekmektedir (Şekil 2.4.) (Kutay, 2010).



Şekil 2.4. Genel Dişli Kanunu (Kutay, 2010)

Yanakların birbirine temas etmesi ve düzenli dönebilmesi için, yuvarlanma noktası C de çeviren dişli yanağı teğetsel hızı ile çevrilen dişli yanağı teğetsel hızları aynı olması gerekmektedir. Buna ek olarak temas noktasında çevresel hızın yarı çapa oranı da aynı olmak zorundadır.

Bu durumda çevirme oranı:

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{V_1/R_1}{V_2/R_2} = \frac{V_1}{R_1} \cdot \frac{R_2}{V_2} \quad (2.23)$$

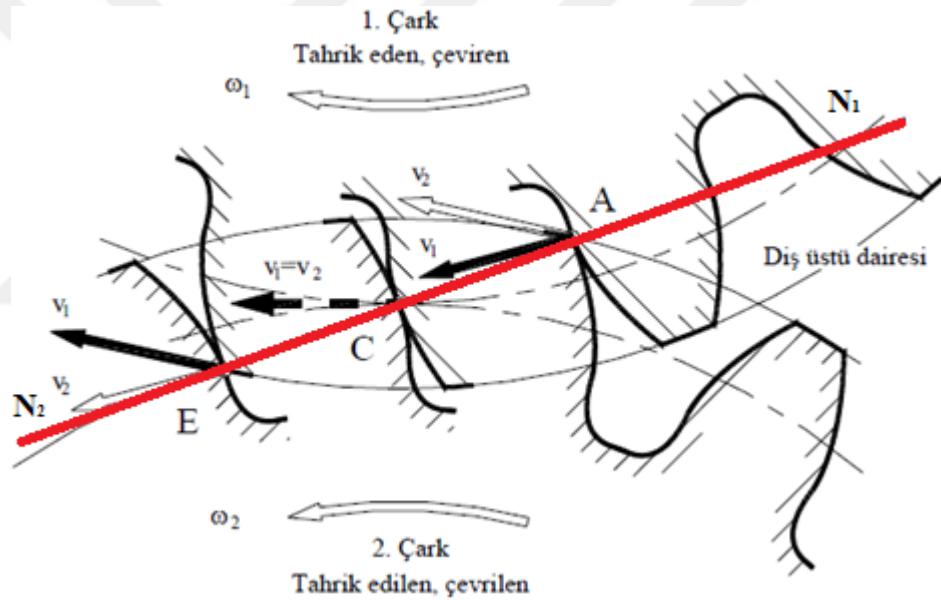
Temas yalnız C noktasında olursa; $V_1 = V_2$ olur.

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{d_2}{d_1} \quad (2.24)$$

Temas yalnızca C noktasında oluşmamakta, başlangıç noktası olan A ve bitiş noktası olan E arasında birden fazla çok noktada olabilir.

2.3.3. Kavrama Doğrusu

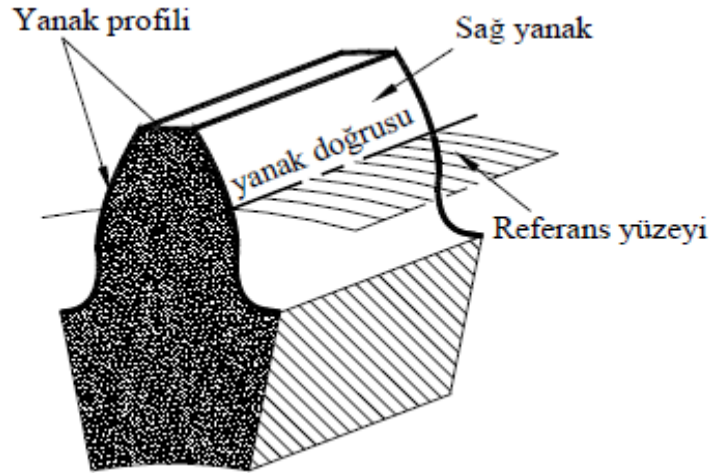
Şekil 2.5’de görüldüğü üzere bir dişlinin kavramaya girdiği noktadan başlayarak C noktasından geçerek kavramanın bitiş noktasına kadar çizdiği eğriye kavrama eğrisi denmektedir. Evolvent dişlilerde ise bu eğri bir doğru şeklini almakta olup bu doğruya ise kavrama doğrusu denir. Kavrama doğrusu, dişlilerin kavrama esnasında her iki dişli yüzeyinin temas ettikleri noktaların birleştirilmesidir. Şekil üzerinde de görüldüğü üzere N_1N_2 doğrusu. Dişli yüzey teması, döndüren dişlinin baş dairesinde (A noktası) başlar ve döndürülen dişlinin baş dairesinde (E noktası) sona erer. Böylece AE doğrusu çark çiftinin kavrama doğrusu olarak adlandırılır (Rende,1997).



Şekil 2.5. Kavrama Doğrusu (Rende, 1997)

2.3.4. Dişlilerin Diş Profillerinde Kullanılan Eğriler

Dişli kanununa uyan her türlü eğri şekli yanak profili olarak kullanılabilir. Profil seçimini profilin basit ve ucuz imal edilebilir olması ve basit kavrama eğrisi vermesi etkilemektedir. Bu da sikloidlerin, doğru veya daire üzerinde yuvarlanan profillerin kullanılmasını gerektirir (Şekil 2.6.) (Kutay,2010).

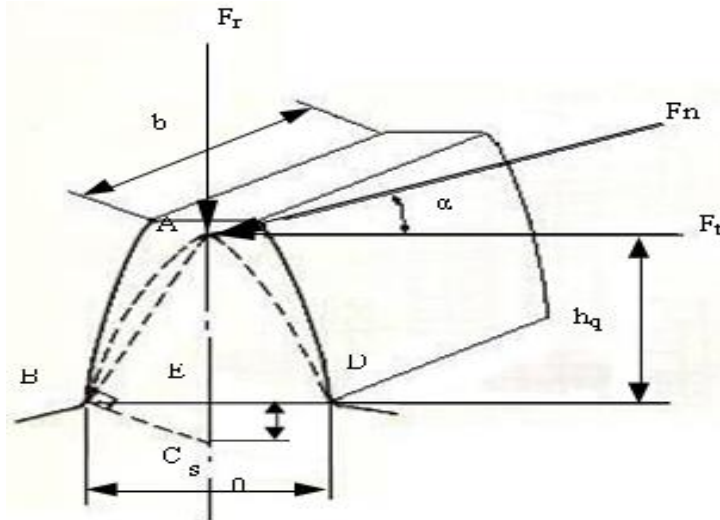


Şekil 2.6. Yanak Profili (Kutay, 2010)

Makine yapımında kullanılan profillerin çoğunluğu evolvent profil olmakla beraber az da olsa profili evolvent olamayan dişliler de kullanılmaktadır.

2.4. Düz Dişli Çarklar İçin Mukavemet Hesapları

Şekil 2.7'de görülen dişli çarkta kuvvet, dişin üstünden etki etmektedir. A noktasına etki eden F_n normal kuvveti, F_t teğetsel kuvvet ve F_r radyal kuvvetlerine ayrılır.



Şekil 2.7. Diş üzerine etkiyen kuvvetler (Can, 2004)

Ancak gerçekte dişe gelen F_n kuvvetini artıran yada azaltan etkiler vardır bu etkileride hesaba katmak gerekmektedir. Bu etkileri sırasıyla şunlardır;

1. İşletme faktörü (K_i): Dişli çarkın üzerinde bulunduğu makinenin darbeli çalışıp çalışmama şartlarına bağlı olarak F_n kuvveti artar.
2. Hız faktörü (K_y): Çevre hızın miktarı ve dişli imalat hatalarına bağlı olarak artar F_n kuvveti artar.
3. Kuvvet dağılım faktörü (K_m): Diş boyunca Kuvvetin dağılışı teorik olarak homojen kabul edilir. Dişli çarkın imalat hatası, yataklama hatası, diş genişliği gibi etkiler kuvvetin homojen dağılmasına mani olur.
4. Kavrama oranı faktörü (K_ϵ): Yukarıda belirtildiği gibi kavrama esnasında ancak belirli bir aralıkta F_n etki eder. Kavrama başlarken ve biterken daha küçük bir F_n etki eder. $K_\epsilon = 1$ ise emniyetli hesap yapılmış olur.

Bu faktörlerim hepsi hesaba katıldığında bölüm dairesi üzerindeki temas anında dişi zorlayan kuvvet:

$$F'_n = F_n \cdot K_i \cdot K_y \cdot K_m \cdot K_z \quad \text{olacaktır .} \quad (2.25)$$

"Eşitlik 2.4"de;

F_n = Temas anında dişi zorlayan kuvvet (N)

K_i = İşletme faktörü

K_y = Kuvvet dağılım faktörü

K_z = Kavrama oranı faktörü olarak alınmaktadır (Can, 2004).

Malzemenin emniyet gerilmesini de artıran yada azaltan boyut faktörü, çentik faktörü, yüzey kalitesi faktörü gibi etkilerin düşünülmesi gerekir.

Diş dibinin emniyet dağılım değeri;

$$\sigma_{em} = \frac{K_b \cdot K_y \cdot K_s}{K_c} \sigma_{eDal} \cdot \frac{1}{S} \quad \text{bağıntısı ile hesaplanır.} \quad (2.26)$$

"Eşitlik 2.26" da ;

σ_{em} : Emniyet gerilmesi (MPa)

K_b : Boyut faktörü

K_y : Yüzey kalitesi faktörü

K_s : Sağlama faktörü

K_c : Çentik faktörü

σ_{eDal} : Dalgalı değişken eğme gerilmesi (MPa), ($\sigma_{min}=0$)

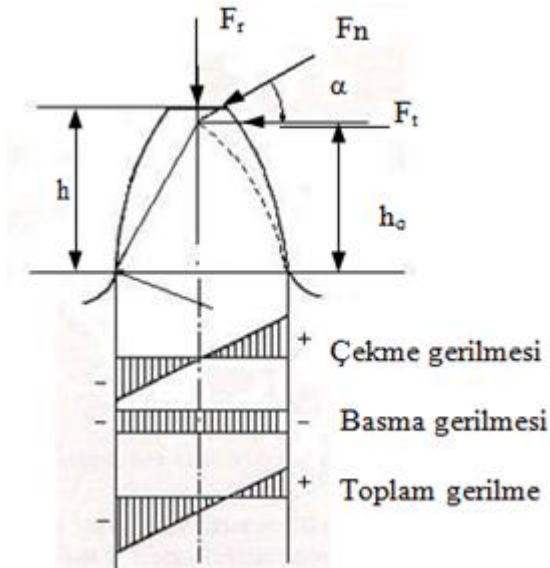
S : Emniyet katsayısıdır

Emniyetli tasarım için $\sigma_e \leq \sigma_{em}$ olmalıdır (Can, 2004).

2.4.1. Levis eşitliği

Dişlide en büyük zorlama F_n kuvvetinin diş tepesine temas ettiği anda meydana gelir.

Dişlide meydana gelen gerilmeler Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Dişte çalışma esnasında oluşan gerilmeler (Can, 2004)

Diş dibinde, kesme, eğme, ve basma gerilmeleri oluşur. Kesme gerilmesi yüzeyde sıfır olduğundan hesaba katılmaz. Şekil 2.7’de görüldüğü gibi bası gerilmesi, eğilmeden dolayı meydana gelen çekiye çalışan normal gerilmeyi azaltmaktadır. Bundan dolayı bası gerilmesi hesaba katılmaya bilir. Netice olarak diş sadece eğme gerilmesi zorluyor kabul edilebilir. Bu durumda meydana gelen eğme gerilmesi;

$$\sigma_{em} = \frac{M.y}{I} = \frac{F_t.h_g}{\frac{b.S_q^2}{6}} = \frac{6F_n \cdot \cos\alpha \cdot h_q}{b.S_q^2} \quad \text{ile hesaplanır.} \quad (2.27)$$

"Eşitlik 2.27"’de;

M : Eğme momenti (Nmm)

I : Atalet momenti (mm⁴)

h_q : Nominal yükseklik (mm)

S_q : Nominal kalınlık (mm)

b : Diş genişliği (mm)

y : Lewis form faktörü şeklindedir (Can, 2004).

"Eşitlik 2.27"’nin pay ve paydası m ile çarpılır ve düzeltme faktörü (K_d)

$$K_d = \frac{6m \cdot \cos\alpha \cdot h_q}{S_q^2} \quad \text{tanımı yapılır ise ;} \quad (2.28)$$

"Eşitlik 2.27"’de

$$\sigma_e = \frac{F_n}{b.m} \cdot K_d \quad \text{şeklinde yazılır (Can, 2004).} \quad (2.29)$$

2.4.2. Diş dibi kırılma gerilmesine göre mukavemet hesabı

Zorlamayı artıran etkileri de hesaba katarak "Eşitlik 2.30"’daki diş dibinde meydana gelen eğme gerilmesi;

$$\sigma_e = \frac{F_t}{b.m} \cdot K_d \cdot K_i \cdot K_v \cdot K_m \quad \text{olarak elde edilir (Can, 2004).} \quad (2.30)$$

Dişli zorlayan gerilme bağıntısında, zorlama gerilmesi yerine emniyet gerilmesi ve burada ψ_m : Genişlik katsayısıdır.

$$F_t = \frac{2.M_b}{d_0} = \frac{2.M_b}{m.z} \quad (2.31)$$

$$b = \psi_m \cdot m \quad (2.32)$$

"Eşitlik 2.30" da, "Eşitlik 2.31" ve Eşitlik 2.27" de değerleri yerine yazılıp düzenleme yapıp m çekilirse diş dibinden kırılmaya göre emniyet gerilmesi;

$$\sigma = (2M_b \cdot K_i \cdot K_v \cdot K_m \cdot K_d) / (\psi_m \cdot Z \cdot m^3) \leq \sigma_e \quad \text{şeklinde elde edilir (Can, 2004).} \quad (2.33)$$

2.4.3. Dişli çarkların yüzey basıncı

Çizgi veya nokta şeklinde temas eden yüzeylerde kontak yorulması meydana gelir. Bu tip yorulma önemli olarak, dişli çarklar, rulmanlı yataklar, tekerlekler ve kamlarda görülmektedir. İki yüzeyin nokta veya çizgi şeklinde temas etmesi durumunda fizikçi H. Hertz bağıntıları geliştirmiştir (Can, 2004).

F kuvvetinin genişlik (b) boyunca eşit olarak dağılmış olması ve iki silindirin temas etmesi durumunda, temas yüzeyi yarı genişliği;

$$a = \sqrt{\frac{2.F}{\pi.b} \cdot \frac{\frac{(1-\nu_1^2)}{E_1} + \frac{(1-\nu_2^2)}{E_2}}{\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2}}} \quad \text{Şeklinde verilmektedir (Can, 2004).} \quad (2.34)$$

a : Temas Yüzeyi yarı genişliği (mm)

ν_1, ν_2 : Poisson oranları

E_1, E_2 : Elastisite modülleri (GPa)

d_1, d_2 : Evolvent çapı (mm) olarak tanımlanmaktadır.

Dişli çalışırken sürekli olarak temas noktası değişeceği için evolvent eğrisinin çapı da değişmektedir. Temel dairesi üzerinde temas durumundaki evolvent eğrisinin çapı d_1 ve d_2 olarak alınır.

İki silindirin temas yüzeyindeki oluşan maksimum basınç:

$$P_{\max} = \frac{2F}{\pi \cdot a \cdot b} \quad (2.35)$$

P_{\max} : Maksimum basınç (MPa) olarak ifade edilmektedir (Can, 2004).

Şekil 2.8'de iki silindirin temasında oluşan yüzey basınç dağılımı ve silindir merkezine doğru gerilmelerin dağılımı verilmektedir. Maksimum kayma gerilmesi yüzey altında ve $\tau_{\max} = 0,3P_{\max}$ değerindedir. Yüzey altında oluşan kayma gerilmesi ile çatlaklar oluşur; Çatlakların ilerlemesi ile pullanma şeklinde yorulma hasarları meydana gelir.

Diş dibinden kırılmadaki P_{Dem} ;

$$P_{eb} = \sqrt{\frac{2M_b \cdot K_i \cdot K_v \cdot K_m \cdot E}{\psi_m \cdot Z^2 \cdot m^3}} \cdot \frac{I_{12} + 1}{I_{12}} \leq P_{Dem} \quad (2.36)$$

"Eşitlik 2.36" da ;

P_{Dem} : Dişli malzemesinin temas yorulması için emniyetli yüzey basınç değeri (MPa)

I_{12} : Çevrim oranı şeklinde tanımlanır.

Modül bağıntıları hem döndüren hem de döndürülen dişli çark için geçerlidir. Ancak ilk önce döndüren küçük dişli çark hasara uğrayacağı için hesaplar küçük dişli çarka göre yapılır (Can, 2004).

Dişli çarkların boyutlandırılması zorlamanın durumuna ve yüzeyde oluşturacağı hasar şekline göre "Eşitlik 2.33" ve "Eşitlik 2.36" formülleriyle yapılır. Yüzey basıncı yada diş dibi kırılmasına göre yapılan hesaplamalarda, Emniyetli tasarım için daha büyük olarak elde edilen boyutlara göre ölçülendirme yapılır.

2.4.4. Plastik dişli çark hesapları

Gerilme Hesapları

Dişlilerde maksimum gerilme diş dibinde meydana gelmektedir. Plastik dişliler için eğilme gerilmesi (S_t) Lewis eşitliğinden türetilen "Eşitlik 2.37"'den hesaplanabilmektedir (Walton, 1989).

$$S_t = \frac{F_t + P_d}{b \cdot y} \text{ şeklinde ifade edilir.} \quad (2.37)$$

F_t : Teğetsel kuvvet (N)

P_d : Diametral adım

b : Diş yüzey genişliği (mm)

y : Lewis form faktörü olarak tanımlanır.

Dişli temas gerilmelerini hesaplamak için, Hertz tarafından geliştirilmiş ve evrensel olarak kabul gören eşitlikten türetilen kavrama gerilmesini (S_c) veren "Eşitlik 2.38" plastik dişli çarklarda kullanılmaktadır (Walton, 1989).

$$S_c = \sqrt{\frac{F_t}{b \cdot d} \frac{1}{1 - \frac{(1 - \nu_1)}{E_1} + 1 - \frac{(1 - \nu_2)}{E_2}} \frac{4}{\sin(2\psi)} \frac{u+1}{u}} \quad (2.38)$$

Eşitlik 2.17'de;

F_t : Teğetsel kuvvet (N)

b : Diş yüzey genişliği (mm)

E : Elastisite modülü (MPa)

v : poisson oranı

u : Dişli oranı

ψ : Basınç açısı ($^{\circ}$) olarak tanımlanır (Walton, 1989).

Dişli Çark Sıcaklık Hesabı

Polimerik dişli çarkların çalışma sıcaklığı "Eşitlik 2.39" ile hesaplanır (BS-6168, 1985).

$$\theta_1 = \theta_0 + \frac{136 \cdot P_t \cdot \mu (1 + \mu)}{(Z_2 + 5)} \left[\frac{1,71 \cdot 10^4 \cdot K_a}{b \cdot Z_1 \cdot (v \cdot m)^{K_M}} + \frac{7,33 \cdot K_b}{A} \right] + 5,0 \quad (2.39)$$

"Eşitlik 2.39" de;

θ_1 : Dişli sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)

θ_0 : Başlangıçtaki dişli sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)

P_t : Aktarılan kuvvet (kW)

μ : Sürtünme katsayısı

Z_1, Z_2 : Diş sayısı

b : Dişli genişliği (mm)

v : Dişlinin çizgisel hızı (m/s)

m : Modül (mm)

K_a : Deneysel katsayı

K_b : Düzeltme katsayısı

K_m : Dişli sabiti şeklindedir (BS-6168, 1985).

Dişlinin çizgisel hızı "Eşitlik 2.40" dan hesaplanır (BS-6168, 1985).

$$v = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n_1}{6 \cdot 10^4} \quad (2.40)$$

"Eşitlik 2.40"'da;

d_1 : Dişli referans dairesi (mm)

n_1 : Devir sayısı (min^{-1}) şeklinde ifade edilir (BS-6168, 1985).

Dişli güvenlik faktörünün (S_f) hesaplaması "Eşitlik 2.41"'de gösterilmiştir.

$$S_f = 0.2 + \frac{\sigma_{F \text{ lim}}}{\sigma_F} \cdot Y_x \quad (2.41)$$

Y_x : Dişli eğilme gerilmesi için boyut faktörü

$\sigma_{F \text{ lim}}$: Diş eğilmesinde dayanım sınırı şeklindedir (BS-6168, 1985).

Hertz Basıncı Temas Gerilme Hesabı

Hertz basıncı temas gerilmesi (σ_H) "Eşitlik 2.42"'den hesaplanır.

$$\sigma_H = Z_h \cdot Z_e \cdot Z_\epsilon \cdot \sqrt{\frac{F_t}{b \cdot d_1} \cdot \frac{(u+1)}{u}} \cdot K_a \quad (2.42)$$

Z_H : Bölge faktörü

Z_E : Elastisite faktörü

Z_ϵ : Kontak faktörü

K_A : Uygulama faktörü şeklindedir (BS-6168, 1985).

Bölge faktörü (Z_H) "Eşitlik 2.43"'den hesaplanır (BS-6168, 1985).

$$Z_H = \sqrt{\frac{2 \cdot \cos a_w}{\cos^2 a \cdot \sin a_w}} \quad (2.43)$$

Elastisite faktörü (Z_E) "Eşitlik 2.44"'den hesaplanır (BS-6168, 1985).

$$Z_E = \sqrt{\frac{1}{\pi \cdot \frac{(1-V_1^2)}{E_1} + \frac{(1-V_2^2)}{E_2}}} \quad (2.44)$$

Kontak faktörü (Z_E) "Eşitlik 2.45" den hesaplanır (BS-6168, 1985).

$$Z_\epsilon = \left[\frac{4 - \epsilon_a}{3} \right]^{1/2} \quad (2.45)$$

2.4.5. Düz ve plastik dişliler ile ilgili yapılan çalışmalar

Yakut (2008), çalışmasında bazı termoplastik malzemeden imal edilen dişli çarkların yük taşıma kapasitelerini ve dişlerde oluşan hasar oluşumlarını incelemiştir. Çalışmada üç ayrı grup malzeme kullanmıştır. Bunlar PA 66 GFR 30, ABS/PC ve PA 66 GFR 30+ %2 borik asit katkılı termoplastik malzemelerdir. Bu malzemeler için döndüren dişli çark olarak AISI 8620 çeliğinden imal dişli ve diğer malzeme grupları ile aynı malzemeler kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda dişli çarklar arası eksen ölçüsü 91,5 mm olarak sabitlenmiş, dişli çarklarda profil kaydırma yapılarak dişliler boyutlandırılmıştır. Çalışmada 3,5 mm ve 4,5 mm olmak üzere 2 ayrı modül seçilmiş ve enjeksiyon kalıpları buna göre imal edilmiştir. Test düzeneği olarak güç sirkülasyon tipli FZG dişli test cihazı kullanılmıştır. Tork yükleme düzeneğinde uzun kola 40 N, kısa kola ise 22,5 N yükler asılmıştır. Deneye başlamadan tüm dişli çarklar asetonla temizlendikten sonra 40 °C'de fırında 1 saat neminin alınması için bekletilmiş, fırından çıkarıldıktan sonra 0.0001 gr hassasiyetinde terazide ağırlıkları ölçülerek kaydedilmiştir. Her 3 grup malzeme için 3 farklı devir (750, 1000, 1500 d/dak) seçilmiştir. Yükleme ise AISI 8620 eş çalışma uygulamalarında 4, termoplastik – termoplastik eş çalışmalarda ise 3 farklı yük kullanılmıştır. Deneyler 19 – 25 °C oda sıcaklığında yapılmıştır. Dişli çarklar belirlenen yüklerde toplam 180 000 devirde çalıştırılmıştır. Dönen ve döndürülen dişli çarkların kavrama noktasına 7 mm mesafede yerleştirilen kızıl ötesi termometre ile plastik malzemelerin sıcaklıkları ölçülmüştür. Deney bitiminde dişliler tekrar asetonla temizlenerek 40 °C de 1 saat fırında bekletilerek son ağırlıkları ölçülmüştür. Daha sonra dişli yüzeylerindeki aşınmayı ölçmek için 0.001 mm hassasiyetinde

Scherr Tumico marka ölçüm cihazında profil aşınma değerleri ölçülmüş, çalışma öncesi ve çalışma sonrası aşınmış dişli profilleri asetatlı kağıda çizilerek profil aşınmaları kıyaslanmıştır. Son olarak deney dişlilerinin SEM görüntüleri alınmıştır.

Can ve ark. (2004), yaptıkları çalışmada plastik dişlilerin yorulma dayanımını artırmak için tasarlanan ön gerilmeli dişli çarklarda yay takviyesinin statik kopma mukavemeti üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmalarında dişli çark hammaddesi olarak polipropilen kullanmışlardır. Numune olarak 6 mm modülünde kremayer dişli çark seçmişlerdir. Polipropilen malzemeden üretilen dişli çarkların içerisinde 1,0 , 1,2 ve 1,5 mm çapında yaylar yerleştirerek bası gerilmesi oluşturmuşlardır. Her numune için 4'er adet yay kullanmışlardır. Ön gerilme oluşturmak için yayları enjeksiyon işlemi öncesi gerip, kalıplama sonrası bırakmışlardır. Ön gerilmenin etkisini görebilmek için 3 adet numune yay çekilmeden üretilmiştir. Deneylerini Tequipment yorulma deneyi yapılabilen çekme deney cihazı SM100'de yapmışlardır. Yaptıkları testler sonucunda belirli bir statik yüklemde matriks malzemede çatlaklar oluşmasına rağmen yayların bulunduğu yerlerde çatlakların oluşmadığı ve daha büyük yükler taşıdığı görülmüştür. Yay takviyesinin statik kopmada tamamen ayrılmayı engellediği görülmüştür. Yay takviyesi yapılan statik ön gerilmeli ve ön gerilmemiş numune parçalarda %16, ön gerilme uygulanan numunelerde %18 oranında statik kopma değerleri iyileşmiştir. Takviye yapılan tel çapının artırılması neticesinde %30'lara varan statik kopma değerlerinin iyileştiği görülmüştür.

Tunalıoğlu ve Tuç (2012), yaptıkları çalışmada İç dişli çarklarda oluşan aşınmaları incelemişlerdir. Yapılan çalışmada "FZG Kapalı devre güç dolaşım sistemi" düzeneğine benzer pinyon ve iç dişli çarklarda yorulma ve aşınma test düzeneği imalatı yapılarak aşınma testleri yapmışlardır. Deneylerde kullanılan pinyon ve iç dişli çarklarda malzeme olarak St 37 malzemesi kullanılmıştır. Ayrıca çalışma esnasında daldırma tipi yağlama sistemi kullanılarak sistem transmisyon otomotiv yağı ile yağlanmıştır. Deney düzeneği 2000 d/dak motor hızında, üç farklı yüklem (50 Nm, 100 Nm ve 150Nm) yapılarak yapılmış, her 10×10^4 dönme tekrarında dişliler dişli kutusundan sökülerek üzerinde bulunan yağ tabakası bezle silinip

basıncılı hava ile temizlendikten sonra 1/1000 gr hassasiyetinde terazide tartılmış ve aşınma miktarları belirlenmiştir. Yapılan çalışmada hem pinyon dişlide hem de iç dişli çarkta uygulanan burulma momenti artırıldığında diş profillerinde meydana gelen aşınma miktarının arttığı görülmüştür. Pinyon dişlide dişlerinde iç dişli çarkın dişleri ile kavramaya girdiği diş tabanında, iç dişli çarkta ise pinyon dişli ile kavramaya girdiği diş başı bölgesinde oluşmuştur. Pinyon iç dişli çark çiftinde profil kaydırma yapılması durumunda bu durumlar dikkate alınması gerektiğini tespit etmiştir.

Kızılaslan ve ark. (2010), yaptıkları çalışmada dişli çalkarda meydana gelen hasar türlerini ve nedenlerini incelemişlerdir. Dişli çarklarda çalışmaları esnasında meydana gelen hasarların muhtelif sebepleri olduğunu tespit etmişlerdir. Bu hasarların yüzey işleme kalitesine, dişlilerin çalışma koşullarına, diş yüzey basıncına, kullanılan yağa ve özelliğine, kullanılan yağın sıcaklığına, dişlerin malzemelerine bağlı olduğu gözlemlenmiştir. Bu faktörlerin en başında dişli çark mekanizmalarının bakımlarının yapılmaması sonucu yağsız kalmaları başı çekmektedir. Hasarların en çok tespit edileninin pitting oluşumu, hasarlardan ise en çok kırılma hasarının daha çok tespit edildiği görülmüştür.

Güllü ve Yılmaz (2017), yaptıkları çalışmada, iç ve dış dişli çarklarda meydana gelen yüzey basınçlarının (Hertz) hesabı ve deformasyonları incelemişlerdir. Elastisite teorisinden faydalanılarak ilk olarak dişlilerin temas yüzeylerindeki basınçlar ve elastik deformasyon dağılımını belirlenmiştir. Sonra ise kavramada aktarılan momentin etkisi, meydana gelen kuvvetin oluşturduğu basınç ve deformasyon dağılımı tespit edilmiştir. Kendi geliştirdikleri bilgisayar programını kullanarak dişli modülü, kavrama açısı, çevrim oranının ve tashih değerleri değiştirilerek, dişli çarklarda oluşan Hertz basıncı ve temas deformasyonları incelenmiştir. Yapılan testlerde Hertz basıncı ve deformasyonların dişli gruplarında arttığı gözlemlenmiştir. Çalışmada dış dişli çarklarda modül ve çevrim oranının artması ile Hertz basınç ve deformasyonun ters orantı izlediği tespit edilmiştir. İç dişli çarklarda ise modül arttıkça Hertz basınç ve deformasyonun azaldığı, çevrim oranının artması sonucu Hertz basıncının ve deformasyonların arttığı gözlemlenmiştir.

Avcı (2009), çalışmasında helis dişli çarkların diş dibi mukavemet hesaplamalarını bilgisayar programları ile üç boyutlu olarak incelemiştir. Çalışmada helis dişli çark evolvent eğri grafiği Gear TraxSE programında oluşturulmuştur. Oluşturulan diş profilinde gerilme analizleri sonlu elemanlar tekniği kullanılarak bilgisayar ortamında Ansys programına aktarılmıştır. Diş üstüne x eksenine 20° açı yapacak şekilde ve tepe çizgisi boyunca yayılı yük uygulanmıştır. Bu durum Ansys programında simülize edilerek gerilmelerin en fazla diş dibinde meydana geldiği görülmüştür.

Çaycı (2012), çalışmasında dişli çarkların mukavemet hesaplamaları için MATLAB programında program yaparak, bu programda helis dişli çarklarda meydana gelen diş dibi mukavemeti, yüzey basıncının profil kaydırma işlemi ile değişimini analiz etmiştir. Hazırladığı MATLAB programı ile istenilen döndürme momentinin ve gücü iletilebileceği uygun mukavemet değerine sahip küçük ve hafif helis dişli çarkların dizayn edileceğine kanaat getirmiştir.

Ünal ve Mimaroglu (2006), Saf polyetheretherketone (PEEK) ve %30 karbon elyaf takviyeli PEEK bileşiminin sürtünme ve aşınma performansını, kuru kayma ve su damlaları yağlaması altında karşılaştırmalı olarak değerlendirmiştir. Kaydırma deneyleri bir pin-on-disk test cihazı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Aşınma testlerini, 3 farklı sıcaklıkta 50, 100 ve 150 °C oda sıcaklığında, 200 N yükleme altında, 0,40 m/s kayma hızı kullanılarak yapmışlardır. Çalışma sonucunda, %30 karbon elyaf takviyeli PEEK malzemesinin sürtünme katsayısının yükteki artıştan önemli derecede etkilenmediği, Saf polyetheretherketone (PEEK)'in ise sürtünme katsayısının yük arttığını gözlemlemişlerdir. Saf PEEK ve %30 karbon elyaf takviyeli PEEK bileşimi aşınma oranları su yağlama sırasında 10^{-15} m²/N iken, kuru kayma halinde bu değer 10^{-14} m²/N olduğunu ölçmüşlerdir.

Duhovnik ve ark. (2016), yaptıkları çalışmalarında eksenler arası mesafe 20 mm olan özel test ekipmanı kullanmışlardır. Test edilen dişlilerden döndüren dişli POM, döndürülen dişli çark malzemesi ise PA6 seçilmiştir. Döndüren ve döndürülen dişli çarklarda modül m=1 mm, diş sayıları ise z = 20 seçilmiştir. Testleri 0,8 Nm ile 1,5

Nm arasındaki farklı dönme hızları ve momentler kullanılarak gerçekleştirilmişlerdir. Testler sırasında dişlilerin sıcaklıklarını termal kamera kullanarak ölçülmüşlerdir. Test edilen dişlilerin gerilme ve deformasyon analizlerini, sonlu elemanlar yöntemini kullanarak analiz etmişlerdir. Testleri oda sıcaklığında yağsız ortamda yapmışlardır. Çalışma sonucunda düşük momentlerde (1 – 1,2 Nm) test edilen dişliler daha iyi performans göstermiş ve S – dişliler daha yüksek moment yüklerini ilettiğini görmüşlerdir. Yapılan ömür testleri polimer dişlilerin farklı çalışma koşullarında başarısız olduğunu göstermiştir. Düşük yüklerde yorulma hasarları, yüksek yüklerde ise sıcaklık sebebiyle kusurlar ortaya çıkmıştır. Diş diplerinde kalınlık ne olursa olsun yüksek gerilme oluşumunu ve düşük iletim hataları oluştuğunu görmüşlerdir. Dönme hızları arttıkça ve moment yükleri aynı kaldığında sıcaklıkta belirgin bir artma olduğunu görmüşlerdir. Diş kökündeki ısı transfer katsayısının önerilen değeri için ($k_{\theta, fu\beta} = (2100 K \cdot (\frac{m}{s})^{0,75} \cdot mm^{1,75})$) ölçülen ve hesaplanan değerlerinin tam uyuşmadığı tespit edilmiştir. Yüzey sıcaklığının hesaplanması ile alakalı daha fazla çalışma yapılması yönünde karar vermişlerdir.

Senthilvelan ve Gnanamoorthy (2006), çalışmalarında Naylon 6/6, % 20 cam ve % 20 karbon elyaf takviyeli Naylon 6/6 dişli malzemeleri üzerinde yapılan dinamik analiz, liflerin eklenmesinden dolayı sönümleme faktörünün azaltıldığını göstermişlerdir. Güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş malzemelerden yapılmış enjeksiyonla kalıplanmış düz dişlileri test düzeneğinde çalıştırılarak sıcaklık ve gürültü testleri yapmışlardır. Test esnasında dişlilerinin yüzey sıcaklığını ve dişlilerin birleşim noktası yakınında üretilen sesi sürekli olarak ölçmüşler ve bilgisayar tabanlı veri toplama sistemi kullanılarak değerlendirmişlerdir. Dişli çark çiftleri 1 Hz frekansta, 1000 d/dak devirde, 1,5 Nm torkta 50000 tur, 2 Nm torkta 20000 tur yaptırılmış ve sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Gürültü testleri yine aynı test düzeneğinde 1,5 Nm ve 2 Nm tork değerlerinde 200000 tur yaptırılarak gerçekleştirilmiştir. Test sonuçlarında, güçlendirilmiş dişlilerin güçlendirilmemiş dişlilere göre daha fazla temas gürültüsü ortaya çıkarttıklarını tespit etmişlerdir.

Tunalıoğlu ve Tuç (2014), yaptıkları çalışmalarında iç dişlilerde aşınmayı teorik olarak Archard'ın aşınma denklemlerine uyarlayarak MATLAB programında

programlayarak çözmeye çalışmışlardır. Testlerinde " FZG Kapalı devre güç dolaşım sistemi " düzeneğine benzer pinyon ve iç dişli çarklarda yorulma ve aşınma test düzeneği imalatı yapılarak aşınma testleri yapmışlardır. Değişik motor devirlerinde ve torklarda dişli malzemelerini 160 – 170 HB sertlik aralığında St50 seçerek muhtelif aşınma testleri yapmışlardır. Sıcaklığın ve motor dönme hızının kontrolü için aşınma test cihazına kontrol paneli dahil edilmiştir. Bu kontrol paneli sayesinde sistem devri 3000 rpm'ye kadar ayarlanabilmektedir. Bu da aşınma testlerinin değişik devirlerde yapılmasına olanak sağlamıştır. Deney düzeneğinde daldırma tipi yağlama yapılmış, yağ olarak 80 W/ 90 yağı kullanılmış ve yağ sıcaklığın sürekli olarak 23 ± 2 °C tutulmuştur. Testler esnasında abrasif aşınmalar sebebi olarak kopan parçaların yakalanması için düzeneğe içine mıknatıs koymuşlardır. Testlerde 3 ayrı devir (1000, 1500, 2000 rpm) ve 3 ayrı tork (50, 100, 150 Nm) çalışılmıştır. Test parçaları her 23000 turda durdurulmuş, üzerinde bulunan yıpranmış parçalardan ve yağlardan arındırılarak temizlenmiştir. Testler 230000 tura kadar tekrarlanmıştır. Daha sonra dişli yüzeylerinde oluşan aşınma derinlikleri CMM üç boyutlu ölçüm cihazında ölçülmüştür. CMM 'de diş yüzeylerinden 50 ayrı noktadan 3 ayrı bölgeden ölçüm alınmıştır. Her test adımından sonra iç dişliler test düzeneğinden sökülerek diş profil ölçümleri CMM'de yapılmış, dişlerde oluşan aşınma değerlerinin ortalamaları hesaplanmıştır. Her test sonrası ve öncesi dişli çarkların ağırlık ölçümleri yapılarak yükleme yapılan moment ve devirlerde oluşan aşınma miktarları da grafikler halinde çalışmada verilmiştir.

Kurokawa ve ark. (2003), enjeksiyon kalıplama prosesi ile hazırlanmış karbon fiber (CF) takviyeli polyamid 12 (PA12) dişlilerin performansını ölçüp kıyaslamak için karbon fiber takviyeli polyamid 6 (PA6), polyamid 66 (PA 66) ve polyamid 46 (PA46) bir çalışma yapmışlardır. Deneyler öncesi tüm hammaddeleri 80 °C sıcaklıkta 24 saat nem alıcıda bekletmişlerdir. Nemleri alındıktan sonra enjeksiyon kalıplarında dişli modülü 1, kavrama açısı 20°, diş sayısı 30, diş kalınlığı 8 mm, iş parçası et kalınlığı 16 mm , profil kaydırma uygulanmayan düz dişiler imal etmişlerdir. Yük taşıma testleri öncesi tüm dişlilere sadece bir kez 0,5 gram yağlama yapmışlardır. Dişlilerin aşınmalarını test etmek için maksimum 60MPa olan dişli aşınma test makinesi kullanmışlardır. Motorda, kayışlarda, yataklama kutusunda,

frenleme sistemine tork metre cihazı takılıncaya kadar sistemde oluşan gürültüleri tam olarak ölçememişlerdir. Aşınma derinliği kontrollerinde döndüren ve döndürülen dişliler üzerinden 3'er adet diş seçmişler ki sebebi aşınma davranışının diş pozisyonunun göre değişiklik arz etmesidir. Bu üçer adet döndüren ve döndürülen dişlilerde başlangıç profili değişimlerini sırasıyla bir projektör vasıtasıyla aralıklı olarak birkaç kez görüntülenmişlerdir. Yaptıkları çalışmada aşınma derinlikleri belirli bir rotasyonda neredeyse aynı seviyede olduğunu gözlemişlerdir. Dişliler üzerine etki eden tork değerini Lewis denkleminde göre hesaplamışlardır. PA / CF kompozitlerinin gerilme ve eğilme özelliklerini ASTM D638 ve ASTM D790'a göre ölçmüşlerdir. PA / CF kompozitlerinin su emme özelliklerini 23 °C ve %90 bağıl nemde ölçmüşlerdir. Yaptıkları çalışmaları sonucunda karbon fiber takviyeli PA12 malzemesinin bu malzemeler içinde en yüksek yük taşıma kapasitesine, mükemmel gürültüsüz çalışma özelliğine ve en düşük su emilimine sahip olduğunu gözlemlemişlerdir.

Mao (2007), yaptığı çalışmada kompozit polimer dişliler için yeni bir dizayn gerçekleştirmiştir. Bu dizayn, kompozit polimer dişlilerin aşınma oranı ve bunların yüzey sıcaklığındaki değişime dayanmıştır. Yapılan testlerde belirli bir form ve geometride yükün kritik değerlere ulaşmasında polimer dişli aşınma oranının çarpıcı olarak arttığını gözlemlemiştir. Dişlinin kritik değerlerin altında yüklenmesi durumunda diş yüzeyinin düşük yükler altında daha az aşındığını görmüştür. Aşınma oranında ani artışın sebebini ise kritik yükleme koşullarında dişli sıcaklığının dişli malzeme erime sıcaklığına yaklaşmasına etken olduğunu görmüştür. Daha sonra dişli yüzey sıcaklığının 3 ana bileşenini (ortam, hacim ve parlama sıcaklığı) incelemiştir. Dişli yüzey sıcaklıklarının değişimine göre kapsamlı deneyler yapmış ve dişli yüzey sıcaklığı ile taşıma kapasitesi arasında bir ilişki kurarak modelleme yapmıştır. Deneysel çalışmalarını farklı diş formlarında ve çalışma ortam sıcaklıklarında yapmıştır. Önerilen yöntemler ve test sonuçları arasında güzel bir ilişki bulmuştur.

Mao ve ark. (2009), yaptıkları çalışmalarında polimer dişliler (asetal ve naylon) sürtünme ve aşınma davranışları hakkında bir çalışma yapmışlardır. İlk olarak asetal

piyon ile asetal dişli çarkları, naylon pinyon ile naylon dişleri test etmişlerdir. Özel bir geometri ve dişli yüzey formunda testlerde asetal dişli çiftlerinde yükün belirli kritik bir değere ulaştığında aşınma oranının dramatik bir şekilde arttığını gözlemlemişlerdir. Testlerde dişli yüzey sıcaklığının ve yapılan yüklemelerin baskın etkisi olduğunu gözlemlemişlerdir. Yaptıkları çalışmalarda naylon dişlilerde asetal dişlilere göre diş diplerinde ve hatvelerde kırıklar oluştuğunu gözlemlemişlerdir. En ilginç sonuçları ise asetal ile naylon dişli çiftlerinin birbiriyle çalıştırılmasında görmüşlerdir. Asetal dişli döndüren dişli olarak kullanıldığında aşınmanın daha az olduğunu görmüşlerdir.

Lin ve Kuang (2008), POM ve naylon 66 plastik dişli çiftlerinin dinamik yüke bağlı ve dişli kökü aşınma profili arasındaki etkileşimi araştırmışlardır. Dinamik yüke bağlı bir algoritma hesabı ve dişli kökü aşınma profili arasındaki ilişkisi Flodin ve Andersson'un yaptıkları çalışmayı analiz ederek geliştirmişlerdir. Numerik sonuçlar, birbiriyle temas halinde plastik dişli çiftinin dinamik yük histogramı dişli kökü aşınmasından dolayı barizce değişebileceğini kanıtlamışlardır. Yapılan literatür araştırmasında, plastik dişli çarkların hasar analizleri ve yeni nesil malzemelerden üretilmiş dişli çarkların üzerinde çalışmalar yapılmaktadır.

Yapılan araştırmalardan anlaşıldığı gibi, plastik dişli çark hasar analizine matematiksel bir yaklaşım yapmak ve buna göre dişli çarkın ömür tayinini tespit etmek oldukça zordur. Yeni nesil plastik malzemeler ve dişli çark üzerinde yapılan modifikasyonlar ile plastik dişli çarkların ömürleri arttırılmaya çalışılmaktadır.

3. PLASTİK DİŞLİ ÇARKLAR

Monomer denilen kimyasal yollarla meydana gelen polimerik malzemeler, yüksek molekül ağırlığına ve zincir şeklinde bir yapıya sahiptir. Polimerik bir yapıya sahip olan plastik malzemeler günümüzde hemen hemen her alanda plastikler ve türevleriyle karşılaşmaktayız. Örneğin polimerik malzeme olan plastik malzemeler oyuncaklar, gıda, tekstil, otomotiv gövdelerinde, dişli ve yataklarda, ev aletleri, kablo yalıtımlarında, mobilya ve inşaatlarda kaplama ve sentetik yapıştırıcı olarak, vb. alanlarda dayanıklı ucuz, hafif ve kolay işlenebilmesinden dolayı teknolojinin bir çok alanında karşımıza çıkmaktadır.

Plastik malzeme çeşitleri, dişli yapımında kullanılan plastikler, plastik dişlilerde meydana gelen hasar türleri ve plastiklerin avantajları ve dezavantajları gibi konular bu bölümde incelenecektir.

3.1. Plastik Çeşitleri

3.1.1. Akrlonitril-bütadien stiren (ABS)

ABS reçenesi iki kısımdan meydana gelmektedir. Bu kısımlar stiren ve akrilonitrilinden meydana gelir ve ağırlıkça toplam kompozisyonun %50-95'ini içeren reçine kısmı ile %50-55'ini içeren kauçuk kısmından oluşur. Çok yüksek kimyasal ve mekanik özellikleri sahiptir. Ayrıca ısıya karşı dayanıklılık, boyutsal sabitlik, düşük sıcaklıklarda kullanılma özelliği, mükemmel kalıplanabilme, uzun müddet yük altında kalabilme ve katılık diğer üstün özellikleridir

3.1.2. ABC/PC

PC'nin çok sert bir malzeme oluşu ve ABS'inde yumuşak malzeme oluşu dişli çarklarda ayrı ayrı kullanımını sınırlamaktadır. Bu iki malzemenin özellikleri birleştiğinde dişli için uygun olan ABS/PC malzemesi ortaya çıkmaktadır. ABS/PC'nin alev, hava, ultraviyole ışınlarına dayanıklı olması ve nem emme

özelliğinin düşük olması birçok alanda kullanımını avantajlı kılmaktadır (www.infotron.com).

3.1.3. Polyamid (Naylon)

Makine endüstrisinde çok kullanılan nispeten sert, rijit, kaygan ve iyi mekanik dayanım değerlerine sahip bir malzemedir. Dişli uygulamalarında tekerlek yapımına kadar muhtelif kullanım alanları vardır. Ancak Kestamid kadar sert ve aşınmaya dayanıklı, Derlin kadar kaygan bir malzeme değildir. Kimyasal mukavemeti orta değerdedir, bazı asit ve bazlara karşı mukavemeti vardır. Polyamid 66 bünyesinde su toplama özelliğine sahiptir. Bu özelliklerin iyi ve kötü yanları vardır. İyi yönü parçanın titreşim ve ani darbelere karşı dayanımı artırır. Böylece parça kullanım esnasında oluşacak dinamik gerilmelerin bünyede yok edilmesine olanak sağlar. Kötü yönü ise malzemede ölçü stabilizesine ulaşmak güçleşir. Yani malzeme havadaki nemden dahi etkilenerek ölçü değişikliklerine uğrar parçaya son işlem yapılmadan toleranslara dikkat edilmelidir. Genel olarak kullanım yerleri; dişlilerde, yataklarda, cıvatalarda, flaşlarda, makara kayış kasnaklarında, kesim plakası, filtre plakası, tezgah tablası vb yerlerde kullanılır.

3.1.4. POM-Delrin (Asetal-Polioksimetilen)

Asetal, sert, rijit, iyi nem, ısı ve çözücü dayanımına sahip bir mühendislik plastiğidir. Homopolimer ve kopolimer şeklinde elde edilir. Yüksek mekanik dayanım değerlerine sahip düşük sürtünme katsayılı kaygan bir malzemedir. Rijit ve sert bir malzeme olduğu için dişli uygulamalarında özellikle küçük çaplı dişlilerde kullanılır. İşlenmiş parçalarda oldukça temiz yüzey elde edilir. Metallerle sürtünerek çalışması durumunda aşınma dayanımı zayıftır. Poliamid grubuna nazaran, daha yüksek sıcaklık dayanım değerleri ve ölçü stabilitesine sahiptir. Çözücülere ve yağlara karşı mukavimdir. Ancak asitlere ve bazlara karşı dayanımı oldukça zayıftır.

Kullanım yerleri; Üstün özellikleri ve kolay işlenebilir oluşu sanayide birçok kullanım alanı ortaya çıkarmıştır. Delrin çeşitli endüstriyel uygulamalarda yataklar,

burçlar, ağır sanayide makine dişlileri, Silindirler ve her türlü parça imalatında kullanılmaktadır. Delrin'den üretilen parçalar diğer parçalara göre üstünlüklere sahiptir. Bu üstünlüklerin bazıları aşınma dayanımı ve darbelere dayanıklılığıdır. Yağsız ve sessiz çalışma özelliğine sahiptir (Can, 2004).

3.1.5. Kestamid (Cast Poliamid)

Kimyasal yönden bir Nylon türü olmakla beraber belli ölçüde (crosslinked) çapraz bağlı moleküler yapısı nedeni ile üstün bazı özelliklere sahip bir poliamid türüdür. Poliamidler üstün mekanik, fiziksel, kimyasal ve elektriksel özelliklerden dolayı sanayide en çok kullanılan mühendislik plastikleridir. Çok yüksek molekül ağırlığı, yüksek kristal yapı çapraz bağlara sahip olma özelliklerinden dolayı sert, aşınmaya ve bükülmeye dayanıklı ve Nylon 6 ya göre daha az su emen sağlam bir plastiktir. Bilinen yüksek mekanik ve fiziksel özelliklerini daha da arttırmak amacı ile cam elyafı veya özel katkılı olanları da imal edilmektedir. Doğal olarak sarı renktedir. Talebe göre siyah veya değişik renklerde de üretilmesi mümkündür. Ünlversal metal ve ağaç işleme tezgâhlarında da kolaylıkla işlenebilmektedir.

3.1.6. Polikarbonat

Polikarbonat, genel olarak aleve, hava ve ultraviyole ışınlarına dayanıklıdır. Polikarbonat reçineleri çeşitli sıcaklıklarda çok iyi tokluğa, ısı ve ateşe karşı mukavemete, boyut kararlılığına sahiptirler. Darbe dayanımı parça kalınlığına bağlıdır ve kalınlık arttıkça darbe dayanımı azalmaktadır. Kalıplanmış parçaların boyut ve özelliklerine nemin etkisi çok azdır. Çok iyi olan sürünme dayanımı cam elyafı ile kuvvetlendirme ile iki-üç misli, artmaktadır. Yalıtkanlığı, çeşitli sıcaklıklarda ve nem şartlarında çok iyidir. Genellikle polikarbonatlar asit, yağ ve gres yağ tarafından etkilenmezler; ancak 65 °C suda devamlı tutulduğunda yavaş yavaş gevrekleşirler (Şimşek, 2002).

3.2. Dişli Yapımında Kullanılan Plastiklerin Özellikleri

Dişli yapımına uygun plastiklerin mekanik özellikleri aşağıda verilen Tablo 3.1’de fiziksel özellikleri de Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Dişli yapımında kullanılan plastiklerin mekanik özellikleri (Can, 2004)

Malzeme	Yoğunluk [kg/m ³]	Akma Dayanımı [MPa]	Çekmede Elastisite Modülü [GPa]	Çekmede Kopma Uzaması [%]	Eğilme Dayanımı [MPa]	Eğilmede Elastisite Modülü [GPa]
Asetal	1410-1420	62-69	2,8-3,6	25-40	90-97	2,8
Naylon 6	1120-1140	62-90	1,4-2,8	100-320	34-97	2,8
Naylon 66	1130-1150	76-83	2,6-3,2	60-300	41-110	21,4-4,1
PBT	910	21-28	0,21-034	350-450	96	0,69
PC	1100-1250	55-66	2,1-2,4	100-125	90-97	2,1
PSU	1240	68,9-75,8	2,5	50-100	97-105	2,8
PET	1350-1370	62 (Ç.D.)	-	100	112	-
HDPE	941-965	21-38	0,41-1,2	30-1300	-	0,69-2,1
ABS	1020-1060	22-54	0,97-2,5	30-90	34-97	0,69-2,8
PS	1040-1090	34-82,7	2,8-3,4	1,0-2,5	55-97	2,8-3,4
PU	1100-1500	14-69	0,69-6,9	200-1000	6,9-34	0,69
SKP	1600	135	15	4	125	-
PEEK	1300	70 (Ç.D.)	-	50	110	3,9 (23
PP*	900-910	30-38	1,1-1,6	200-700	41-55	1,4-2,1

Tablo 3.2. Dişli yapımında kullanılan plastiklerin bazı fiziksel özellikleri(can, 2004).

Malzeme	Çentik Darbe Tokluğu [J/cm]	Lineer Isıl Genleşme [Cx10 ⁻⁵]	Sertlik Rockwell	%Su Emme [24 saat]	Sürekli Servis Sıcaklığı
POM	0,53-0,8	15,3-18,0	M94	0,25	91
Naylon 66	0,53-1,1	14	R120	1,5	79-150
Naylon 6/10	0,5-1,2	-	R111	0,2	79-120
PBT	Kırılma Yok	16	D55-65	0,01	105
PC	6,41-9,61	11-13	M70-82	0,2	120-135
PSU	0,7	9,4-10	M69	0,2	175-190
PET	0,27	6,5	M96	0,2	-
HDPE	106,7 N/cm	12,0	D40	-	-
ABS	1,4-6,09	9,5	R60	0,2-0,4	80
PS	0,1-0,2	11-14	M65-80	0-0,1	70-95
PU	Kırılma Yok	18-36	M29	0,7-0,9	90
SKP (LCP)	1,10	-	R60	0	-
PEEK	0,50	5,5	R123	3,2	-
PP	0,27-1,2	11-18	R80-110	0,01	110

3.3. Plastik Dişli Çarkların Avantajları ve Dezavantajları

Plastik malzemelerden yapılmış plastik çarklar hafif, sessiz, ucuz ve korozyon dayanımları yüksek olduğundan otomotiv, gıda, ofis malzemeler ve tekstil gibi hemen hemen her alanda karşımıza çıkmaktadır. Bu plastik dişlilerin avantajları olduğu gibi dezavantajları da vardır bunlar detaylı olarak anlatılacaktır.

3.3.1. Plastik Dişlilerin Avantajları

- Yoğunları düşük olmasından dolayı hafif olması,
- Manyetik etkilerden etkilenmemesi,
- İmalatının ve işlenebilirlik açısından maliyetin düşük olması,

- Yapılarının elastik olması nedeni ile toleransın metal dişlilere göre daha az kritik olması,
- Yapıları gereği düşük sürtünme katsayısına sahip olması,
- Yapılarının yalıtkan olması,
- Gürültüsüz çalışmaya imkan sağlaması,
- Korozyon dayanımlarının yüksek olması nedeniyle korozyon önlemlerini almaya ihtiyaç duyulmaması,
- Yapısının elastik olması nedeniyle darbe ve titreşimleri sönmemesi,
- Yapıları gereği az yağlı, yağlı veya yağsız ortamlarda çalışmaya imkan sağlaması,
- Tek seferde ve seri üretime olanak sağlaması ve ek işlemler gerektirmemesi gibi birçok avantajları mevcuttur.

3.3.2. Plastik Dişlilerin Dezavantajları

- Isıl genleşme katsayıları yüksek olması nedeniyle deformasyona uğraması
- Sıcaklığın etkisinin artıp azalması sonucu çalışma kabiliyetinin düşmesi,
- Her zaman aynı hassasiyette imal edilememesi,
- Yük taşıma kapasiteleri ve mukavemet dayanımlarının düşük olması,
- Kimyasal maddelerden hatta bazı yağlardan olumsuz etkilenmesi,
- Doğru diş form ve boyutlarını ilk seferde elde etmenin maliyetli olması,

3.4. Plastik Dişlilerde Hasar Mekanizmaları

Plastiklerin kötü birer ısı ileticiler olması, yüksek performanslı dişli çarkların tasarımında kısıtlayıcı bir faktör olmaktadır. Dişli çarkların kullanım anında veya imalat aşamasında kullanılmayacak derecede hasara yol açan etkenler, hasar mekanizması olarak tanımlanmaktadır. Dişlilerin kullanılmaz hale gelmelerinde üretim sürecinde yapıda oluşan boşluklar, çatlaklar ve iç yapı homojenlikleri etkilidir. Üretim hataları nedeniyle dişli çark malzemesi beklenen çalışma periyodundan daha önce, çeşitli hasar mekanizmalarının etkisi altında ani olarak hasara uğrayabilir.

Plastik dişlilerin üretim hataları dışında kalan hasar mekanizmaları; yorulma, sürünme, aşınma ve plastik deformasyondur. Bu hasar mekanizmaları eş zamanlı oluştukları için hasara uğramış plastik dişlilerde; sürünme, yorulma ve plastik deformasyonu birbirinden ayırmak oldukça zordur (Can, 2004).

3.4.1. Plastiklerin yorulması

Plastik dişlilere ait darbe mukavemetini tanımlamak çok zordur. Çünkü darbe yükünün altındaki performans birçok değişkenlere bağlıdır. Bazen darbe yükü şartlarında, cam elyaf takviyeli polyamid ilk şokta veya ikinci şokta kırılırken, bazen de binlerce kez tekrarlanan darbelere karşı kırılmamış olarak kalabilir. Ayrıca tam yorulma performansını tanımlamak çok güçtür. Hızlandırılan yorulma testlerini uygulamak çok güçtür. Eğilme, çekme veya basma gibi durumlarda oluşan çevrimli gerilmelerden oluşan ısı, kolaylıkla dağıtılamaz ve ölçülemez. Gerçek performansın tahmin edilmesindeki zorluk plastik dişlileri güç iletim mekanizmalarında güvensiz yapmaktadır. Dişlilerdeki değişken gerilme, yorulmayı da beraberinde getirmektedir. Değişken zorlamalar zamana göre maksimum ve minimum değerler arasında değişen zorlamalardır.

Plastiklerde yorulma, bir çatlak oluşması ve yayılması sonucunda oluşmaktadır. Plastiklerde kalıplama esnasında yüzeyde, yorulma çatlaklarının yayılmasını sönmüleyen bir koruyucu tabaka meydana gelmektedir. Genellikle plastiklerde; küçük boşluklar, yolluk noktaları gibi kalıplama hatalarında çatlak oluşmaktadır.

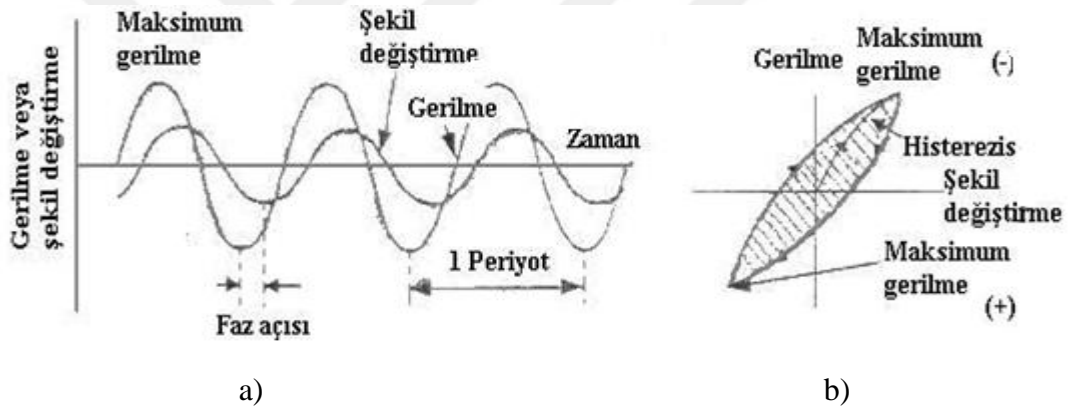
ısı iletkenliği sonucu oluşan ısının malzeme bünyesinde bir yumuşama meydana getirmektedir. Bu olaya ısıl yorulma veya yumuşama hasarı denilmektedir. Dolayısıyla plastiklerde çatlak yayılmasına ve malzemenin yumuşamasına bağlı olarak iki çeşit yorulma vardır.

Statik zorlama altında σ nominal gerilmelerinin kopma dayanımı (σ_K) ile eşit veya daha büyük ($\sigma \geq \sigma_K$) olduğu durumda kopmanın meydana geldiği durum statik yorulma olarak tanımlanmaktadır. Malzemenin kopması sadece gerilmenin büyüklüğüne göre değil, o gerilmeye maruz kaldığı zamana da bağlıdır. Şöyle ki

uzun süre gerilmelere maruz kalan parçalar, kopma dayanımından daha küçük gerilmelerde ($\sigma < \sigma_K$) kopmaktadırlar.

3.4.1.1. Isıl yorulma (Yumuşama hasarı)

Plastiklerin çoğu, çatlağın yayılmasından değil; iç sürtünmeden meydana gelen ısı ve bu ısının dışarıya iletilmemesi nedeniyle malzeme bünyesinde oluşan yumuşama hasarı ile hasara uğramaktadır. Plastiklerin viskoelastik özelliğinden dolayı değişen zorlamalarda gerilme ile şekil değiştirmeler aynı fazda değildir. (Şekil 3.1.a); şekil değiştirmeler gerilmelerin gerisinde kalmaktadır. Faz farkının değerleri plastiklerin cinsine göre büyük ölçüde değişmektedir.



Şekil 3.1. Değişken yüke maruz kalan plastiklerde, (Akkurt, 2004)

a) Gerilme ve şekil değiştirme arasındaki faz farkı, b) Histerezis

Gerilme ile şekil değiştirme arasındaki faz farkının sonucu olarak her yük tekrarlanmasında, uygulanan mekanik enerjinin bir bölümü ısıya dönüştürülüp kaybolmaktadır. (Şekil 3.1.b)'de gösterilen bu olay histerezis kaybını ifade etmektedir. Plastikler, düşük ısı iletkenliğine sahip olduklarından tekrarlanan yüklemelerde oluşan ısının büyük bir kısmı dışarıya iletilmemekte ve her yük tekrarlanmasında ısılar birikmektedir.

Sıcaklığın etkisi altında malzeme dayanımında ve rijidliğinde bir azalma meydana gelmektedir. Malzeme bünyesinde oluşan ısı, dışarıya iletilen ısıdan daha büyük

olduğunda sıcaklık sürekli olarak artmaktadır. Bu artan sıcaklığın belli bir değerinde, malzeme özellikleri bozulur, yükü taşıyamaz hale gelir ve hasara uğrar. Buna ısı yorulma veya yumuşama hasarı olarak adlandırılır.

Plastik parçaların tasarımı anında malzemenin ısı yorulma dayanımını arttırmak amacıyla, enerji kaybını önleyen ve ısı iletimini teşvik eden önlemlerin alınması gerekir. Bu önlemler;

- Mümkünse yükün frekansını azaltmak,
- Aşırı cidar kalınlıklarından kaçınmak,
- Isı iletimini kolaylaştırmak (Suni soğutma oluşturma,
- Kayıp uygunluğu düşük malzemeler seçmek,
- Gerilme yığılmalarını azaltmak şeklinde sıralanır (Akkurt, 2004).

3.4.2. Plastiklerin viskoelastik davranışı

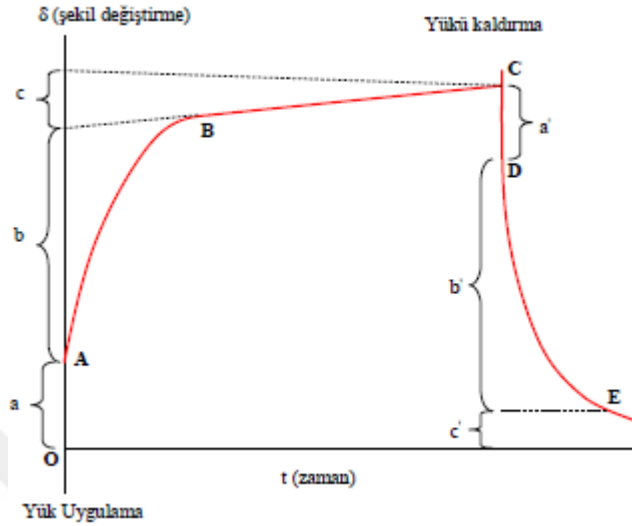
Plastikler, üzerlerine belirli bir kuvvet uygulandığında; hem elastik hem de plastik davranış gösterirler. Plastiklerin plastik deformasyonu, elastik kaymadan daha çok viskoz akış ile olmaktadır. Viskoz akış, polimerdeki zincirlerin birbiri üzerinde kayması ile oluşmaktadır.

Viskoelastik davranışta deformasyon, elastik deformasyon ve viskoz akış kombinasyonu ile olur. Viskoelastik davranış sürünme ve gevşeme (rölaksasyon) olmak üzere iki şekilde meydana gelmektedir. Sürtünme, sabit bir gerilmenin etkisi altında, malzemenin sürekli olarak şekil değiştirmesi; gevşeme ise belirli bir şekil değiştirme durumunda bulunan malzemede, gerilmelerin sürekli olarak azalması olarak ifade edilmektedir (Can, 2004).

3.4.3. Plastiklerin sürünmesi

Polimerik malzemedan yapılmış parçalar uygulamada uzun periyotlarla küçük çekme ya da basma gerilmelerine maruz kaldıklarında, boyut değiştirirler. Sabit yük altında

zamanla boyut deęiřtirme olayına sűrűnme adı verilmektedir. Sűrűnme olayı (řekil 3.2)'de gűsterilmiřtir.

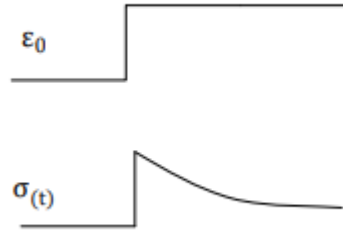


şekil 3.2. Plastiklerin şekil değiştirme mekanizması (Can, 2004).

Elastik bir malzemeye σ gerilmesi uygulandıęında, bařlangıçta uzama uygulanan çekme gerilmesi ile hemen hemen ani olarak oluřur. Bařlangıç deformasyonu (řekil 3.9)'daki eęrinin OA parçasıdır ve řekilde a ile gűsterilmektedir. AB arası sűrűnme bölgesidir ve hızlı bir řekilde ilerlemektedir. Genelde sabit deformasyon hızındaki deęiřim BC arasındadır. Yük kaldırıldıęında OA arasındaki řekil deęiřimi CD arasında hızlı bir řekilde geri gelecektir. ($a'=a$). DE arasında daha yavaş bir geri gelme gűrűlmektedir ancak bu tamamlanmayacak, bařlangıçtakine gűre belli bir plastik deformasyon oluřacaktır ($c'=c$). Burada b' gecikmeli řekil deęiřtirme, "c" ise Newton kanununa uyan viskoz sıvılarda meydana gelen řekil deęiřtirmelere benzer kalıcı řekil deęiřtirmelerdir.

3.4.4. Plastiklerin gerilme gevşemesi

Gerilme gevřemesi, sabit plastik deformasyon altında zamanla gerilmenin dűřmesidir. Gevřemede malzemenin davranıřı řekil 3.3'te gűsterilmiřtir.



Şekil 3.3. Gerilme gevşemesi

Sabit bir ε_0 şekil değiştirmede tutulan elastik bir malzemede gerilme sabit kalmakta iken (Şekil 3.10)'de gösterilen viskoelastik bir malzemede ise gerilme zamanla azalmaktadır. Viskoelastik malzemelerin davranışı, gerilme ile şekil değiştirme arasında örneğin Hooke ve Newton kanununda olduğu gibi lineer veya lineer olmayan bir bağıntıya dayanarak incelenmektedir. Birinci durum lineer viskoelastisite teorisi, ikincisine ise nonlineer viskoelastisite teorisi denilmektedir. Viskoelastik malzemelerin davranışını tayin etmek için çeşitli modeller teklif edilmiştir. Bunlardan en basit olanı, bir yay ve bir sönümleme elemanına (amortisöre) dayanmaktadır (Akkurt, 1991, Crawford, 1987).

3.4.5. Plastiklerde aşınma ve yağlama

Değiştirilmemiş durumdaki birçok polimer malzemesi yüksek aşınma ve sürtünme özellikleri gösterir, fakat içten yağlayıcılar olan grafit, PTFE ve silikon gibi maddelerin eklenmesiyle çok tesirli geliştirmeler yapılabilmektedir. PTFE, 0.02 sürtünme kat sayısı ile bilinen en iyi içten yağlayıcıdır. Silikon çevresel yağlayıcı olarak hareket eder ve sürekli ince bir tabaka oluşturacak şekilde yüzeye doğru hareket ederek ana reçineyle kısmen uyumlu bir alaşım oluşturur. PTFE'nin yeterli gelmediği yerlerde, PTFE / silikon hem başlangıçta hem de yüksek hızlarda sürekli olarak yağlama sağlarlar. Grafit de aynı özelliklerde çevresel yağlayıcı olarak hareket eder fakat, silikon kadar etkili değildir. Asbestos fiberler ve Mika, değişen derecelerde mekanik mukavemeti arttıran dolduruculardır, fakat cam fiberlerin eklenmesi ve son zamanlarda ise karbon fiberlerin eklenmesiyle sadece mekanik mukavemet değil ayrıca ısısal özelliklerin de aşırı derecede arttığı ve hatta uzun

vadeli sünme direncinin de arttığı saptanmıştır. Bir dereceye kadar karbon fiberlerle doldurulmuş tipler, yüksek maliyetleri nedeniyle bazı çok özel uygulamalar dışında dişli çaralarda kullanılmasını kısıtlarlar, buna rağmen daha iyi ısı yayılımı veren ısı iletkenliği yüksek diğer dolduruculara göre daha çok avantajları vardır (Pek 2002).

Termoplastikler, yağlama olmadan bile iyi kayma özellikleri göstermelerine rağmen, makine tasarımlarında sürtünme ve aşınmayı belirgin olarak azalttığı için çoğunlukla yağlama yapılmaktadır.

Dökümle üretimde; plastik döküm yönüne karşı soğutulursa yüzeyi talaşlı imalatla işlenmiş yüzeyden daha sert ve kaygan olur. Bu nedenle döküm parçalar, daha düşük kayma sürtünmesi gösterirler ve dişli çarklar için çok uygun olmaktadır. İyi bir çalışma için cam kadar pürüzsüz olmamak şartıyla mümkün olduğunca pürüzsüz yapılmalıdır. Cam gibi bir yüzey kontak yüzeyinin ve dolayısıyla sürtünmenin artmasına neden olur. Sürtünme, etkisini aşınma ve ısınma olarak gösterir.

Yağlama yapılması sürtünmeyi azalttığı için ısı oluşumu daha azdır. Özellikle sıvı yağlama halinde yağ, oluşan ısının atılmasına da yardımcı olur. İşletme sıcaklığının azalmasıyla yük taşıma kabiliyeti ve ömür belirgin olarak artmaktadır.

Sıvı yağların üstünlüklerine rağmen sızdırmazlığı sağlamanın maliyetinden dolayı çoğunlukla gresle yağlama tercih edilmektedir. Gresle yağlamada belli çevre hızı aşılmamalıdır. Yük taşıma kabiliyetini, sıvı yağlar kadar olmasa da arttırmaktadır. Genellikle montaj esnasında bir defalık yağlama yapılmaktadır. Belirli periyotlarla gresin yenilenmesinin ömür üzerindeki etkisi çok sınırlıdır. Yağlayıcı olarak, rulmanlar için geliştirilmiş greslerin kullanılması çoğunlukla uygundur.

Yağ seçiminde en önemli husus, plastiğin yağlayıcıya karşı kimyasal direncinin olmasıdır. Aşınma partikülleri etkisi ile yağın kalınlaşarak özelliğini kaybetmesi de söz konusu olabilir. Yağlayıcı eleman olarak lityum sabunlu mineral esaslı gresler kullanılır. Lityum sabunu gresin kıvamını düzenlemektedir. Özel katkı maddelerinin kullanılmasıyla, gresin plastik dişli çark yüzeyine daha iyi yapışması sağlanmaktadır.

Toz ile yağlama plastiklerin kayma özelliklerini oldukça iyileştirmektedir. Eğer uzun ömür beklentisi varsa katı yağlayıcıların yüksek hızlarda ve büyük yüklerde kullanılması problemlidir. Katı yağlayıcılar, pis olan ortamlarda gres kullanılmadığı ortamlarda kullanılmaktadır (Yakut, 2008)

Plastiğin kayma özelliklerini iyileştirmek için PTFE (Teflon), Asetilen isi, MoS₂, grafit veya silikon gibi katkı maddeleri de katılabilir. Bu katkılar plastiğin termik ve mekanik davranışlarını etkilemektedir (Akkurt ve Sezer 1998, Şimşek,2002).

PTFE (Teflon) tanecikleri yağlayıcı bir film tabakası oluşturarak sürtünme katsayısını ve aşınma faktörünü belirgin olarak azaltmaktadır. Örneğin; %20 PTFE yağlayıcı katkılı Polietersülfon'un dinamik sürtünme katsayısı; 0,37'den 0,11'e ve aşınma faktörü; 1500'den 32'ye düşmüştür. Aşınma faktörünün 200'den aşağı olduğu bu amorf reçine dişli malzemesi olarak düşünülebilir. Amorf reçineler, kalıplamada kristalin reçinelere göre daha az kendini çekme gösterir. Bu şekilde daha hassas dişli çarkların imaline imkan sağlanır. PTFE taneciklerinin malzeme içerisinden sürtünme yüzeyine gelmesi zaman aldığından, çalışma sırasında sürtünme yüzeyleri belli bir müddet direkt temas ederler. Bu nedenle yüzeylerde hasarlar meydana gelebilir.

Sıvı silikon, yüzeylerde bir sınır sürtünme tabakası oluşturduğu için tercih edilmektedir. Çalışma sırasında silikon, malzeme içerisinden sürtünme yüzeyine hemen ulaşarak yağlama vazifesini yerine getirir. Sıvı silikon tek başına veya PTFE ile beraber kullanılmaktadır. PTFE/silikon yağlayıcı takviyesi yüksek devirlerdeki uygulamalarda ve özellikle osilasyon hareketinin olduğu uygulamalarda kullanılmaktadır (yakut, 2008).

3.4.6. Polimerlerin kırılması

Polimerik malzemelerin kırılması, metallerin kırılmasıyla aynı değildir. Genel olarak, termoset polimerik malzemelerin kırılma modu gevrekli. Bu malzemelerin

büyük bir kısmında sünekten gevreğe doğru bir davranış görülmektedir. Gevrek kırılmaya doğru geçişi, sıcaklıktaki düşme, gerilme oranının artması, keskin çentiklerin bulunması, numune kalınlığının artması ve bunlara ilave olarak polimer yapının kimyasal, moleküler ya da mikroyapısal olarak değiştirilmesi etkiler. Bazı termoplastikler, belli bir sıcaklığın üzerinde gevrekleşirler. Bu sıcaklığa camlaşma sıcaklığı, camlaşan termoplastiklerden bazılarında kırılmadan önce oluşan fazla ayrılma denmektedir. Ayrılmalarla bölgesel olarak yüksek oranda akan bölgelerde küçük ve birbirine temas etmeyen mikroboşluklar oluşur. Ayrılmanın gelişimi esnasında çatlama öncesi kırılma enerjisi depolanır ve polimerin kırılma tokluğu da artar (yakut, 2008).



Resim 3.1. Polimerlerin düz dişlinin diş dibinden kırılması

3.5. Plastik Dişli çarkların Mukavemetini Artırmak İçin Öneriler

3.5.1. Modülün seçimi

Diş dibi eğilme gerilmesi modül ile ters orantılıdır.

$$\sigma \sim \frac{1}{m} \quad (3.1)$$

Büyük modüllerde büyük bir teğetsel kuvvet ve dolayısıyla büyük moment nakledilmektedir. Büyük modül aynı zamanda büyük diş yüksekliği demektir. Verilen bir “d” taksimat dairesi çapında dişli çark için seçilecek modülün değeri minimum diş sayısı ile sınırlanmıştır (yakut, 2008).

$$M_{\text{maks}} = \frac{d}{Z_{\text{min}}} \quad (3.2)$$

Yüzey aşınması bakımından modülün mümkün olduğunca küçük olması istenmektedir. Modül küçüldükçe sürtünme enerjisi miktarı düşmektedir. Sürtünme enerjisi, yüzey gerilmesi ile ortalama kayma hızının çarpımı ile hesaplanmaktadır. Temas noktalarındaki yüzey eğrilik yarıçapı küçüldükçe yüzey gerilmesi küçülmektedir. Kayma hızı diş yüksekliği ile doğru orantılı olarak düşmektedir (Fetvacı, 1998).

Küçük modellerde imalattan veya ısıl genleşmeden kaynaklanan dişli hataları kolay kolay sıkışmaya sebep olmazlar. Küçük bir modül diş yüzeyi eğriliğinin az olması anlamına gelir ve bu durum diş mukavemetini olumlu etkiler. Büyük modül ise belirli bir çap için çevrede daha az diş anlamına gelir. Bu ise düşük diş başlarında alttan kesilmeye sebep olmaktadır. Büyük modüllü dişliler genelde küçüklere göre daha çok kayma sürtünmesi gösterirler. Pinyona daha fazla yük etkidiğinden bir dişli çifti tasarlarırken ilk önce pinyon dişliyi tasarlamak doğru bir yaklaşımdır (yakut, 2008).

3.5.2. Kavrama açısını değiştirmek

Dişli çarklarda kullanılan kavrama açıları $14^{1/2}$, 20^0 ve 25^0 dir. Düşük kavrama açısı durumunda diş dibinden kırılma ihtimali artmaktadır. Hassas hareket ve yüksek verimlilik istenen yerlerde kullanılmaktadır. Yüksek kavrama açısı durumunda iyi bir eğilme mukavemeti, fakat düşük bir verimlilik elde edilir. Bu dişliler yüksek güçlerin naklinde kullanılır. En çok kullanılan kavrama açısı 20^0 dir. Kavrama açısının seçimi uygulama yerine bağlıdır. Kavrama açısı arttıkça min. Diş sayısı azalmaktadır. Artan

açıyla taban genişliği artmaktadır. Dolayısıyla diş dibi mukavemeti artar, diş ucu sivrileşir ve kayma özellikleri iyileşir (Şimşek, 2002).

3.5.3. Diş kök eğrisi formu

Diş kök eğrisi formu plastik dişli çarklarda metallere göre daha fazla önem taşımaktadır. Çentik duyarlılığı nedeniyle plastik dişli çarklar için enjeksiyon kalıpları dizayn edilirken diş dibi kök eğrisi yarı çapı yüksek tutulur. Böylece gerime yığılmaları azaltılır ve çalışma ömrü artırılır (Fetvacı, 1998, Şimşek, 2002).

3.5.4. Tamamlayıcı profil

Metal dişli / plastik dişli kombinasyonunda, nakledilen teğetsel kuvvet tamamlayıcı profillerin kullanılmasıyla artırılmaktadır. Bu durumda plastik dişli çarkın diş kalınlığı metal dişliye artırılır. Taksimat dairesindeki diş kalınlığının diş boşluğuna oranı 2:1'e çıkabilir.

3.5.5. İşletme gürültüsünün azaltılması

Diş yüzeyleri arasındaki sürtünmeye ek olarak kavrama esnasındaki sarsıntılar işletme gürültülerini artırır. Bu sarsıntılar helisel dişli kullanılmasıyla hafifletilebilmektedir. Dişli çarkların esnek dizaynı, daha esnek malzemeler ile sarsıntılar azaltılabilir.

Dişli çarkların esnek dizaynı; ince, uzun dişliler (bunlar özel kesici takım gerektirir) veya diş dibi dairesine radyal yarıklar açılmasıyla gerçekleştirilir. Dişli çember gövdeye yay elemanları ile bağlanır. Bu esnek bağlantı sayesinde dişler yan boşluksuz olarak çalışır ve dolayısıyla daha sessiz bir çalışma gerçekleştirilir (Şimşek, 2002).

Plastik malzemelerin daha az sert ve daha esnek yapılması ile darbeye karşı mukavemetleri arttırılır. Sarsıntular ve işletme gürültüleri hafifletilir. Sürtünmeden doğan gürültüler ise uygun yağlayıcıların kullanılması ile azaltılır.

3.5.6. Profil kaydırma

- Profil kaydırma işleminin yapılmasının nedeni şunlardır:
- Bir dişli çark çiftini istenen eksenler arası mesafeye yerleştirmek,
- Pinyonla çark arasındaki gerilme farkını dengelemek, mekanizmanın yük taşıma kabiliyetini arttırmak,
- Küçük diş sayılarında alt kesilmeyi önlemek,
- İzafi kayma hızları arasındaki farkı gidermek, kavrama oranını büyütmek, daha sessiz çalışmayı sağlamak.

Profil kaydırma miktarı bir x profil kaydırma faktörü yardımıyla ve x 'in işaretiyle bağlı olarak belirlenir. Pozitif profil kaydırma ile dişin yük taşıma kabiliyeti artar. Bu artış düşük diş sayılarında daha belirgin bir hale gelir. Pozitif profil kaydırma ile diş başı dairesi çapı artar, profillerin eğriliği azalır ve diş başı sivrileşir. Profil kaydırmanın üst sınırı kavrama oranı ile belirlenir. Alın dişlilerde bu oran en az 1,08 – 1,10 olmalıdır. Diş başının çok sivri olması istenmediğinden diş başı kalınlığı belli bir değerin altına inmemelidir. Negatif profil kaydırmanın alt sınırını ise alttan kesilme ile belirler (Şimşek, 2002).

3.5.7. Diş hasarları

Taksimat dairesi boyunca kırılma polimerlere özgü bir durumdur. Polimerler yalıtkan malzemelerdir. Yuvarlanma noktasındaki yüksek sıcaklıklar nedeniyle mukavemet azalmaktadır. Taksimat dairesi boyunca kırılma genelde yağlanmamış dişli çarklarda görülmektedir. Diş dibinden kırılma, taksimat dairesi boyunca kırılma ve pitting teşekkülü yorulmadan kaynaklanan hasarlardır (Yakut, 2008).

3.5.8. Boyutsal değişiklikler

Dişlinin temel büyüklüklerinin değiştirilmesi ya da bütün profilinin değiştirilmesi şeklinde görülür.

Plastik dişlilerin ömürlerinin arttırılması amacıyla yapılabilecek en basit çözüm aynı yüke maruz kalacak daha büyük bir dişli yapmaktır. Boyutların büyütülmesi sadece modülün büyütülmesi anlamında değildir. Modülün büyütülmesi dışında basınç açısının düşürülmesi ile diş dibi kalınlığını değiştirilebilir (Yakut, 2008).

3.5.9. Malzemeye dayalı değişiklikler

Dayanım değerleri, daha fazla malzeme kullanımı, takviye malzeme kullanımı, alaşımlama, kaplamalar, ısıl işlemler, malzemeye dayalı değişiklikler olarak sıralanabilir.

Dayanımı daha yüksek başka bir plastiğin kullanımı ile mukavemet artışı sağlanabilir, fakat bu maliyet artışına sebep olmaktadır.

Plastiklerin kaplanması zor bir işlem olmakla birlikte mümkündür. Literatürde folyo, ya da yassı mamullere uygulanmış olup dişliler için kaplama kullanılmamıştır (Yakut, 2008).

4. ÜÇ BOYUTLU YAZICILAR

Üç boyutlu yazıcı sanal ortamda tasarlanmış herhangi bir şekildeki üç boyutlu nesnenin katı formda oluşturulma işlemidir. Bu işlemi gerçekleştiren cihazlara ise üç boyutlu yazıcı denir.

Üç boyutlu yazıcılar tarihte ilk olarak 1970'li yılların sonlarına doğru bilim dünyasına girmeye başlamıştır. O yıllarda boyutsal olarak çok büyük olup oldukça pahalı makinelerdi.

İlk üç boyutlu yazıcı Charles Hull tarafından 1984 yılında üretilmiştir. 1986 yılında üç boyutlu yazıcılar için ilk şirket kurulmuştur. 1988 yılında kurulan bu şirket tarafından geliştirilen SLA-250 adında ilk üç boyutlu yazıcı tanıtılmıştır. Ve yine aynı yıl içerisinde Selective Laser Sintering (SLS) ve Fused Deposition Modeling (FDM) teknolojileri keşfedilmiştir. 1993 yılında Massachusetts Institute of Technology (MIT) ikiboyutlu yazıcılarda kullanılan injet teknolojisinden yola çıkarak yeni bir teknoloji geliştirdi ve buna 3 Dimensional Printing (3DP) ismi verildi. İlk renkli baskılar bu yazıcılarda üretildi. 1995 yılında üç boyutlu yazıcıların satışı yapılamaya başlandı. 1996 yılında Z corporation yüksek çözünürlüğe sahip ürünler üreten ilk üç boyutlu yazıcıyı tasarladı. Bu yazıcı aynı zamanda renkli basım yapabilme yeteneğine de sahipti. 2007 yılında Reprap adıyla ilk açık kaynak kodlu yazıcılar piyasaya çıkmaya başladı. Dolayısıyla üç boyutlu yazıcıların geliştirme imkanı hızla arttı. 2008 yılında Object Geometries şirketi, Connex500 ile aynı anda farklı malzemeler kullanarak ürün üretebildi. 2009 yılından itibaren Makerbot ve 3D Systems'in geliştirmiş olduğu Cubify gibi modeller sayesinde ev tipi üç boyutlu yazıcıları satışları giderek artmıştır (Hacıoğlu ve Arkadaşları, 2016).

4.1. Üç Boyutlu Yazıcılarda Teknolojik Gelişim

Teknoloji gelişmelerine paralel olarak hayatımızda önemli yer edinen üç boyutlu yazıcılar tıp, inşaat, mimarlık, makine tasarım ve imalat sektörlerinde yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır. Kişiyeye özel tasarımlar en çok tıp sektöründe ihtiyaç

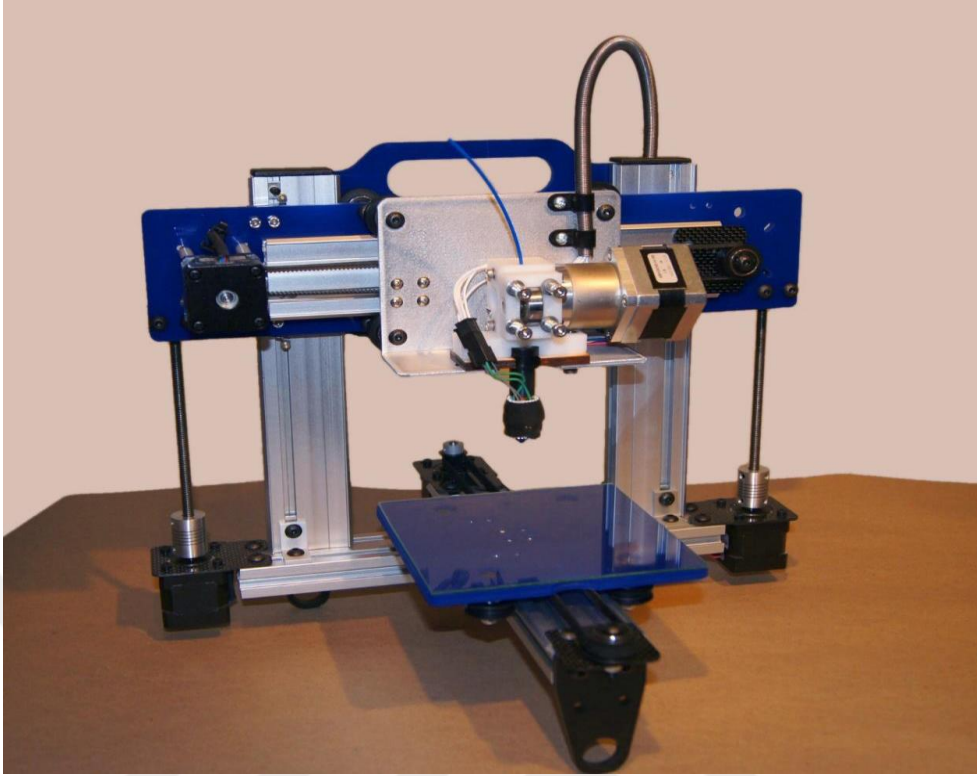
olduğundan çeşitli protez, eklemler ve organları üretmek için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Diş hekimliği alanında da diş ve implant yapımında kullanılmaktadır. Yine inşaat sektöründe model imalatında ve yeteri büyüklükte ihtiyaç sahibini barındırabilecek bir ev bile yapmak mümkün hale gelmiştir. Son zamanlarda ülkemizde de savunma sanayinde uçak, helikopter, füze, insansız hava aracı, uydu, jet motoru proje geliştirme projelerinde kritik ve maliyetli metal parçaları üç boyutlu yazıcılarda imal edilerek rekabet avantajı sağlaması planlanmakta ve çalışmalar devam etmektedir (Özdemir, 2017).

Üç boyutlu yazıcıların üç tipi vardır. Bunlar;

- Kartezyen Tipi Üç Boylu Yazıcı
- Delta Tipi Üç Boyutlu Yazıcı
- Core XY Tipi Üç Boyutlu Yazıcı
- Metal Baskı Yapan Üç Boyutlu Yazıcı

4.1.1. Kartezyen tipi üç boyutlu yazıcı

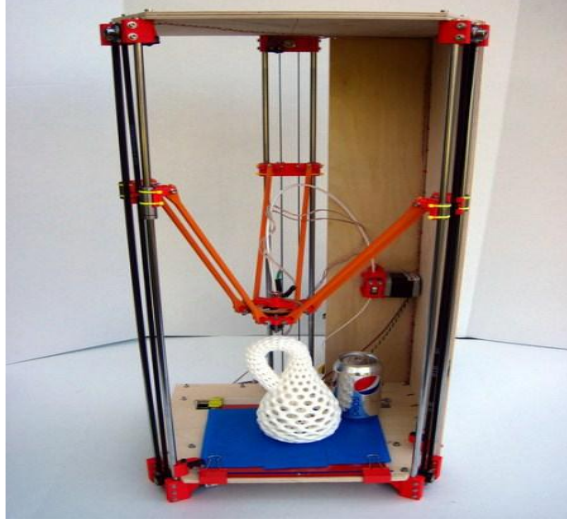
Kartezyen mantığında çalışan üç boyutlu yazıcılar genellikle bilgisayar kontrolü xyz kartezyen platformuna bağlanmış termoplastik püskürtücüden oluşurlar. Bağlantı elemanları ya geleneksel yollarla imal edilerek ya da bir başka üç boyutlu yazıcıdan imal edilerek kullanılan plastik parçalardır. X ve Y eksenindeki hareketler eksantrik triger kayışı tarafından sağlanırken Z eksenindeki hareket vidalı miller kullanılarak iki adet step motor sayesinde kontrol edilir. Resim 4.1’de kartezyen tipi üç boyutlu yazıcı gösterilmiştir (Hacıoğlu ve Arkadaşları, 2016).



Resim 4.1. Kartezyen üç boyutlu yazıcı (Hacıoğlu ve Arkadaşları, 2016)

4.1.2. Delta tipi üç boyutlu yazıcı

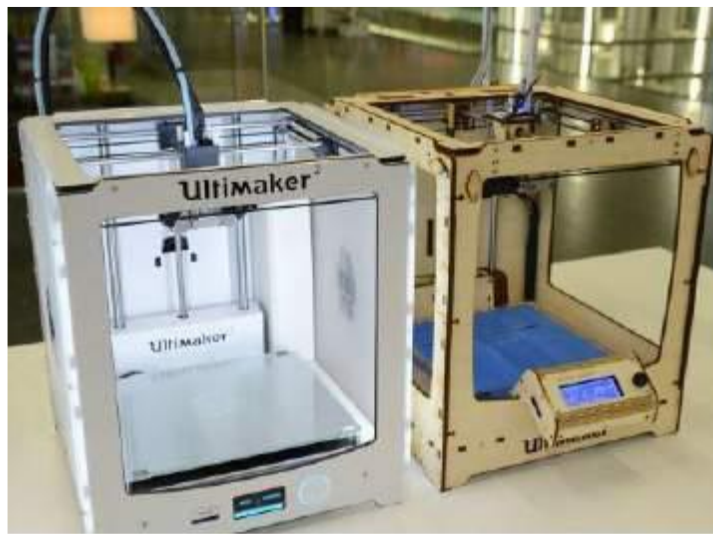
Delta tip 3D yazıcılar delta robot konseptine göre çalışırlar. Delta robotların endüstride bir çok kullanım alanı vardır. Bu robotlar özellikle küçük ve hafif objeler ile yapılan çalışmalarda kullanılırlar. 3 kolu bulunan bu tipler bir başlıkta birleşirler ki 3 boyutlu yazıcılarda bu başlık yazıcının ekstruderı oluyor. Her bir kol, hareketli bir taşıcıya bağlı olarak yukarı ve aşağı yönde hareket ediyor. Motorlar genellikle tablanın altında bulunuyorlar ve kolların hareket etmesini sağlıyorlar. 3 kol da birlikte hareket ederek objenin üretilmesini sağlıyor. Tablanın dolayısıyla objenin hiçbir şekilde hareket etmemesi ürün kalitesinin oldukça iyi olmasını sağlıyor. Resim 4.2’de delta tipi üç boyutlu yazıcı gösterilmiştir (İlgül ve Akgünoğlu,2016).



Resim 4.2. Delta tipi üç boyutlu yazıcı (İlgül ve Akgünoğlu,2016)

4.1.3. Core XY tipi üç boyutlu yazıcı

Core XY mantığıyla çalışan üç boyutlu yazıcılarda X ve Y eksen hareketi kayış kasnaklar yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Burada ergitmenin yapıldığı kafa XY koordinat sistemine bağlanmıştır. Z eksen hareketi tablaya verilmiştir. Tabla vidalı miller aracılığıyla step motorlar ile kontrol edilmektedir. Resim 4.3'te Core XY mantığı ile üretilmiş üç boyutlu yazıcı görülmektedir (Hacıoğlu ve Ark, 2016).



Resim 4.3. Core xy mantığı ile üretilmiş üç boyutlu yazıcı (Hacıoğlu ve Ark, 2016)

4.1.4. Metal baskı yapan üç boyutlu yazıcı

Metal baskı yapan üç boyutlu yazıcılar iki alt başlıkta toplanmaktadır. Bunlar;

- Metal baskı yapan robot tipi üç boyutlu yazıcılar
- Metal tozlarını püskürterek baskı yapan üç boyutlu metal yazıcılar

4.1.4.1. Metal baskı yapan robot tipi üç boyutlu yazıcılar

Hammaddesi metal olan üç boyutlu yazıcılar çok pahalı olmaları nedeniyle günümüzde büyük firmalar tarafından kullanılmaktadır. Metal baskıyı yaygınlaştırmak için kaynak robotlarına adapte edilen sistem adeta metal bir yüzey üzerine kaynak yapıyor gibi çalışmaktadır. Yazdırılan metal hızlı bir şekilde katılaşmakta olup ek bir sisteme gerek yoktur. Resim 4.4'te metal baskı yapan üç boyutlu yazıcı görülmektedir (Çelik, 2015).

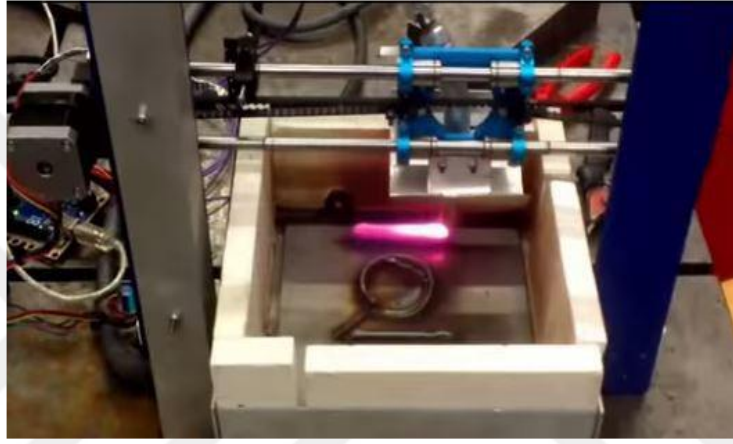


Resim 4.4. Metal baskı yapan robot tipi üç boyutlu yazıcı (Çelik, 2015)

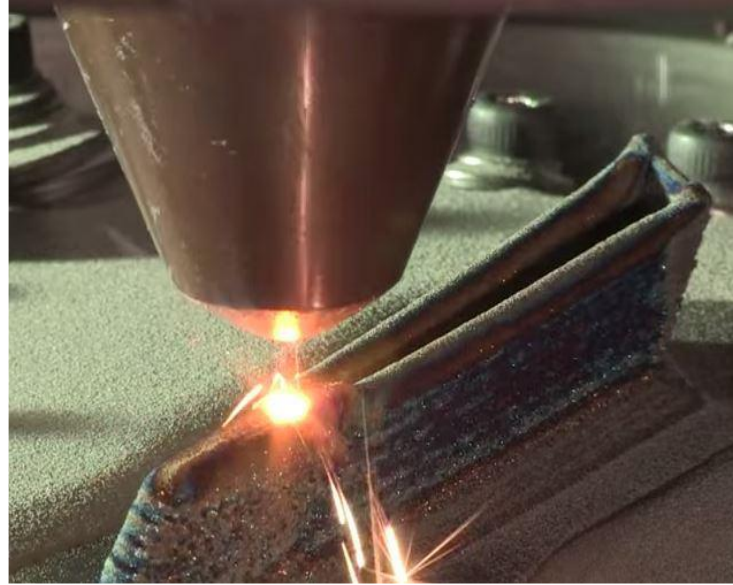
4.1.4.2. Metal tozlarını püskürterek baskı yapan üç boyutlu metal yazıcılar

Metal üç boyutlu yazıcıları diğer yazıcılardan ayıran en önemli özellik, imalat esnasında özel bir bağlayıcı kullanılmasıdır. Bu bağlayıcı imalat esnasında enjekte

edildiğinde toz parçacıklarını birbirine bağlar. Makine haznesi 3 ana bölümden oluşur, üç bölümden oluşan an hazneye toz konulur ve toz malzeme iyice sıkıştırılır. Bağlayıcı malzemenin toz malzeme üzerine işlenmesi sonucu birinci katman oluşur ve ikinci katmana geçiş oluşur. Modelin tamamlanması üretimi yapılacak bu modelin ebatlarına göre değişim arz eder. Baskı işlemi bittikten sonra modele yapıştırıcı malzeme ile dayanım kazandırılır. Resim 4.5 ve Resim 4.6 'da metal tozlarını püskürterek üretim yapan üç boyutlu yazıcılar görülmektedir (Çelik, 2015).



Resim 4.5. Metal tozlarını püskürterek baskı yapan üç boyutlu yazıcı (Çelik,2015)



Resim 4.2. Metal baskı yapan üç boyutlu yazıcı (Çelik, 2015).

4.2. Üç Boyutlu Yazıcılarda Kullanılan Malzemeler

Üç boyutlu yazıcılarda genelde PLA ve ABS türü malzemeler kullanılarak imalatlar yapılmaktadır.

4.2.1. PLA malzeme

Polilaktik asit olarak da bilinen PLA malzemesi üç boyutlu yazıcılarda yapılan modellemelerde en çok kullanılan malzeme olma özelliğini muhafaza etmektedir. Bu malzemenin çok tercih edilmesinin ana sebebi düşük sıcaklıklarda erimesi ve kolay çalışılabilir olmasıdır. PLA üretim esnasında çarpılma ihtimali, ABS malzemeye nazaran çok daha azdır ve imalatlarında ısıtıcı tabla kullanılmamaktadır. PLA malzemesi ABS malzemesine göre petrol türevi bir malzeme olmayıp, içinde nişasta (mısır, şeker kamışı vb.) içerdiğinden dolayı sağlık açısından daha üstündür. PLA medikal sektöründe ve implant ve protez tekniklerine çok kullanılmaktadır.

PLA malzemenin ABS malzemeye göre negatif yönü mukavemet açısından daha düşük değerlere sahip olmasıdır. Yük taşıyacak veya darbeli çalışacak parça imalatlarında PLA malzeme seçimi yapılmamalıdır. PLA malzemenin ısı altındaki dayanımı ABS malzemeye göre çok düşüktür, bu sebeple 60 °C'nin üzerinde uygulamalarda kullanılması olumsuz sonuçlar doğurabilir (Çelik, 2015).

4.2.2. ABS malzeme

Akrilonitril Butadin Stiren olarak adlandırılan ABS malzemesi sert termoplastik ürün olup, petrol türevi bir üründür. ABS aseton ile çözülebilir. Üretimi yapılan malzemeler 20 – 80 °C arası sıcaklıklar arasında kullanıma uygundur. ABS malzemesi uzun süre güneş ışınlarına maruz kalırsa zarar görebilir. Yüksek dayanım ve darbeli kullanıma uygun bir malzeme olduğu için sıkça tercih edilir.

ABS malzeme yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında zehirli bir gaz HCN gazı çıkarır, kullanımı esnasında iyi bir havalandırma gereklidir. PLA malzemesine göre daha

yüksek sıcaklık gerektiğinden dolayı zor kalibre edilir. Yüksek sıcaklıklarda yazdırılmasından dolayı büyük malzemelerin yazdırılmasında malzemelerde çarpılma riski daha fazladır, bu sebeple çarpılma olmaması için ısıtmalı tabla kullanılması gerekir (Çelik, 2015).

4.2.3. Üç boyutlu yazıcılarda kullanılan malzeme listeleri

Aşağıda Amerikan "Makergeeks" ve Çin "Esun3d" firmalarına ait filament malzeme listeleri (Tablo 4.1.) ve (Tablo 4.2.)'de verilmiştir (Çelik, 2015).

Tablo 4.1. Makergeeks Firmasına Ait 3B filament listesi (Çelik, 2015)

- Maker Filament Brand.	- Translucent Filament (Saydam Filament
- Filament Sampler Paks (Filament Numune Paks.)	- Pet 3D Filament
- PLA Filament 1.75 mm	- HIPS Filament
- PLA Filament 3.00	- Ceramic 3D Filament (Seramik 3B Filament)
- Ninjaflex PLA	- Stone 3D Filament (Taş Görünümlü 3B Filament)
- Easyfil PLA Filaments	- Parous 3D Filament (Gözenekli 3B Filament)
- High Temperature PLA(Yüksek Sıcaklık PLA)	- Dissolving Filament (Çözünen Filament)
- Polymakr 3D Filaments	- Polystyrene Filement (Polistiren Filement)
- Glow In The Dark (Karanlıkta Parlayan Malzeme)	- Real Wood 3D Filament (Gerçek Ahşap 3B Filament)
- Biodegradable PLA (Geri Dönüşümlü PLA)	- FDA Appoved Filament (FDA Onaylı Filament)
- Color Changing PLA (Renk Değiştiren PLA)	- Food Aptoved Filament (Yiyecek onaylı Filament)
- Carbon Fiber PLA (Karbon Fiber PLA)	- Flexible/Soft Filament (Esnek ve Yumuşak Filament)
- Conductive ABS (İletken ABS)	- Metal 3D Printing Filament (Metal 3B Baskı Filament)
- UV Sensitive ABS (UV Duyarlı ABS)	- High Dentsity/Radiation
-Polycarbonate ABS (Polikarbonat ABS	
- Odorless ABS Filament	
- Nylon 3D Filament (Naylaon 3B Filament)	
- Metalik 3B Filament	

Tablo 4.2. Esun3d Firması 3B filament malzeme listesi (Çelik, 2015)

- Color change (Renk Değiştiren)
- PETG
- PLA
- ABS
- HIPS
- PVA
- PC
- Luminous (Parlak)
- Nylon (Naylon)
- Conductive (İletken)
- Wood (Ahşap)
- Flexinle (Esnek)
- Cleaning
- PLA/PC Alloy (PLA/PC Alaşımı)
- PLA/ABS Alloy (PLA/ABS Alaşımı)
- PLA/POM Alloy (PLA/POM Alaşımı)
- PLA/HIPS Alloy (PLA/HIPS Alaşımı)

4.3. Üç Boyutlu Yazıcıların Avantajları

- Bilgisayar ortamında çizimi yapılmış her çeşitten ürünün modeli saatler hatta dakikalar içinde somut nesnelere dönüştürülüp incelenebilir hale gelir.
- Üç boyutlu yazıcılar sayesinde geleneksel yöntemlerle üretim yapılırken ihtiyaç duyulan makine, teçhizat ve işçilik ortadan kalkar. Ciddi emek gerektiren işleri (Frezeleme, tornalama, üretim sonrası talaş temizleme vb.) ortadan kaldırır.
- Karmaşık yüzey geometrisine sahip tasarımlar rahatlıkla gerçek cisimlere dönüştürülebilirler.
- kullanılan sarf malzemesi PLA filamentleri olup bunların temini kolay ve ucuzdur.
- kullanılan sarf malzemesi mısır nişastasından üretilmiş PLA adında bioplastiktir. Bu malzemenin sağlığa zararı yoktur. Ergitilirken çevreye zehirli gaz Çıkmaz, kokmaz dağa dostudur.
- Üç boyutlu yazıcılarla yapılan üç boyutlu baskılar işçiliği ortadan kaldırdığı için zamandan kazanç sağlar. Yapılan tasarımlar daha hızlı üretilip incelenir.
- Daha az maliyet üretimi yapılabilir. işçilik masrafını ortadan kaldırması, daha ucuz malzemelerin kullanılması, parça üretimin kolay olması maliyetleri düşürmektedir.

5. MATERYAL VE YÖNTEM

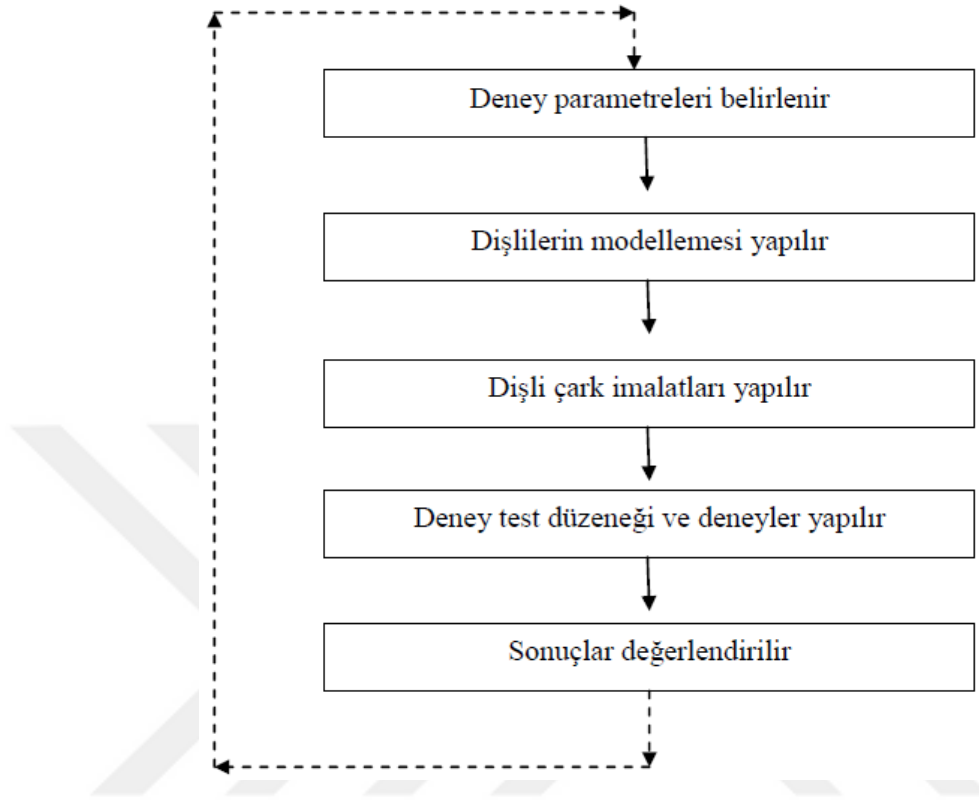
Literatür çalışmalarını incelediğimiz zaman plastik düz dişli çarklar çoğunlukla plastik enjeksiyon kalıplama ve toz metalurjisi yöntemiyle üretilmektedir. Bu yöntemlerin avantajları ise çok sayıda aynı dişli çarkın aynı anda aynı hassasiyette üretim imkanı sağlamaktadır. Ancak her farklı dişli çark üretimi için farklı kalıpların tasarlanmasına ve imal edilmesi gerekmektedir. Buda oldukça maliyeti artırmaktadır.

Üç boyutlu yazılarda bilinenin aksine iş parçasını talaş kaldırarak ve kalıplama yöntemi yerine (CAD) bilgisayar ortamında tasarlanmış nesneyi lazer sinterleme, üst üste katman halinde yığarak veya polimer sertleştirme gibi tekniklerle şekil vererek üretilir.

Bilgisayar ortamında düz dişli çark hesap formüllerine göre hesaplanarak tasarlanan düzlü diş çarklar Core XY tipi üç boyutlu yazıcıda ham maddesi 3D Filamenti PLA olan ve %100 doluluk oranı 0,01 mm hassasiyetinde düz dişli çarkların üretimi yapıldı. Deneyler başlamadan önce üretilen dişliler takip edilebilirlik açısından numaralandırıldı. Düz pinyon dişli çarkların dişlerinde meydana gelen aşınmanın gözlenmesi iki yolla olacaktır. Birinci yöntemde test öncesi, 5×10^4 ve 10×10^4 turun sonunda dişli çarklarda meydana gelen aşınma Hitit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında bulunan 10^{-4} gr. hassasiyetine sahip hassas terazi ile tartılacak ve sonuçlar grafikler halinde karşılaştırılacaktır. İkinci yöntemde test öncesi, 5×10^4 ve 10×10^4 turun sonunda pinyon dişli çarklarda meydana gelen yüzey pürüzlük değerleri, yüzey pürüzlük ölçüm cihazında ölçülmüştür ve sonuçlar grafikler halinde karşılaştırılmıştır.

Aşınma dayanım deneylerini için Dişli çarklar için FZG (Forschungsstelle für Zahnader und Getriebebau) sistemli kapalı devre güç aktarım cihazı imal edildi. Ve aşınma deneyleri bu cihazda gerçekleştirildi.

Deneyde izlenecek yol;



Şekil 5.1 Deneyde izlenecek adımlar

5.1. Deney Parametrelerinin Belirlenmesi

Literatür çalışmalarına bakıldığında, deneylerin genelde plastik enjeksiyon kalıplama ve toz metalurjisi yöntemi ile imal edilen plastik malzemelerle deneylerin yapıldığı dikkatimizi çekmiştir. Bu çalışmada, FDM teknolojisi kullanılarak Core XY tipi üç boyutlu yazıcıda PLA filamenti ile %100 doluluk oranı ile üretilen plastik dişliler kullanılmıştır.

Literatür çalışmalarında plastik enjeksiyon kalıplama yöntemi ile yapılan imalatlarda genel olarak plastik malzemeler için ham ve güçlendirilmiş halde 1 – 20 Nm arası tork , 500 – 1500 dev/dak arası devir kullanıldığı, hammaddelerin plastik dişli olması sebebiyle yağlama yapılmadığı kuru çalıştırıldığı tespit edilmiştir.

Literatür taramasında PLA hammaddesi için 3D yazıcı ile imal edilen plastik malzeme ile yapılan deneylere rastlanılmamış olup, deneme çalışmalar yapılarak yükler ve bu yüklerle dayanarak hesaplamalar sonucu torklar seçilmiştir.

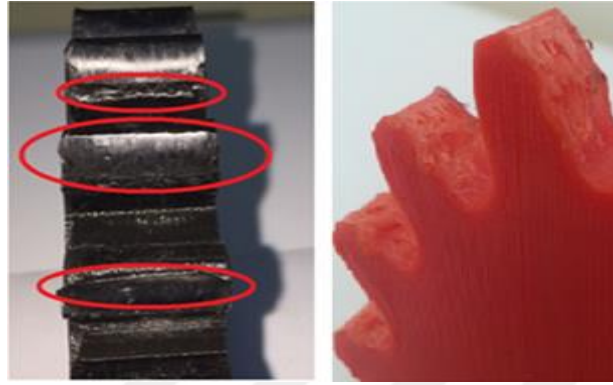
İmalatı yapılan deney cihazının kontrolünde azdırma makinasında poliyamidden üretilen pinyon ve çark dişli ile 900 dev/dk devir ile 10 dakika 9000 devir çalıştırılması sonucu dişlilerde lineer ve homejen bir aşınmanın meydana geldiği gözlemlendi ve böylece deney cihazının düzgün çalıştığını tespit edildi. Resim 5.1.'de Azdırma tezgahında üretilen poliyamid dişlinin deney sonucu aşınması gösterilmiştir.



Resim 5.1. Azdırma tezgahında üretilen poliyamid dişlinin deney sonucu aşınması

Resim 5.2.'de A görselinde 900 dev/dak devir, sisteme 6 Nm tork değerinde, 15 dakika süre ile yani 13500 turda yapılan deneme çalışmasında, dişlilerin diş profili yüzeylerinde aşırı ısınma ve aşınma meydana geldiği ve ısınmadan dolayı karşı diş profiline parça kaynaması şeklinde homojen olmayan bir aşınma gözlenmiş ve dişlilerde balan oluşumuna neden olmuştur.

Resim 5.2.'de B görselinde 900 dev/dak devir, 10 Nm tork değerinde, 20 dakika süre ile yani 18000 turda yapılan deneme çalışmasında, her dişte homojen bir aşınma oluşmuş fakat diş profillerinde yoğun aşınmalar meydana gelmiştir.

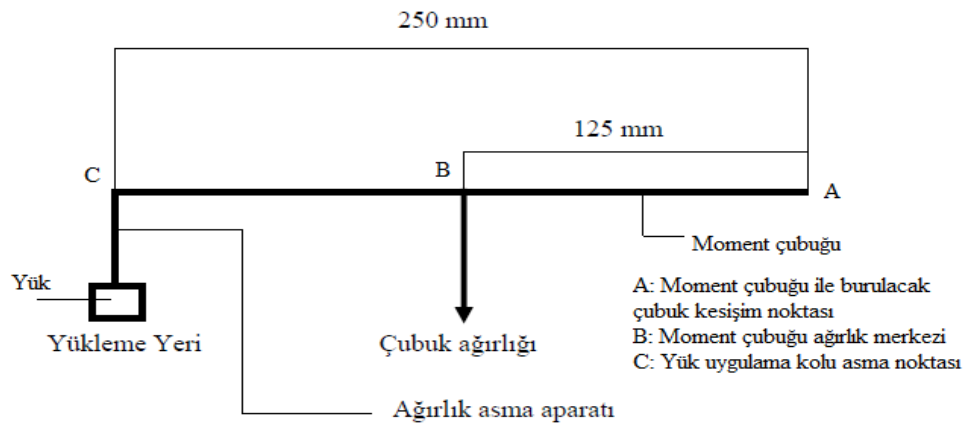


A

B

Resim 5.2. Test numunesi diş profili aşınması

Çalışmamda tork değerleri olarak yukarıda anlatılan pilot çalışmalar neticesinde 0,5, 1 ve 1,5 Nm, devir olarak 300, 600 ve 900 dev/dak olmak üzere 3 farklı yük ve 3 farklı devir seçilmiştir. Deney dişli çarkları belirlenen torklarda ve devirlerde toplamda $5 \times 10^4 - 10 \times 10^4$ tur çevrilmiştir. Dişlilere profil kaydırma uygulanmamış, eksenler arası mesafe 117 mm olacak şekilde dişli normal modülü 5,7956 mm, alın modülü ise 6 mm olacak şekilde dizayn yapılmıştır. Yük kolu mil çapı 16 mm, kol boyu ise 250 mm olup çubuk ağırlığı 390 gr'dır. Buna göre tork yükleme kolu ve aparatı Şekil 5.2'de gösterilmiş ve tork hesaplamaları buna göre yapılmıştır.



Şekil 5.2. Tork yükleme kolu ve aparatı

5.2. Dişlilerin Modellenmesi

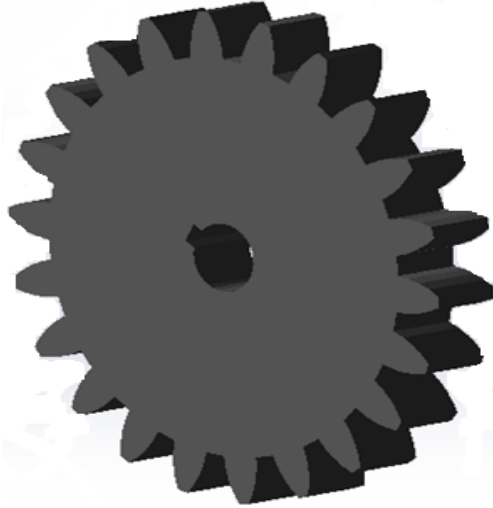
Dişli çarkların malzeme seçimi, diş sayısı, göbek delik çapları, et kalınlıkları, kama yuvası ölçüleri ve kavrama açıları bu aşamada hesaplanmış ve Tablo 5.1’de verilmiştir. Pinyon düz dişli malzemesi 195-220 °C de eriyen, 1,75mm çapında gri PLA(polikaktik asit) filamentini seçilmiştir. PLA ve ABS malzemelerine ait ısıl ve mekanik özellikler EK-1’de verilmiştir. Dişli çark malzemesi ise St37-2 kalitesinde çelik olarak seçilmiş spektral analiz sonuçları EK-2’de verilmiştir. Hesaplamalar düz dişli çark hesaplarına göre yapılmıştır. Pinyon dişli diş sayısı 17, çark dişli diş sayısı 22, dişlilerin et kalınlığı 10mm dişli göbek çapları 20,65 mm, kama ölçüleri 6,5x6 mm ve modül-6 seçilmiştir. Resim 5.3 ve Resim5.4’de solidworks programında modellenen dişli çark resimleri Resim 5.5’de ise bitmiş ürün resmi verilmiştir.

Tablo 5.1. Testlerde kullanılan pinyon ve çark dişli boyutlandırma tablosu

Diş formu no	Sembol	Birim	Değer
Diş Sayısı	Z_1	-	17
	Z_2	-	22
Normal modül	m_n	mm	6
Alın modülü	m_s	mm	6
Helis açısı	β	°	0
Kavrama açısı	α	°	20
Diş genişliği	b	mm	10
Profil kaydırma faktörü	X_1	-	0
	X_2	-	0
Hatve	t	mm	18,84956
iletim oranı	i	-	1,29412
Eksenler arası mesafe	a	mm	117
Temel dairesel çapı	d_{g1}	mm	102
	d_{g2}	mm	132
Diş başı dairesi çapı	d_{a1}	mm	114
	d_{a2}	mm	144
Diş dibi dairesi çapı	d_{f1}	mm	87
	d_{f2}	mm	117
Diş başı yüksekliği	h_k	mm	6
Diş dibi yüksekliği	h_f	mm	7,5
Toplam diş yüksekliği	h	mm	13,5



Resim 5.3. Solidworks çizim programında modellenmiş $z=17$, $m=6$ pinyon dişli



Resim 5.4. Solidworks çizim programında modellenmiş $z=22$, $m=6$ çark dişli



Resim 5.5. Dişlilere ait bitmiş ürün resimleri

5.3. Dişli Çarkların İmalatının Yapılması

Hitit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Laboratuvarında bulunan FDM (Fused Deposition Modeling) eriyik yığıma teknolojisi kullanılarak Core XY tipi, Multibox Exclusive marka 3 boyutlu yazıcı ile dişlilerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Üç boyutlu yazıcı Resim 5.6.'da gösterilmiştir.



Resim 5.6. Dişlilerin üretiminde kullanılan üç boyutlu yazıcı

Üç boyutlu yazıcıda üretilen pinyon ve çark dişliler Tablo 5.1'de gösterilen parametreler kullanılmıştır. Üç boyutlu yazıcıdan bitmiş ürün Resim 5.7'de gösterilmiştir.



Resim 5.7. Üç boyutlu yazıcıda üretilen pinyon dişli

Tablo 5.2. Pinyon dişli malzemelerin üç boyutlu yazıcıda üretim parametreleri

PİNYON DİŞLİ	
Layer Height (Katman kalınlığı)	0.2mm
Initial Layer Height (Yapışma Yüzeyi Katman Kalınlığı)	0.3mm
Line Width (Dolgu Genişliği)	0.4mm
Wall Thicknes (Etrafına Çerçeve oluşturma)	2mm
İnfil Density (Doluluk Oranı)	100%
Printing Temperature (Flament Eritme Sıcaklığı)	210 °C
Build Plate Temperature (tabla sıcaklığı)	60 °C
Material Diameter (Filament Kalınlığı)	Ø 1.75mm
Printing Speed (Yazma Hızı)	60 mm/s
Pinyon Dişli üretim Süresi	8 saat 32 dakika
Kullanılan Filament Mikarı	32,23mt , 96 gram

5.4. Deney Test Düzenegi

İmalatı yapılan deney düzeneginde 0,75 kw 905 D/dak motor dan alınan hareket yıldız kaplin bağlantı elemanı sayesinde pinyon dişliye hareket verilir. Pinyon dişli paralel iki mil sayesinde hem çark dişliye hem de test pinyon dişliye hareket aktarır. Sistem kapalı devre olduğundan test pinyon dişlide motordan aldığı gücü test çark dişliye aktarır. Dişli kutusunda dişliler gres yağı ile yağlanmıştır. Motor tarafında bulunan dişli çark ile test dişli çark arasında 4 adet M10 cıvatalı ayarlı tork kaplini, 250mm boyunda moment kolu ve sabitleme kolu mevcuttur. Moment kolu sayesinde istenilen ağırlık moment kolunun uç kısmına asılarak sisteme burulma momenti uygulanır tork kaplini sıkılır ve böylelikle sisteme istenilen yük yüklenmiş olur. Sistemi istenilen devir ayarı için kontrol panosunda 0,75 kw sürücü bulunmaktadır. Deneylerde kullanılacak devirler Würth Non - Contact Tackometer 8000 marka temassız devir ölçme cihazı ile kontrol edilmiştir. Resim 5.8.'de deney düzeneginin yandan görünümü ve Resim 5.9.'da deney düzeneginin üstten görünümü gösterilmiştir.



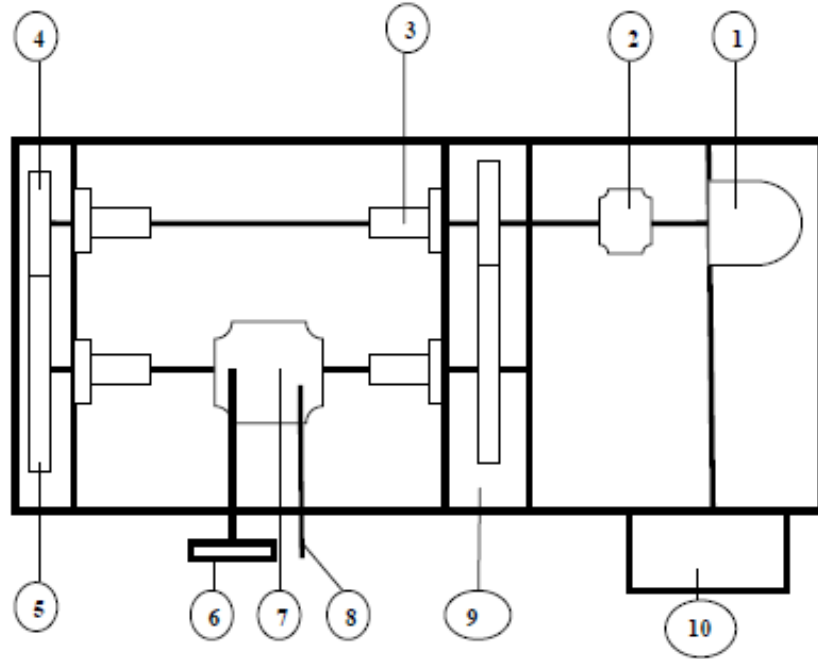
Resim 5.8. Deney düzeneğinin yandan görünüşü



Resim 5.9. Deney düzeneğinin üstten görünüşü



Resim 5.10. Deney cihazına bağlanmış dişli çarklar



Şekil 5.3. Deney düzeneği şematik gösterimi

1. Motor, 2. Güç Aktarma Kaplini, 3.Sabit Rulmanlı Yataklar, 4. Test Pinyon Dişlisi, 5. Test Dişli Çark, 6. Ağırlık Asma Tork Kolu Ve Aparatı, 7. Tork Kaplini, 8. Tork Kaplini Sabitleme Kolu, 9. Dişli Kutusu, 10. Kontrol Panosu

5.4.1. Würth devir ölçme cihazı ve özellikleri

Deney öncesinden belirlenen devirler Würth Non - Contact Tackometer 8000 marka temassız devir ölçme cihazı ile kontroller yapılmış ve Resim 5.11’de şekil olarak gösterilmiştir. Cihaza ait teknik özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

- Kırmızı LED ışıkla temassız olarak ölçüm yapar.
- Belli bir süre (20 dakika) hareketsiz kalması durumunda otomatik kapanır.
- Dört ayrı birimde (rpm, m/min, ft/min, ve yd/min) ölçüm yapar.
- Ölçüm aralığı 10,0 - 99,999 rpm arasındır.



Resim 5.11. Würth marka devir ölçme cihazı

5.4.2. Deney düzeneğine yük uygulama

Deney düzeneğine yük uygulama aşağıda sırası ile açıklanmıştır;

- Sistemde çark dişliler arasında tork kaplini bulunur. Bu Kaplinde bulunan 4 adet M10 cıvata gevşetilir.
- Gevşetilen tork kaplinin motor tarafındaki kısmına sisteme yükleme yapılabilmesi için moment mili yere tam paralel pozisyonda olacak şekilde ana şaseye vidalı kol ile sabitlenir.
- Tork kaplinin test çark dişli tarafında ki kısmına klavuzlu yere paralel moment kolu takılır. Takılan moment koluna ağırlık asma aparatı ve ağırlık asılır.
- Ağırlık moment kolunda asılı iken sisteme burulma moment uygulanmış olur ve sistem yüklü durumdayken tork kaplininde ki cıvatalar sıkılır.
- Ağırlık moment kolu ve aparatı ile sistem sabitleme kolu tork kaplini üzerinden alınır ve böylece moment uygulanmış sistem deneye hazır olur.

5.5. Düz Dişli Çarklarda Hasarların Tespiti

- Deney cihazına bağlanacak dişliler takip edilebilirlik açısından her bir dişliye numara verilir.
- Pinyon dişlilerinin deney öncesi ve her deney sonunda 10^{-4} gr hassasiyetinde elektronik terazide ağırlık ölçümleri yapılır ve kaydedilir.
- Pinyon dişlilerin deney öncesi ve her deney sonunda yüzey pürüzlük ölçümleri yapılır ve kaydedilir.
- Pinyon dişlilerin ağırlık ve yüzey pürüzlük deney ölçüm sonuçları grafikler halinde verilip karşılaştırılacaktır.
- Dişli çarklara uygulanacak yük, devir ve dönme turları Tablo 5.3’de verilmiştir.

Tablo 5.3. Dişli çark yükleme ve ölçüm periyodu tablosu

Deney No	Periyot [Tur]	Moment [Nm]	Devir [d/d]	Dönme Tekrarı [tur]	Pinyon Dişli ağırlık ve yüzey pürüzlülük ölçüm periyodu
1	5 – 10	0,5	300	10^4	Yükleme öncesi, 5. ve 10. turlarda
2	5 – 10	0,5	600	10^4	Yükleme öncesi, 5. ve 10. turlarda
3	5 – 10	0,5	900	10^4	Yükleme öncesi, 5. ve 10. turlarda
4	5 – 10	1	300	10^4	Yükleme öncesi, 5. ve 10. turlarda
5	5 – 10	1	600	10^4	Yükleme öncesi, 5. ve 10. turlarda
6	5 – 10	1	900	10^4	Yükleme öncesi, 5. ve 10. turlarda
7	5 – 10	1,5	300	10^4	Yükleme öncesi, 5. ve 10. turlarda
8	5 – 10	1,5	600	10^4	Yükleme öncesi, 5. ve 10. turlarda
9	5 – 10	1,5	900	10^4	Yükleme öncesi, 5. ve 10. turlarda

5.5.1. Elektronik tartı cihazı ve ölçümü

Plastik düz dişli çarkların diş profil hasarları deneylerinde, pinyon dişlisinin Radwag Wagi marka 1×10^{-4} gr hassasiyetli elektronik tartı cihazı ile her seçilen devirde test başlangıcı, 5×10^4 üncü turda ve 10×10^4 üncü turların bitiminde deney cihazından sökülüp hava ile aşınma kalıntıları temizlenip tartılarak pinyon dişlide meydana gelen aşınma miktarları belirlenmiştir. Pinyon dişli, çark dişlisine göre daha fazla dönme yaptığından aşınmanın daha fazla olmasından dolayı aşınma miktarları için pinyon dişli seçilmiştir. Dişlilerin tartımında kullanılan elektronik tartım cihazı Resim 5.12’de gösterilmiştir.

5.5.1.1. Dişlilerin tartımında kullanılan terazinin teknik özellikleri

- Markası: RADWAG Wagi Elektroniczne
- Modeli: AS220.R2
- Maksimum Ölçme Miktarı: 220 gr
- Minimum Ağırlık ölçme miktarı: 10 mg
- $d=0,1 \text{ mg} / e = 1 \text{ mg} / T = - 220 \text{ gr}$
- Hassasiyeti = 0,0001 gr



Resim 5.12. Pinyon dişlinin tartımında kullanılan elektronik tartım cihazı

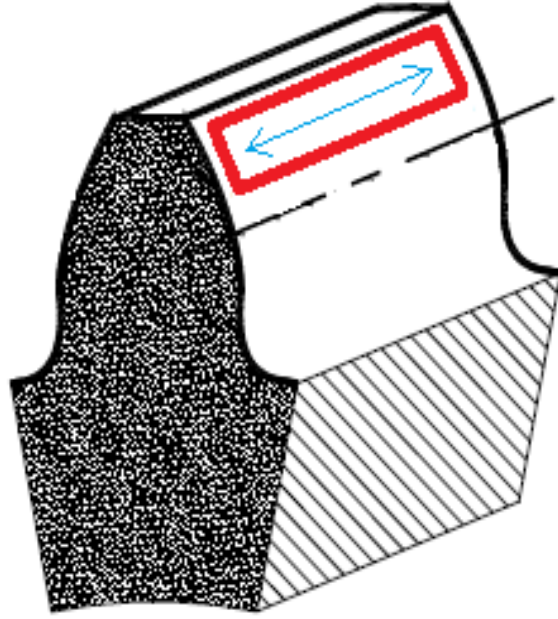
5.5.2. Yüzey pürüzlük ölçümü ve cihazı

Yüzey pürüzlük ölçümleri için düz pinyon dişli çarkın dişli profilindeki aşınmayı ölçmek için Mahr marka , MarSurf PS1 model yüzey pürüzlük ölçümleri yapılmıştır. Ölçümleri yaparken ilk test başlamadan önce daha sonra seçilen devir ve uygulanan yüklerden sonra 5×10^4 'inci tur sonunda ve 10×10^4 'inci tur sonunda ölçümler yapılacaktır. Pinyon dişli, çark dişliden daha fazla dönüş yaptığından aşınma fazla olacağından Ölçümler de pinyon dişli kullanılacaktır. Resim 5.13'de Pinyon dişli yüzey ölçümü gösterilmiştir. Yüzey pürüzlüğünde kullanılan parametreler;

L_t (Tarama boyu)	: 5,6mm
L_s (Kesme boyu)	: 2,5 μm
V_B (ölçme kursu)	: 350 μm
V_t (ölçme hızı)	: 0,5 mm/s



Resim 5.13. Pinyon dişli profil yüzey ölçümü



Şekil 5.4. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazında ölçüm yapılan bölge

5.5.2.1. Yüzey pürüzlülük ölçme cihazı teknik özellikleri

- Markası / Modeli: Mahr / MarSurf PS1
- Birim: mm / inch çevrimli
- Pikap: 2 μm uç radiuslu ölçüm ucu, 0.7 mN baskı kuvveti, 350 μm ölçme kursu
- Parametreler: R_a , R_p , R_z (R_y), R_{max} , R_{pm} , R_{pk} , R_k , R_{vk} , Mr_1 , Mr_2 , A_1 , A_2 , V_o , R_t , R_{3z} , R_{Pc} , R_{mr} , R_{Sm} , R , A_r , R_x
- Çözünürlük: 32 nm profil çözünürlüğü
- Filtre: DIN EN ISO 11562 (Gauss); DINEN ISO 13565; DIN EN ISO 3274
- Kesme Boyu: 0,25 - 0,8 - 2,5 mm (Otomatik seçim)
- Tarama Boyu: 1,75 - 5,6 - 17,5 mm (ISO), 1 - 2 - 4 - 8 - 16 mm (CNOMO)
- Kalibrasyon: Dinamik kalibrasyon
- Bellek: 15 profil; 20.000 ölçüm sonucu
- Boyutlar: 140 * 50 * 70 mm; 400 gram

6. TEORİK VE DENEYSEL SONUÇLAR

6.1. Elektronik Tartı ile Dişli Çiftindeki Aşınmanın Gözlenmesi

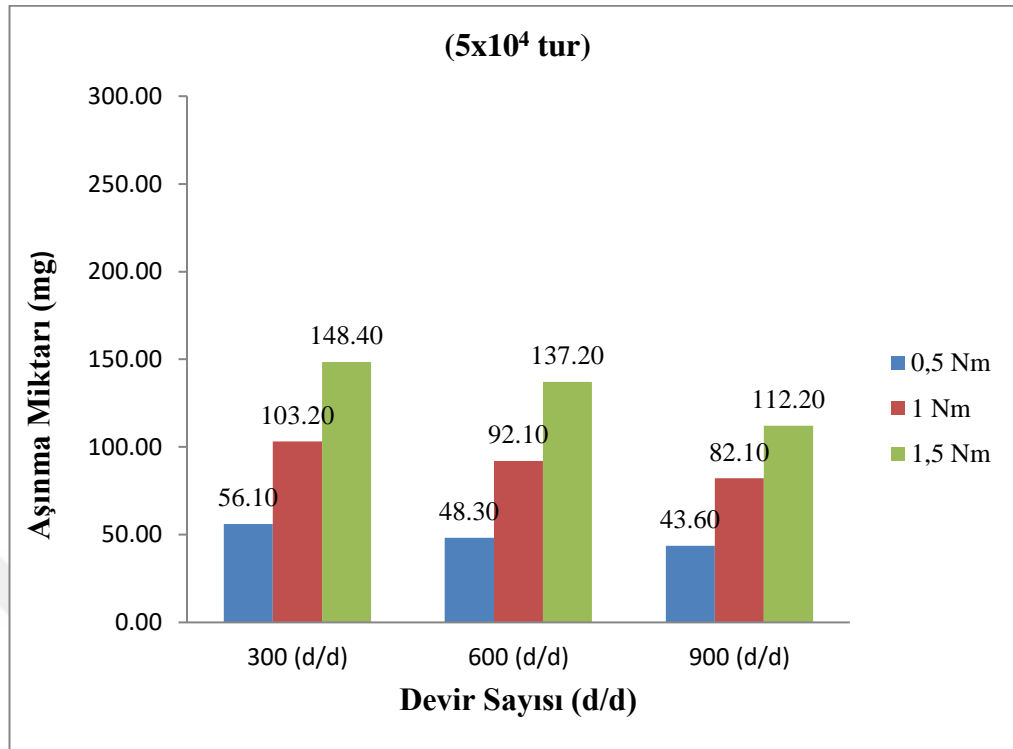
Bölüm 5.5’de anlatıldığı gibi dişliler tartımlarda kullanılacak pinyon dişli deney öncesi, 5×10^4 tur sonunda ve 10×10^4 tur sonunda pinyon dişli deney cihazından çıkarılmış hava ile temizlenip bölüm 5.5.1’de anlatılan elektronik tartım cihazı ile tartılım farklı yük ve devirlerde çıkan plastik düz pinyon dişli aşınma test ölçüm sonuçları Tablo 6.1’de verilmiştir. Tablo da çıkan deneysel sonuçlar neticesinde Şekil 6.1’den Şekil 6.8’e kadar grafikler halinde verilmiştir. Deneylerde kullanılan test dişlilerin çevrim oranı 1,29 olduğundan çark dişlinin motor hızları pinyon dişlinin motor hızının $1/1.29$ ’u kadardır. Deneysel sonuçlar verilirken kullanılan motor hızı pinyon dişliye uygulanan motor hızı alınmaktadır ve deneyler pinyon dişliye göre yapılmıştır.

Plastik düz pinyon dişli FDM yöntemiyle 3 boyutlu yazıcıda Plastik flamentin bir nozulda belli bir sıcaklık aralığında eritilerek birbiri üzerine yığma yöntemiyle 3D baskı sonucunda imal edilmiştir. 3D baskı sonrası herhangi bir ek işleme tabi tutulmamıştır.

3D baskı sonra imal edilen düz pinyon dişlinin çalıştığı çark dişli ise St37-2 çelik malzemeden azdırma tezgahında imal edilen çelik dişli çark ile FZG test düzeneğine yüklenerek çıkarılmıştır.

Tablo 6.1. Plastik düz pinyon dişli aşınma test ölçüm sonuçları

Yük [N.m]	Devir [d/d]	Ağırlık [gr] [Test Öncesi]	Ağırlık [gr] [5×10^4 tur]	Ağırlık [gr] [10×10^4 tur]
0.5	300	96,0000	95,9439	95,8856
1		96,0000	95,8968	95,8029
1.5		96,0000	95,8516	95,7457
0.5	600	96,0000	95,9517	95,9045
1		96,0000	95,9079	95,8283
1.5		96,0000	95,8628	95,7502
0.5	900	96,0000	95,9564	95,9114
1		96,0000	95,9179	95,8401
1.5		96,0000	95,8878	95,7767



Şekil 6.1. Devir ve moment değerlerine göre 5×10^4 dönme tekrarına göre aşınma miktarı grafiği

Şekil 6.1’de 0.5 Nm moment uygulanan pinyon dişli 5×10^4 tur tekrarı sonunda, pinyon dişliye uygulanan devir 300 d/dak’dan 600 d/dak’ya %100 artırıldığında meydana gelen aşınma miktarı 56,10 mg’dan 48,30 mg’a %13,9 oranında daha az aşınma gözlemlenmiştir.

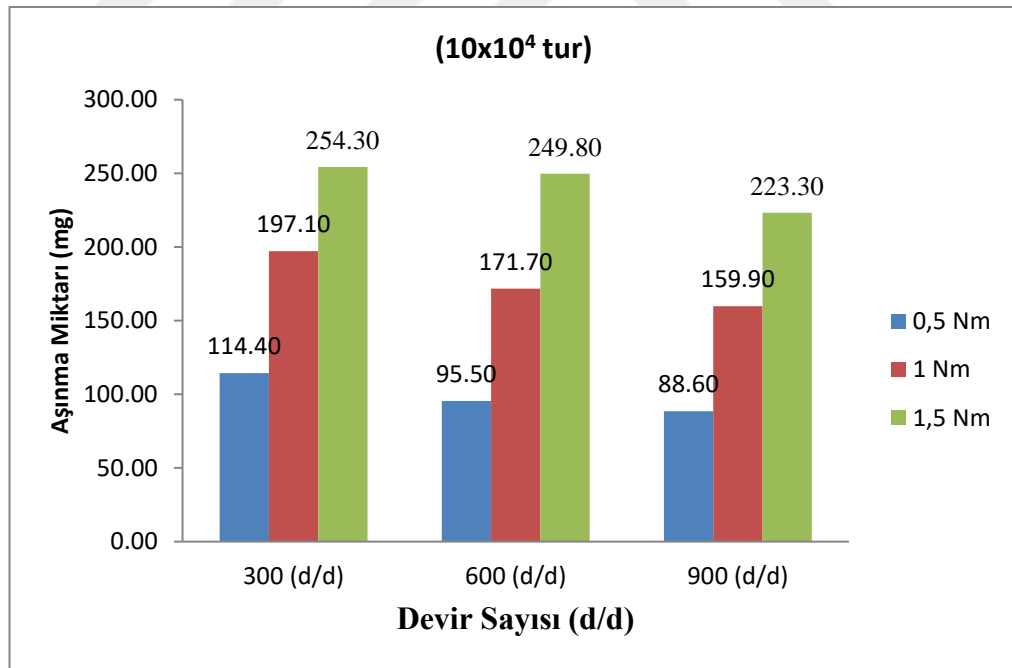
0,5 Nm moment uygulanan pinyon dişli 5×10^4 tur tekrarı sonunda, pinyon dişliye uygulanan devir 600 d/dak’dan 900 d/dak’ya %50 artırıldığında meydana gelen aşınma miktarı 48,30 mg’dan 43,60 mg’a % 9,73 oranında daha az aşınma gözlemlenmiştir.

1 Nm moment uygulanan pinyon dişli 5×10^4 tur tekrarı sonunda, pinyon dişliye uygulanan devir 300 d/dak’dan 600 d/dak’ya %100 artırıldığında meydana gelen aşınma miktarı 103,20 mg’dan 92,10 mg’a %10,7 oranında daha az aşınma gözlemlenmiştir.

1 Nm moment uygulanan pinyon dişli 5×10^4 tur tekrarı sonunda, pinyon dişliye uygulanan devir 600 d/dak'dan 900 d/dak'ya %50 artırıldığında meydana gelen aşınma miktarı 92,10 mg'dan 82,10 mg'a %10,8 oranında daha az aşınma gözlemlenmiştir.

1,5 Nm moment uygulanan pinyon dişli 5×10^4 tur tekrarı sonunda, pinyon dişliye uygulanan devir 300 d/dak'dan 600 d/dak'ya %100 artırıldığında meydana gelen aşınma miktarı 148,40 mg'dan 137,20 mg'a %7,5 oranında daha az aşınma gözlemlenmiştir.

1,5 Nm moment uygulanan pinyon dişli 5×10^4 tur tekrarı sonunda, pinyon dişliye uygulanan devir 600 d/dak'dan 900 d/dak'ya %50 artırıldığında meydana gelen aşınma miktarı 137,20 mg'dan 112,20 mg'a %18,2 oranında daha az aşınma gözlemlenmiştir.



Şekil 6.2. Devir ve moment değerlerine göre 10×10^4 dönme tekrarına göre aşınma miktarı grafiği

Şekil 6.2'de 0.5 Nm moment uygulanan pinyon dişli 10×10^4 tur tekrarı sonunda, pinyon dişliye uygulanan devir 300 d/dak'dan 600 d/dak'ya %100 artırıldığında meydana gelen aşınma miktarı 114,40 mg'dan 95,50 mg'a %16,52 oranında daha az aşınma gözlemlenmiştir.

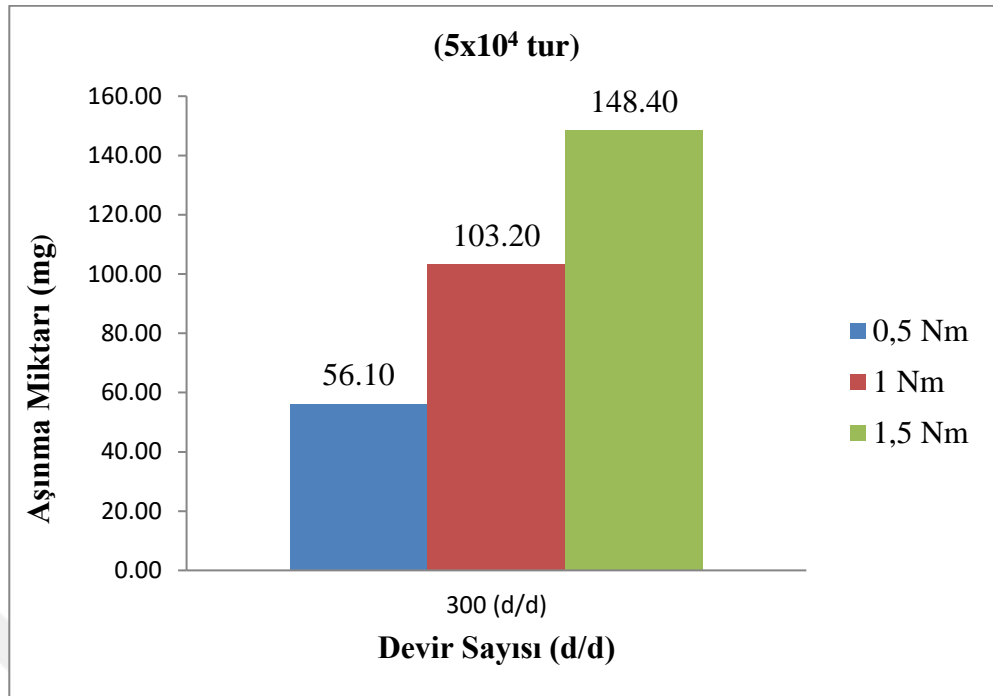
0,5 Nm moment uygulanan pinyon dişli 10×10^4 tur tekrarı sonunda, pinyon dişliye uygulanan devir 600 d/dak'dan 900 d/dak'ya %50 artırıldığında meydana gelen aşınma miktarı 95,50 mg'dan 88,60 mg'a % 7,22 oranında daha az aşınma gözlemlenmiştir.

1 Nm moment uygulanan pinyon dişli 10×10^4 tur tekrarı sonunda, pinyon dişliye uygulanan devir 300 d/dak'dan 600 d/dak'ya %100 artırıldığında meydana gelen aşınma miktarı 197,10 mg'dan 171,70 mg'a %12,88 oranında daha az aşınma gözlemlenmiştir.

1 Nm moment uygulanan pinyon dişli 10×10^4 tur tekrarı sonunda, pinyon dişliye uygulanan devir 600 d/dak'dan 900 d/dak'ya %50 artırıldığında meydana gelen aşınma miktarı 171,70 mg'dan 159,90 mg'a %6,87 oranında daha az aşınma gözlemlenmiştir.

1,5 Nm moment uygulanan pinyon dişli 10×10^4 tur tekrarı sonunda, pinyon dişliye uygulanan devir 300 d/dak'dan 600 d/dak'ya %100 artırıldığında meydana gelen aşınma miktarı 254,30 mg'dan 249,80 mg'a %1,77 oranında daha az aşınma gözlemlenmiştir.

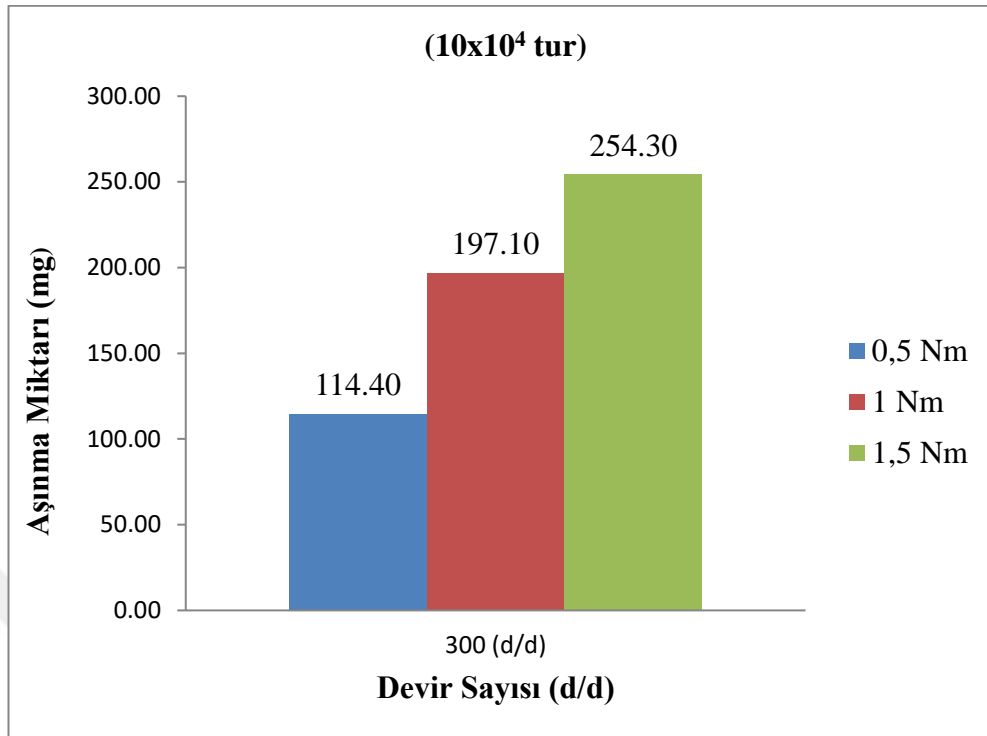
1,5 Nm moment uygulanan pinyon dişli 10×10^4 tur tekrarı sonunda, pinyon dişliye uygulanan devir 600 d/dak'dan 900 d/dak'ya %50 artırıldığında meydana gelen aşınma miktarı 249,80 mg'dan 223,30 mg'a %10,6 oranında daha az aşınma gözlemlenmiştir.



Şekil 6.3. Motor hızı 300 d/dak, farklı momentlerde 5×10^4 dönme tekrarına göre aşınma miktarı grafiği

Şekil 6.3'de pinyon dişli 300 d/dak çalıştırıldığında 5×10^4 tur tekrarı sonunda, pinyon dişliye uygulanan moment 0,5 Nm'den 1 Nm'ye %100 artırıldığında meydana gelen aşınma miktarı 56,10 mg'dan 103,20 mg'a %83,95 oranında daha fazla aşınma meydana gelmiştir.

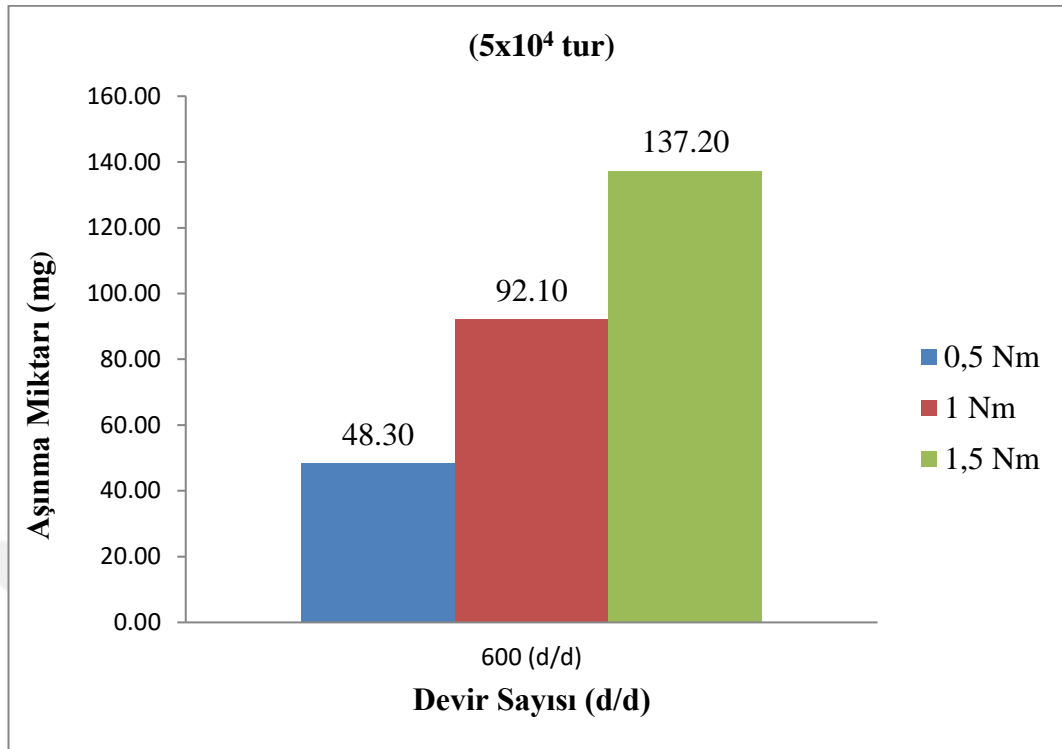
Pinyon dişli 300 d/dak çalıştırıldığında 5×10^4 tur tekrarı sonunda, pinyon dişliye uygulanan moment 1 Nm'den 1,5 Nm'ye %50 artırıldığında meydana gelen aşınma miktarı 103,20 mg'dan 148,40 mg'a %43,80 oranında daha fazla aşınma meydana gelmiştir.



Şekil 6.4. Motor hızı 300 d/dak, farklı momentlerde 10×10^4 dönme tekrarına göre aşınma miktarı grafiği

Şekil 6.4’de pinyon dişli 300 d/dak çalıştırıldığında 10×10^4 tur tekrarı sonunda, pinyon dişliye uygulanan moment 0,5 Nm’den 1 Nm’ye %100 artırıldığında meydana gelen aşınma miktarı 114,40 mg’dan 197,10 mg’a %72,29 oranında daha fazla aşınma meydana gelmiştir.

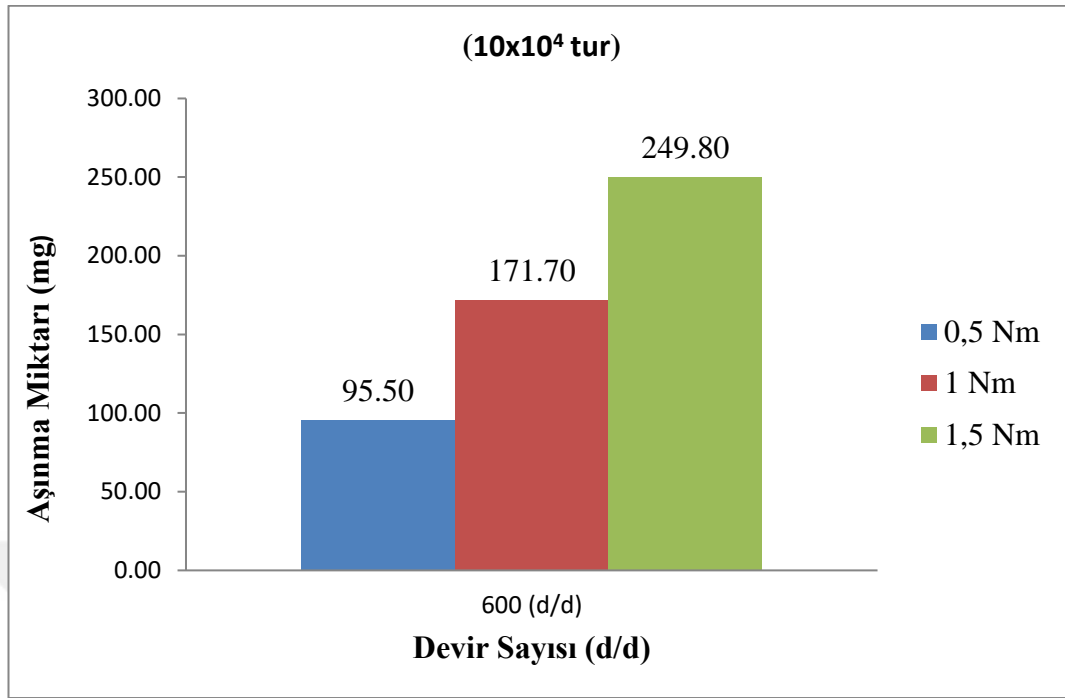
Pinyon dişli 300 d/dak çalıştırıldığında 10×10^4 tur tekrarı sonunda, pinyon dişliye uygulanan moment 1 Nm’den 1,5 Nm’ye %50 artırıldığında meydana gelen aşınma miktarı 197,10 mg’dan 254,30 mg’a %29,02 oranında daha fazla aşınma meydana gelmiştir.



Şekil 6.5. Motor hızı 600 d/dak, farklı momentlerde 5×10^4 dönme tekrarına göre aşınma miktarı grafiği

Şekil 6.5’de Pinyon dişli 600 d/dak çalıştırıldığında 5×10^4 tur tekrarı sonunda, pinyon dişliye uygulanan moment 0,5 Nm’den 1 Nm’ye %100 artırıldığında meydana gelen aşınma miktarı 48,30 mg’dan 92,10 mg’a %90,69 oranında daha fazla aşınma meydana gelmiştir.

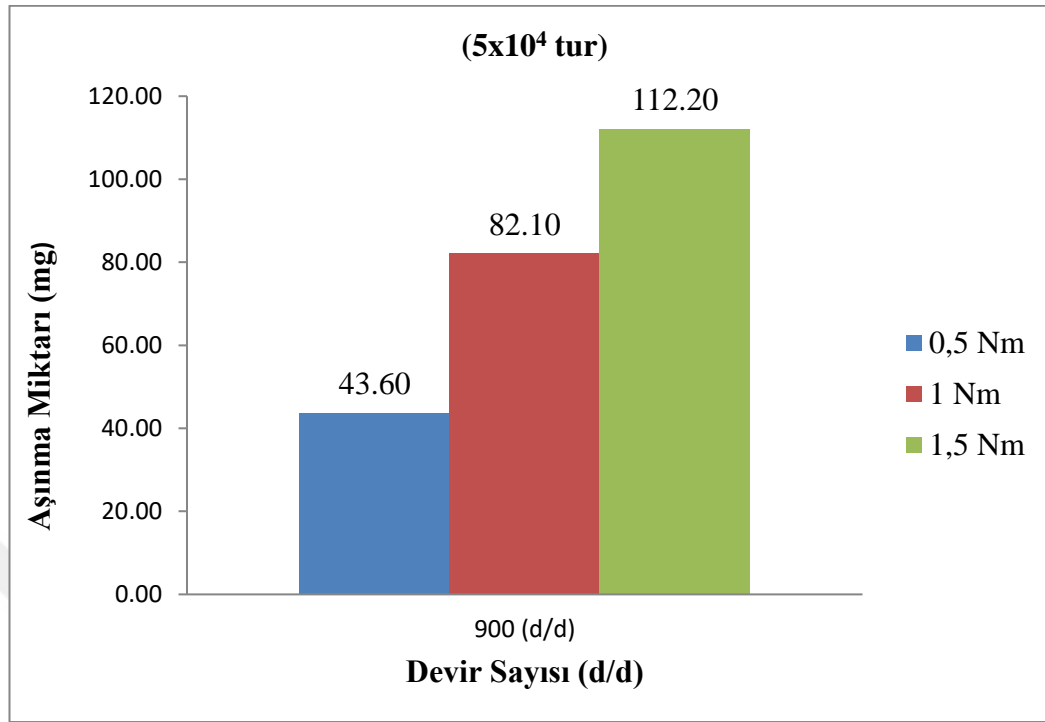
Pinyon dişli 600 d/dak çalıştırıldığında 5×10^4 tur tekrarı sonunda, pinyon dişliye uygulanan moment 1 Nm’den 1,5 Nm’ye %50 artırıldığında meydana gelen aşınma miktarı 92,10 mg’dan 137,20 mg’a %48,97 oranında daha fazla aşınma meydana gelmiştir.



Şekil 6.6. Motor hızı 600 d/dak, farklı momentlerde 10×10^4 dönme tekrarına göre aşınma miktarı

Şekil 6.6'da pinyon dişli 600 d/dak çalıştırıldığında 10×10^4 tur tekrarı sonunda, pinyon dişliye uygulanan moment 0,5 Nm'den 1 Nm'ye %100 artırıldığında meydana gelen aşınma miktarı 95,50 mg'dan 171,70 mg'a %79,79 oranında daha fazla aşınma meydana gelmiştir.

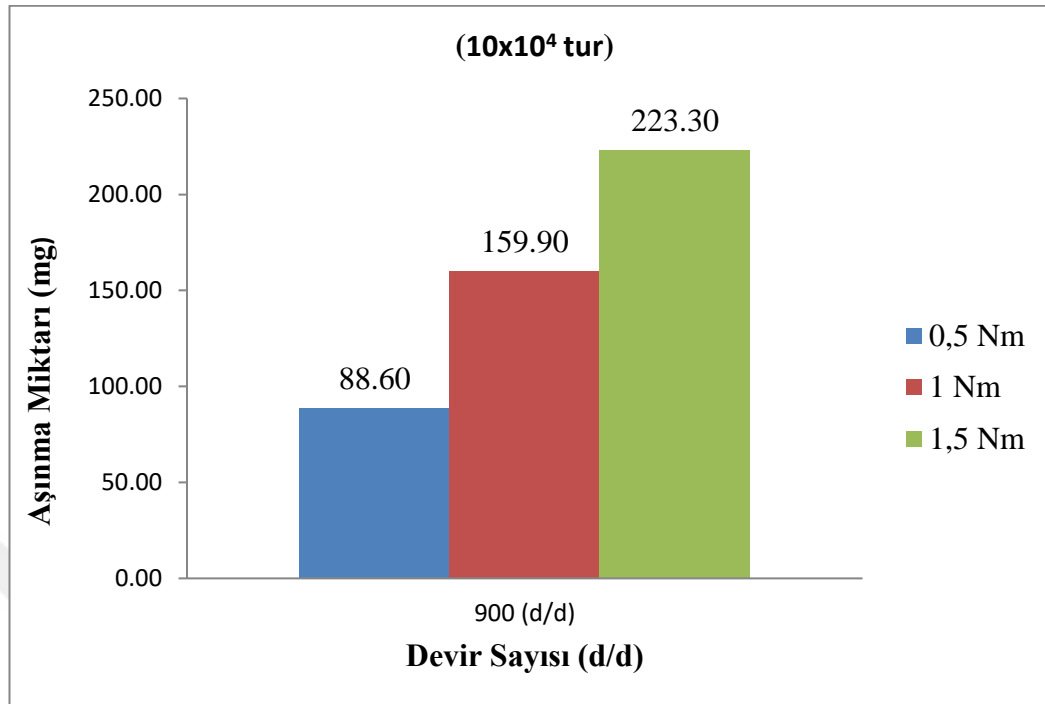
Pinyon dişli 600 d/dak çalıştırıldığında 10×10^4 tur tekrarı sonunda, pinyon dişliye uygulanan moment 1 Nm'den 1,5 Nm'ye %50 artırıldığında meydana gelen aşınma miktarı 171,70 mg'dan 249,80 mg'a %45,48 oranında daha fazla aşınma meydana gelmiştir.



Şekil 6.7. Motor hızı 900 d/dak, farklı momentlerde 5×10^4 dönme tekrarına göre aşınma miktarı grafiği

Şekil 6.7’de pinyon dişli 900 d/dak çalıştırıldığında 5×10^4 tur tekrarı sonunda, pinyon dişliye uygulanan moment 0,5 Nm’den 1 Nm’ye %100 artırıldığında meydana gelen aşınma miktarı 43,60 mg’dan 82,10 mg’a %88,30 oranında daha fazla aşınma meydana gelmiştir.

Pinyon dişli 900 d/dak çalıştırıldığında 5×10^4 tur tekrarı sonunda, pinyon dişliye uygulanan moment 1 Nm’den 1,5 Nm’ye %50 artırıldığında meydana gelen aşınma miktarı 82,10 mg’dan 112,20 mg’a %36,66 oranında daha fazla aşınma meydana gelmiştir.



Şekil 6.8. Motor hızı 900 d/dak, farklı momentlerde 10×10^4 dönme tekrarına göre aşınma miktarı grafiği

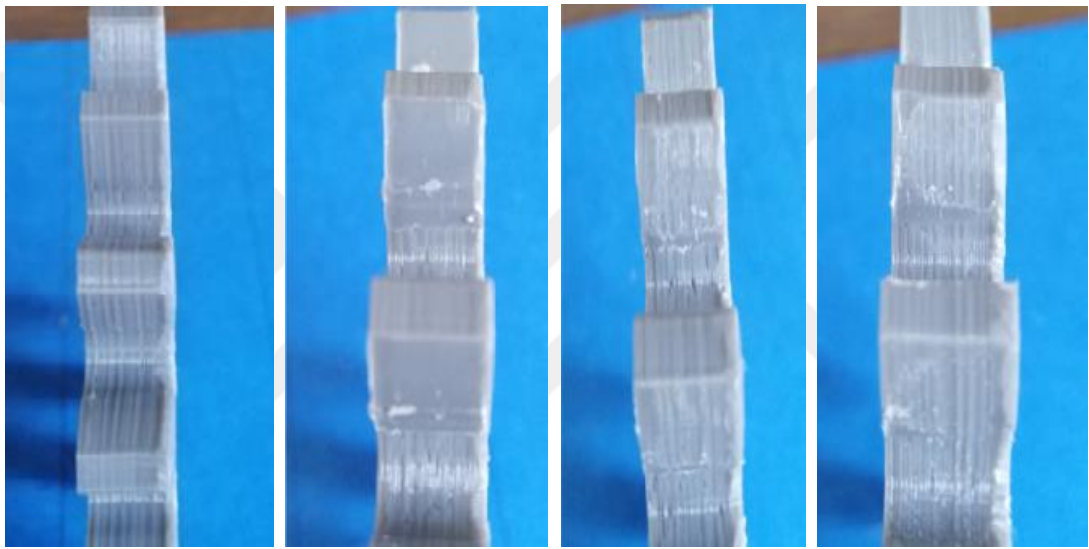
Şekil 6.8’de pinyon dişli 900 d/dak çalıştırıldığında 10×10^4 tur tekrarı sonunda, pinyon dişliye uygulanan moment 0,5 Nm’den 1 Nm’ye %100 artırıldığında meydana gelen aşınma miktarı 88,60 mg’dan 159,90 mg’a %80,47 oranında daha fazla aşınma meydana gelmiştir.

Pinyon dişli 900 d/dak çalıştırıldığında 10×10^4 tur tekrarı sonunda, pinyon dişliye uygulanan moment 1 Nm’den 1,5 Nm’ye %50 artırıldığında meydana gelen aşınma miktarı 159,60 mg’dan 223,30 mg’a %39,92 oranında daha fazla aşınma meydana gelmiştir.

Bu deneyler sonucunda pinyon dişli 300 d/dak sabit devirde 5×10^4 tur dönme tekrarında pinyon dişliye 0,5 Nm- 1.5 Nm arasında yük uygulanması sonucunda aşınma miktarları 56,10 mg - 148,40 mg arasında bir aşınma meydana gelmiştir. Bu neticede dişliye uygulanan yük arttıkça aşınma miktarı da artmaktadır. Aynı sabit devir ve yük altında tur sayısı 10×10^4 tur sonunda aşınma miktarı 95,50 mg - 249,80 mg arasında değişerek artmaktadır. Bu da gösteriyor ki tur sayısı arttıkça da aşınma miktarı artmaktadır.

Pinyon dişli devri 600 d/ dak' ya artırıldığında 5×10^4 tur dönmesi tekrarında pinyon dişliye 0,5 Nm - 1,5 Nm arasında yük uygulanması sonucunda aşınma miktarları 56,10 mg - 48,30 mg arasında değişerek azalmaktadır. Bu neticede aynı yük ve tur sayısında pinyon dişli devir sayısı artıkça aşınma miktarı azalmaktadır.

Resim 6.1'de pinyon dişli 300 d/dak sabit devirde 5×10^4 tur sonunda 0,5 Nm, 1 Nm, 1,5 Nm yüklerde aşınma gösterilmiştir. Diğer aşınma resimleri ise EK-3'te verilmiştir.



Test öncesi

0,5 Nm

1 Nm

1,5 Nm

Resim 6.1. Pinyon dişli 300 d/dak sabit devirde 5×10^4 turda 0,5 Nm, 1 Nm, 1,5 Nm yüklerde aşınma

6.2. Diş Profillerinde Yüze Pürüzlük Ölçüm Değişimi

Bölüm 5.5'de anlatıldığı üzere dişliler yüze pürüzlük ölçüm sonuçlarında kullanılacak pinyon dişli deney öncesi, 5×10^4 tur sonunda ve 10×10^4 tur sonunda pinyon dişli deney cihazından çıkarılmış hava ile temizlenip Bölüm 5.5.2'de anlatılan Yüze pürüzlük ölçüm cihazına, farklı yük ve devirler sonunda dişli profil yüzeyi taranıp plastik düz pinyon dişli yüze pürüzlük ölçüm değerleri Tablo 6.2'de verilmiştir. Tablo da çıkan deneysel sonuçlar neticesinde Şekil 6.9'dan Şekil 6.17'ye kadar grafikler halinde verilmiştir. Deneylerde kullanılan test dişlilerin çevrim oranı 1,29 olduğundan çark dişlinin motor hızları pinyon dişlinin motor hızının 1/1.29' u

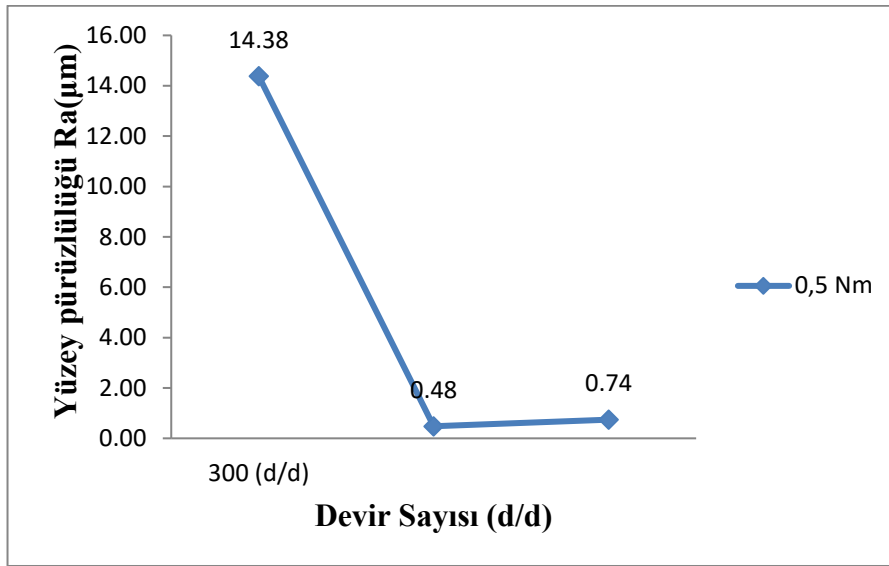
kadardır. Deneysel sonuçlar verilirken kullanılan motor hızı pinyon dişliye uygulanan motor hızı alınmaktadır ve deneyler pinyon dişliye göre yapılmıştır.

Plastik düz pinyon dişli FDM yöntemiyle 3 boyutlu yazıcıda Plastik filamentin bir nozulda belli bir sıcaklık aralığında eritilerek birbiri üzerine yığma yöntemiyle 3D baskı sonucunda imal edilmiştir. 3D baskı sonrası herhangi bir ek işleme tabi tutulmamıştır.

3D baskı sonra imal edilen düz pinyon dişlinin çalıştığı çark dişli ise St37-2 çelik malzemeden azdırma tezgahında imal edilen çelik dişli çark ile FZG test düzeneğine yüklenerek çıkarılmıştır.

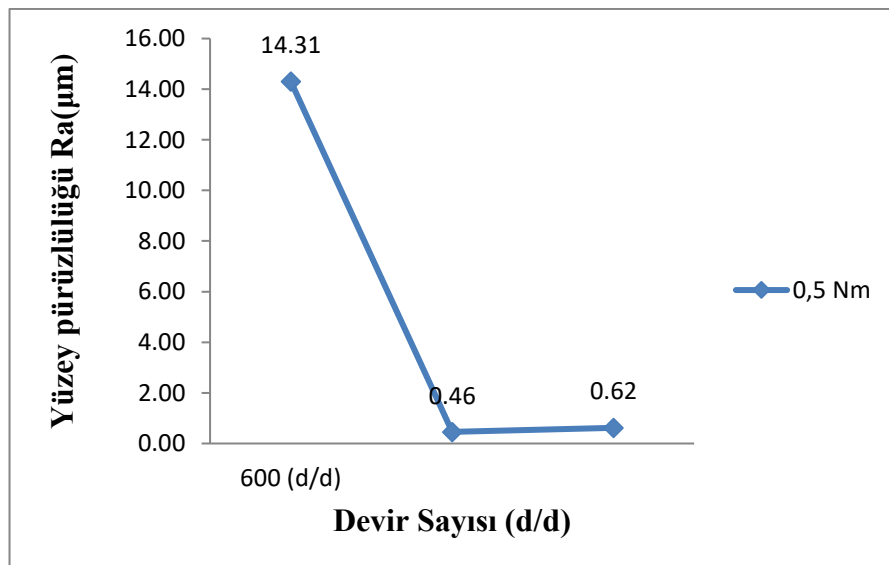
Tablo 6.2. Yüzey pürüzlülük ölçüm değerleri

Yük [Nm]	Devir [d/d]	Ra [μm] [Test Öncesi]	Ra [μm] [5×10^4 tur]	Ra [μm] [10×10^4 tur]
0.5	300	14.38	0.48	0.74
1		14.94	0.52	0.79
1.5		14.33	0.51	0.94
0.5	600	14.31	0.46	0.62
1		14.80	0.52	0.65
1.5		14.79	0.60	0.79
0.5	900	13.85	0.37	0.61
1		14.80	0.44	0.62
1.5		13.94	0.46	0.68



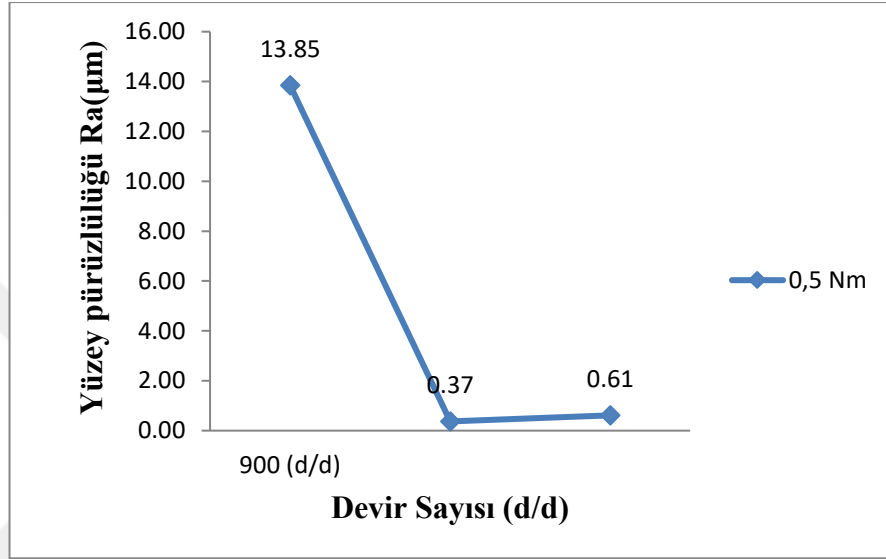
Şekil 6.5. Motor hızı 300 d/dak 0,5 Nm moment yükte pürüzlük ölçüm grafiği

Şekil 6.9’da pinyon dişli çarka 300 d/dak 0,5 Nm moment yükte çalıştırılması sonucu test öncesi pürüzlük değeri R_a ’sı 14,38 μm iken 5×10^4 tur sonunda 0,48 μm olmuştur. Bu ölçüm değerleri sonucunda 29,96 kat yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. R_a ’sı 5×10^4 tur sonunda 0,48 μm ölçüldüğünde 10×10^4 tur sonunda ise 0,74 μm ölçülmüştür ve bu neticede yüzey pürüzlülüğü 1,54 kat artmıştır.



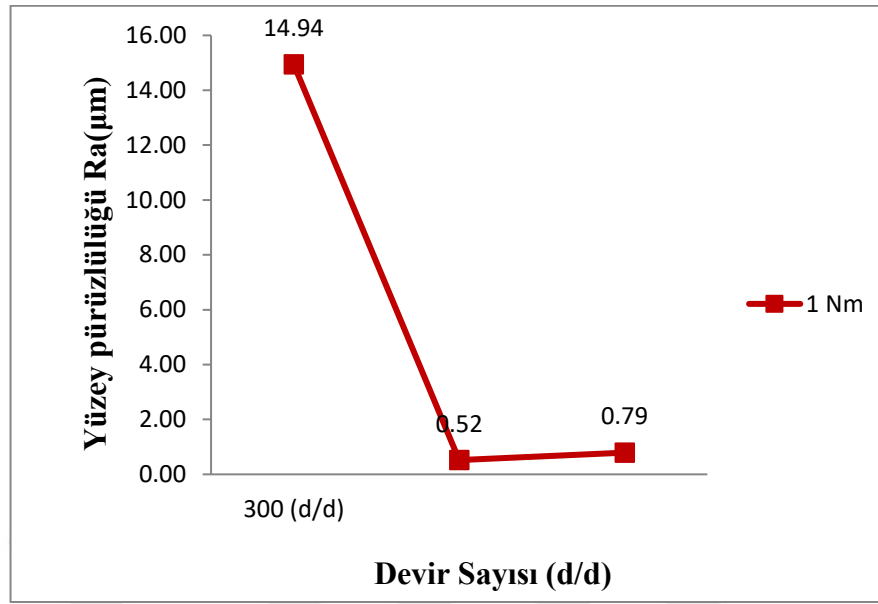
Şekil 6.10. Motor hızı 600 d/dak 0,5 Nm moment yükte pürüzlük ölçüm grafiği

Şekil 6.10'da pinyon dişli çarka 600 d/dak 0,5 Nm moment yükte çalıştırılması sonucu test öncesi pürüzlük değeri R_a 'sı 14,31 μm iken 5×10^4 tur sonunda 0,46 μm olmuştur. Bu ölçüm değerleri sonucunda 31,11 kat yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. R_a 'sı 5×10^4 tur sonunda 0,46 μm ölçüldüğünde 10×10^4 tur sonunda ise 0,62 μm ölçülmüştür ve bu neticede yüzey pürüzlülüğü 1,35 kat artmıştır.



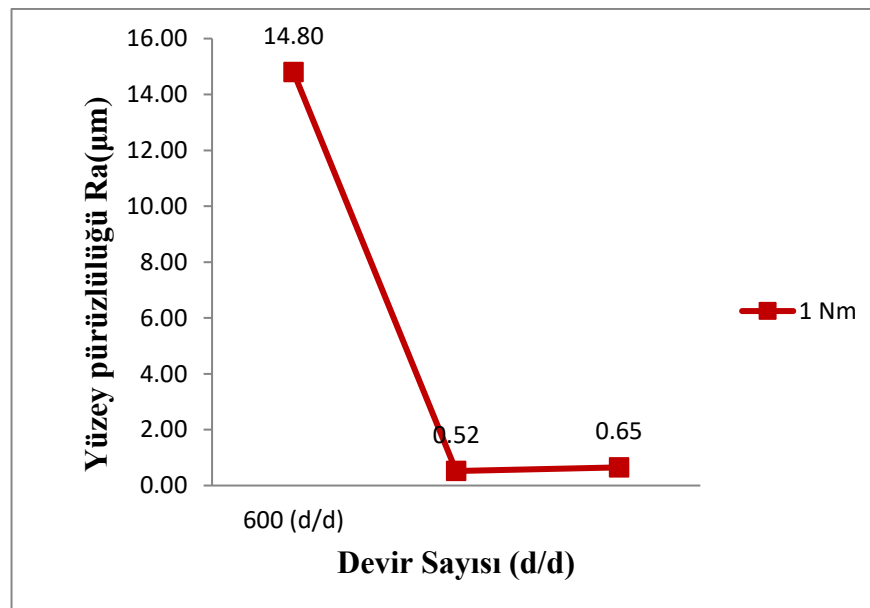
Şekil 6.11. Motor hızı 900 d/dak 0,5 Nm moment yükte pürüzlük ölçüm grafiği

Şekil 6.11'de pinyon dişli çarka 900 d/dak 0,5 Nm moment yükte çalıştırılması sonucu test öncesi pürüzlük değeri R_a 'sı 13,85 μm iken 5×10^4 tur sonunda 0,37 μm olmuştur. Bu ölçüm değerleri sonucunda 37,43 kat yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. R_a 'sı 5×10^4 tur sonunda 0,37 μm ölçüldüğünde 10×10^4 tur sonunda ise 0,61 μm ölçülmüştür ve bu neticede yüzey pürüzlülüğü 1,65 kat artmıştır.



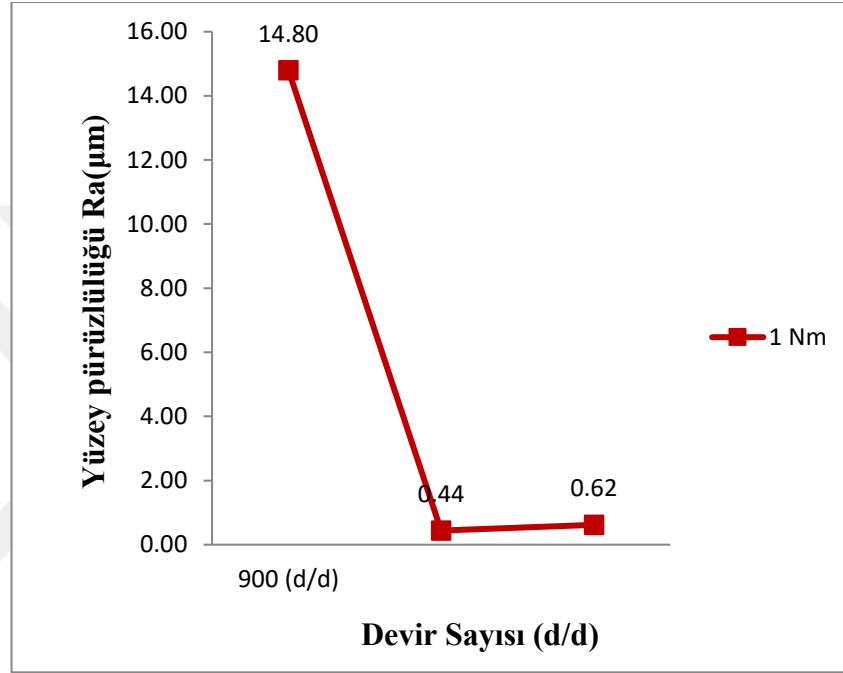
Şekil 6.12. Motor hızı 300 d/dak 1 Nm moment yükte pürüzlük ölçüm grafiği

Şekil 6.12’de pinyon dişli çarka 300 d/dak 1 Nm moment yükte çalıştırılması sonucu test öncesi pürüzlük değeri R_a ’sı 14,94 μm iken 5×10^4 tur sonunda 0,52 μm olmuştur. Bu ölçüm değerleri sonucunda 28,73 kat yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. R_a ’sı 5×10^4 tur sonunda 0,52 μm ölçüldüğünde 10×10^4 tur sonunda ise 0,79 μm ölçülmüştür ve bu neticede yüzey pürüzlülüğü 1,52 kat artmıştır.



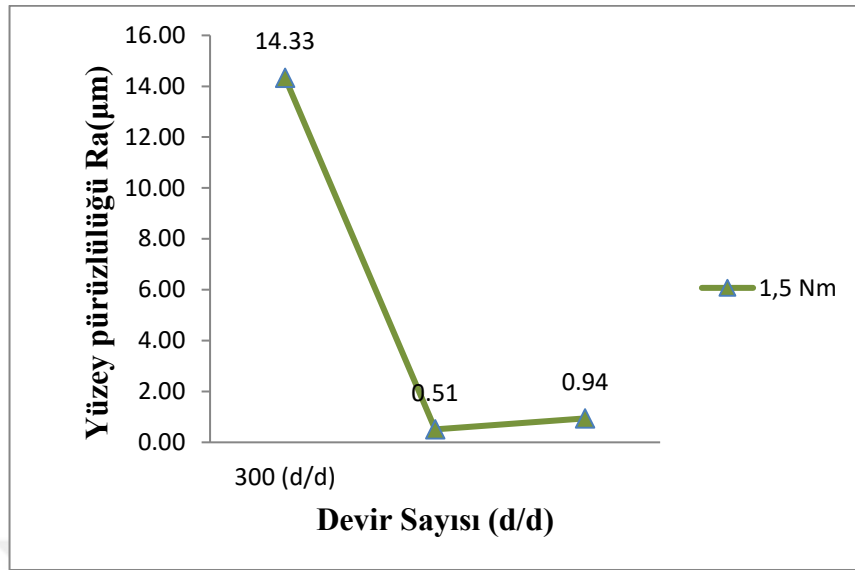
Şekil 6.13. Motor hızı 600 d/dak 1 Nm moment yükte pürüzlük ölçüm grafiği

Şekil 6.13'te pinyon dişli çarka 600 d/dak 1 Nm moment yükte çalıştırılması sonucu test öncesi pürüzlük değeri R_a 'sı 14,80 μm iken 5×10^4 tur sonunda 0,52 μm olmuştur. Bu ölçüm değerleri sonucunda 28,46 kat yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. R_a 'sı 5×10^4 tur sonunda 0,52 μm ölçüldüğünde 10×10^4 tur sonunda ise 0,65 μm ölçülmüştür ve bu neticede yüzey pürüzlülüğü 1,25 kat artmıştır.



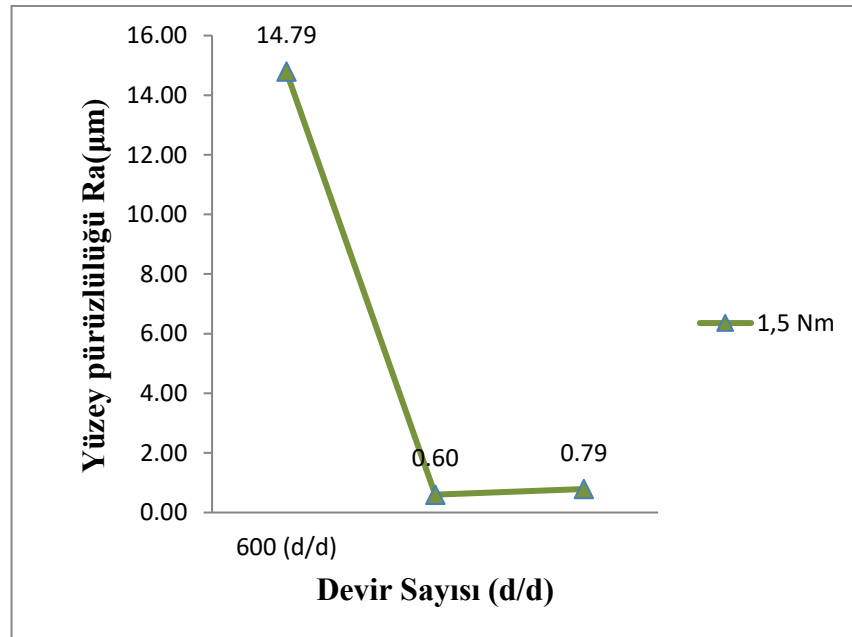
Şekil 6.14. Motor hızı 900 d/dak 1 Nm moment yükte pürüzlük ölçüm grafiği

Şekil 6.14'de pinyon dişli çarka 900 d/dak 1 Nm moment yükte çalıştırılması sonucu test öncesi pürüzlük değeri R_a 'sı 14,80 μm iken 5×10^4 tur sonunda 0,44 μm olmuştur. Bu ölçüm değerleri sonucunda 33,63 kat yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. R_a 'sı 5×10^4 tur sonunda 0,44 μm ölçüldüğünde 10×10^4 tur sonunda ise 0,62 μm ölçülmüştür ve bu neticede yüzey pürüzlülüğü 1,41 kat artmıştır.



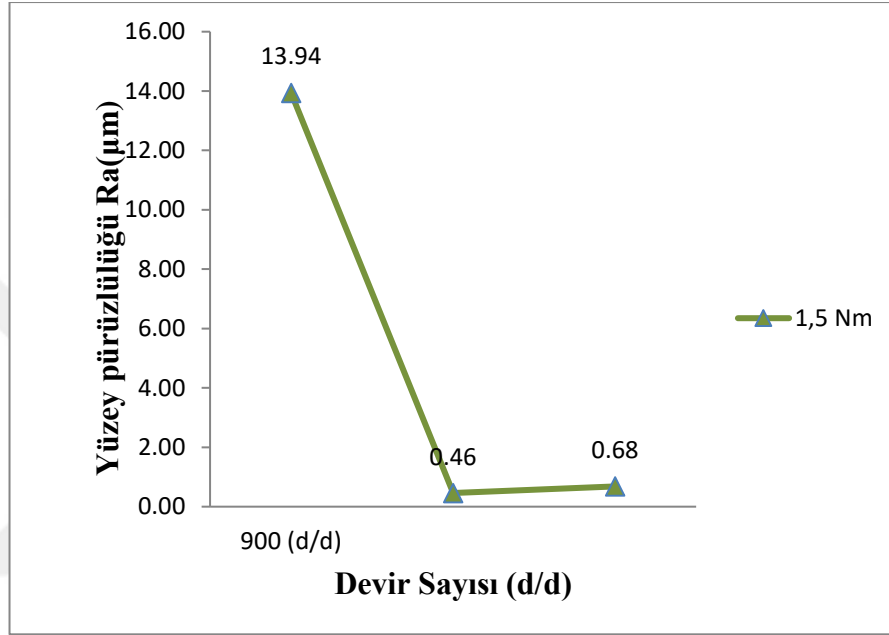
Şekil 6.15. Motor hızı 300 d/dak 1,5 Nm moment yükte pürüzlük ölçüm grafiği

Şekil 6.15’de pinyon dişli çarka 300 d/dak 1,5 Nm moment yükte çalıştırılması sonucu test öncesi pürüzlük değeri R_a ’sı 14,33 μm iken 5×10^4 tur sonunda 0,51 μm olmuştur. Bu ölçüm değerleri sonucunda 28,09 kat yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. R_a ’sı 5×10^4 tur sonunda 0,51 μm ölçüldüğünde 10×10^4 tur sonunda ise 0,94 μm ölçülmüştür ve bu neticede yüzey pürüzlülüğü 1,84 kat artmıştır.



Şekil 6.16. Motor hızı 600 d/dak 1,5 Nm moment yükte pürüzlük ölçüm grafiği

Şekil 6.16'da pinyon dişli çarka 600 d/dak 1,5 Nm moment yükte çalıştırılması sonucu test öncesi pürüzlük değeri R_a 'sı 14,79 μm iken 5×10^4 tur sonunda 0,60 μm olmuştur. Bu ölçüm değerleri sonucunda 24,65 kat yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. R_a 'sı 5×10^4 tur sonunda 0,60 μm ölçüldüğünde 10×10^4 tur sonunda ise 0,79 μm ölçülmüştür ve bu neticede yüzey pürüzlülüğü 1,32 kat artmıştır.



Şekil 6.17. Motor hızı 600 d/dak 1,5 Nm moment yükte pürüzlük ölçüm grafiği

Şekil 6.17'de pinyon dişli çarka 900 d/dak 1,5 Nm moment yükte çalıştırılması sonucu test öncesi pürüzlük değeri R_a 'sı 13,94 μm iken 5×10^4 tur sonunda 0,46 μm olmuştur. Bu ölçüm değerleri sonucunda 30,30 kat yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. R_a 'sı 5×10^4 tur sonunda 0,46 μm ölçüldüğünde 10×10^4 tur sonunda ise 0,68 μm ölçülmüştür ve bu neticede yüzey pürüzlülüğü 1,48 kat artmıştır.

Yüzey pürüzlük sonuçlarına göre pinyon dişli 300 d/dak sabit devirde St37-2 malzemeden imal edilen dişli çark ile 0,5 Nm. - 1.5 Nm arasında yük uygulandığında 5×10^4 tur tekrarında R_a pürüzlülük değerinin 14,38 μm - 0,48 μm arasında azaldığını daha sonra aynı devir ve yükleme koşullarında 10×10^4 tur tekrarında R_a pürüzlük değerinin 0,48 μm - 0,98 μm değerine çıktığı sonuçlarına varılmıştır. Bu sonuçlar neticesinde ilk başta eriyik yığma teknolojisi kullanıldığından pürüzlü olan

yüzey ilk önce pürüzsüzleşiyor daha sonra ise Bölüm 3.4’de plastik malzemelerde anlatılan aşırı ısınma ve yorulmaya dayalı hasarlar meydana geldiğinden yüzey pürüzlülüğünde artış gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar neticesinde yük ve tur sayısı artıkça belirli bir tur tekrarına kadar ilk önce yüzey pürüzlülüğünde iyileşme görülmüş daha sonra yüzey pürüzlülüğünün arttığı sonucuna varılmıştır.

Pinyon dişli devir sayısı artıkça aynı yük ve turlarda ilk önce pürüzlük değeri R_a belli bir tur dönme tekrarına kadar azalır daha sonra devir sayısı artıkça arttığı sonucuna varılmıştır.

Tunalıoğlu ve Tuç (2012)’nin yaptığı iç dişli çarklarda diş profili hasarının incelenmesi çalışmasında, hem pinyon dişlide hem de iç dişli çarkta aynı devir ve dönme turu tekrarında uygulanan burulma momentinin artırılması durumunda diş profillerinde meydana gelen aşınma miktarının da arttığı görülmüştür. Örneğin 1000 d/dak motor hızında moment miktarı 2 katına artırıldığında aşınmanın %43 oranında arttığı, yine momentin 3 katı artırıldığında %99 oranında aşınmanın arttığı görülmüştür. 3D baskı yöntemi ile imal edilen plastik dişli çarklarda da devir ve dönme tur sayısı sabit tutulup, moment miktarı 2 ve 3 kat artırıldığında aşınma miktarının arttığı görülmüştür. Buna göre, iç dişli çarklarda yapılan çalışma sonuçları, bu çalışmada alınan sonuçlara paraleldir.

Mao (2007), plastik esaslı malzemeler olan Delrin 100 ve Kompozit (%55 naylon, %30 fiberglas, %15 PTFE) ile yaptığı çalışmasında, devir ve dönme tur tekrarlarını sabit tutmak kaydı ile moment değerlerinin artırılması neticesinde diş profillerinde aşınmanın arttığını göstermiştir. Örneğin; 1000 d/dak devir, 1×10^5 dönme tekrarında, çalışmasını 7-16,1 Nm moment aralığında (7-8-8,5-9-9,5-10-10,79-13,05-14,35-16,1 Nm) yapmış ve moment değerinin artırılması neticesinde diş profillerinin daha çok aşındığını görmüştür. Mao (2007), tarafından yapılan çalışmanın sonuçları da, bu çalışmada alınan sonuçlara paraleldir.

Mao ve ark (2009), plastik esaslı malzemeler olan Acetal ve Naylon66 ile yaptığı çalışmasında, devir ve dönme tur tekrarlarını sabit tutmak kaydı ile moment değerlerinin artırılması neticesinde diş profillerinde aşınmanın arttığını göstermiştir.

Örneğin; 1000 d/dak devir, 1×10^5 dönme tekrarında, çalışmasını 7-16,1 Nm moment aralığında (7-8-8,5-9-9,5-10-10,79-13,05-14,35-16,1 Nm) yapmış ve moment değerinin artırılması neticesinde diş profillerinin daha çok aşındığını görmüştür. Mao ve ark. (2009), tarafından yapılan çalışmanın sonuçları da, bu çalışmada alınan sonuçlara paraleldir.

Senthilvelan ve Gnanamoorthy (2006), çalışmalarında Naylon 6/6, % 20 cam ve % 20 karbon elyaf takviyeli Naylon 6/6 dişli malzemeleri üzerinde yaptıkları çalışmalarında 1000 d/dak devir, 1,5 Nm moment ve 50000 dönme tekrarı, yine 1000 d/dak devir, 2 Nm moment ve 20000 dönme tekrarı şartlarında deneylerini yapmışlardır. Devir ve dönme tur tekrarlarını sabit tutmak kaydı ile moment değerlerinin artırılması neticesinde diş profillerinde aşınmanın arttığı görülmüştür. Senthilvelan ve Gnanamoorthy (2006), tarafından yapılan çalışmanın sonuçları da, bu çalışmada alınan sonuçlara paraleldir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında üç boyutlu yazıcı ile PLA filamentinden düz pinyon dişli 3D baskı yöntemi olan FDM Fused Deposition Modelling (Eriyik Yığıma Teknolojisi) teknolojisi kullanılarak imal edilmiş plastik pinyon dişli ile dişli St 37-2 çelik malzemeden azdırma tezgahında imalatı yapılmıştır. Plastik düz pinyon dişlinin aşınma miktarları ve yüzey pürüzlük değerleri Bölüm 6'da anlatılmıştır. Çalışma da elde edilen deneysel sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- Diş profillerindeki aşınma en fazla; düşük devir ve yüksek dönme momentlerinde meydana gelmiştir.
- Dişli profil yüzey pürüzlülüklerin ve aşınma miktarlarının artmasında, plastik malzemelerde aşırı ısınma ve yorulmaya dayalı hasar türlerinin başlamasına sebep olmaktadır.
- Aynı devir ve yükteki çalışma koşullarında pinyon düz dişlinin tur sayısı artıkça aşınma miktarı da artmaktadır.
- Aynı devir ve tur sayılarında çalışması durumunda pinyon düz dişlinin yük miktarı artıkça aşınma miktarı da artmaktadır.
- Aynı yük ve turda çalışması durumunda pinyon düz dişlinin çalışma devri artıkça aşınma miktarı azalmaktadır.
- Yüzey pürüzlükleri pinyon düz dişliye uygulanan yük ve tur sayısı artıkça belirli bir tur sayısına kadar yüzey pürüzlüğünde iyileşme meydana gelir ve daha sonra ise artma meydana gelmektedir.
- Pinyon düz dişlinin devir sayısı artıkça aynı yük ve turlarda belirli bir devire kadar pürüzlülük değeri önce azalmaktadır daha sonra ise devir artıkça yüzey pürüzlülükte artmaktadır.

Bu deneysel sonuçlar neticesinde aşağıdaki önerilerden bahsedilebilir.

- 3D baskı yöntemiyle PLA malzemeden imal edilen plastik düz dişli çarklar yüksek devirde ve düşük moment gerektiren mekanizmalarda rahatlıkla tercih edilebilir.

- Üretim adetleri az olan plastik dişli çark sistemleri, plastik enjeksiyon, toz metalurjisi ve talaşlı imalat yöntemlerine ek olarak daha az maliyetle ve kısa zamanda CAD programlarında tasarlanıp 3 boyutlu yazıcılar ile 3D baskı yöntemi ile imal edilip yük iletim mekanizmalarında kullanılabilir.
- Plastik malzemelerden 3 boyutlu yazıcılarla imalatı yapılırken eriyik yığma teknolojisi kullanılmasından kaynaklanan çarpılmalar, yığma katmanlarının birbirine kaynaması, katman kalınlığının secimi için uygun ortam koşulları, uygun baskı tekniği ve uygun et kalınlığı seçilmelidir.
- Birbirleriyle çalışacak plastik dişli çark çiftlerinin aşınmaları sırasında birbirinden parça kopmasından kaynaklanması sonucu diğer dişli malzemesine yapışıp kaynaşması ve dişlide balans oluşturup aşınmanın artmaması için uygun dişli çark çiftleri seçilmelidir.
- Dişli çark çiftlerinin bulunduğu çalışma koşullarına ve dişli malzemesine bağlı olarak aşınma miktarlarını azaltmak için sıvı yağlı veya gresli ortamda çalıştırılabilir.
- Başka plastik malzemeler seçilerek ve uygun çiftler belirlenerek helisel çark dişli sistemi ve iç dişli çarklar gibi bir çok dişli çark sistemlerinde farklı deneyler yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Hacıoğlu, A.S., Fatih Eraslan ve Yunus Şimşek, 2016. Abbas V1 Üç Boyutlu Yazıcı Tasarımı, Sunumu ve Uygulamaları, Karabük.
- Akkurt S., 1991: Plastik Malzeme Bilgisi, İstanbul Birsen Yayın Evi, s.15.
- Akkurt, S., Sezer, M. F., 1998, Plastik Dişlilerin Tasarımı, Makine Metal Teknolojisi 74 : 87-98.
- Anonim, 2017. Has Çelik Teknik Katalog, <http://www.hascometal.com-teknik-bilgiler>, (03.05.2019).
- Anonim, 2018. 3D Yazıcı Filament Özellikleri, <http://www.artiboyut.com/index.php/tr/bilgi-bankasi/39-3d-yazici-filament-ozellikleri>,(03.05.2019).
- Anonim, 2019. Dişli Çark Sistemleri ve Düz Dişli Çarklar, <http://www.hamitarслан.com/disli-tezgahlari.html> (08.01.2019).
- Anonim, 2019. Dişli Çark Sistemleri ve Düz Dişli Çarklar, <http://www.tamsandisli.com/tezgah-parkuru.html> (08.01.2019).
- Anonim, 2019. Dişli Çark Sistemleri ve Düz Dişli Çarklar, <http://www.hacilar-disli.com/urunlerimiz.php> (10.01.2019).
- Anonim, 2019. Dişli Çark Sistemleri ve Düz Dişli Çarklar, <https://docplayer.biz.tr/11983919-Disli-carklar-i-giris.html> (15.01.2019).
- Anonim, 2019. Giriş, <https://docplayer.biz.tr/11983919-Disli-carklar-i-giris.html>
- BS-6168, 1985, British standard specification for non-metallic spur gears, British Standarts Institution.
- Can, H., Mendi, F., Bozdemir, M. 2004. Yay Takviyesinin Plastik Dişlilerin Statik Kopma Dayanımlarına Etkisi. Teknoloji,7, 401-405.
- Crawford, R.J., 1987, Plastics Engineering, 2 nd Edition, Pergamon Press 12-26,109-140, 154-160, Oxford.
- Çelik, D, Çetinkaya, K., 2015. Üç Boyutlu Yazıcı Tasarımları, Prototipleri ve Ürün Yazdırma Karşılaştırılmaları. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Karabük.
- Çelik, D., 2011. Üç Boyutlu Yazıcı Tasarımı, Prototipi ve Tersine Mühendislik Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, KARABÜK.

- Fetvacı, M. C., 1998, "Plastik Dişli Çarklarda Malzeme Seçimi ve Konstrüktif Tedbirler", Mühendis ve Makine 39 : 34-38.
- Kızılaslan, K., İşel, B., Yavuz, İ., 2010. Dişli Çarklarda Meydana Gelen Hasar Türleri. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7 ,1 , 119-129.
- Kurokawa, M., Uchiyama, Y., Iwai, T., Nagai, S., 2003. Performance of Plastic Gear Made of Carbon Fiber Reinforced Polyamide. Wear, 254, 468-473.
- Kutay, M.G., 2010. Dişli çarklar, www.guven-kutay.ch (20.10.2012).
- Kutay, M.G., 2010. Dişli çarklar, www.guven-kutay.ch (20.10.2012).
- Mao, K., 2007. A New Approach for Polymer Composite Gear Design. Wear, 262, 432- 441.
- Mao, K., Li, W., Hooke, C.J., Walton, D., 2009. Friction and Wear Behaviour of Acetal and Nylon Gears. Wear, 267, 639- 645.
- Özdemir, M.A., 2017. FDM Teknolojisi Kullanan Kartezyen Tip 3 Boyutlu Yazıcı ve Baskı Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çorum.
- Peek, M. A., 2002, Polimerik dişlilerde sonlu elemanlar metodu ile gerilme analizi, Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniv. Fen Bil. Enst., Isparta.
- Rende, H., 1997. Makina Elemanları. Seç Yayın Dağıtım, İstanbul, İkinci Cilt, 1. Baskı, 11- 1, 11- 54.
- Reşat Canberk İlgül, Burak Akgünoğlu, 2016. Üç Boyutlu Yazıcı. Lisans Bitirme Tezi, Karabük.
- Şimşek, S., 2002, Plastik Malzemeden Mamul Dişli Çarkların Hesap Yöntemleri ve kullanım alanları, Yüksek lisans tezi, Uludağ Üniv. Fen Bil. Enst., Bursa.
- Tunalıoğlu, M.Ş., 2011. İç Dişli Çarklarda Diş Profil Hasarlarının İncelenmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Tunalıoğlu, M.Ş., Tuç, B. 2012. İç Dişli Çarklarda Aşınmanın Deneysel Olarak İncelenmesi. TMMOB MMO Mühendis ve Makine, 53 (632), 49-54.
- Walton D., Shi W., 1989: A Comparison Of Ratings For Plastic Gears, Proc. Instn. Mech. Engrs. Vol. 203, p.31-38.
- Yakut, R., 2008. Bazı Termoplastik Dişli Çarkların Yük Taşıma Kapasitesi ve Hasar Oluşumunun Deneysel Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

EKLER



EK-1 PLA - ABS Malzemeleri Isıl ve Mekanik Özellikleri

E1.1. PLA ve ABS Malzemeleri Isıl Özellikleri (Anonim, 2018)

Isıl Özellik	PLA	ABS
Erime Akış İndeksi (MVI)	10.3cm ³ /10dk	9.7cm ³ /10dk
Kırılma Sıcaklığı	60-65°C	105°C
Gevşeme Sıcaklığı	70-80°C	110-125°C
Erime Sıcaklığı	160-190°C	210-240°C
Basım Sıcaklığı	190-220°C	230-250°C
Yatak Sıcaklığı	50-70°C	80-120°C

E1.2. PLA ve ABS Malzemeleri Mekanik Özellikleri (Anonim, 2018)

Mekanik Özellikler	PLA	ABS
Gerilme Direnci (MPa)	65	41
Kopma Uzaması (%)	7,5	8,2
Eğime Direnci (Mpa)	97	63
Bükme Modülü (Mpa)	3600	2200

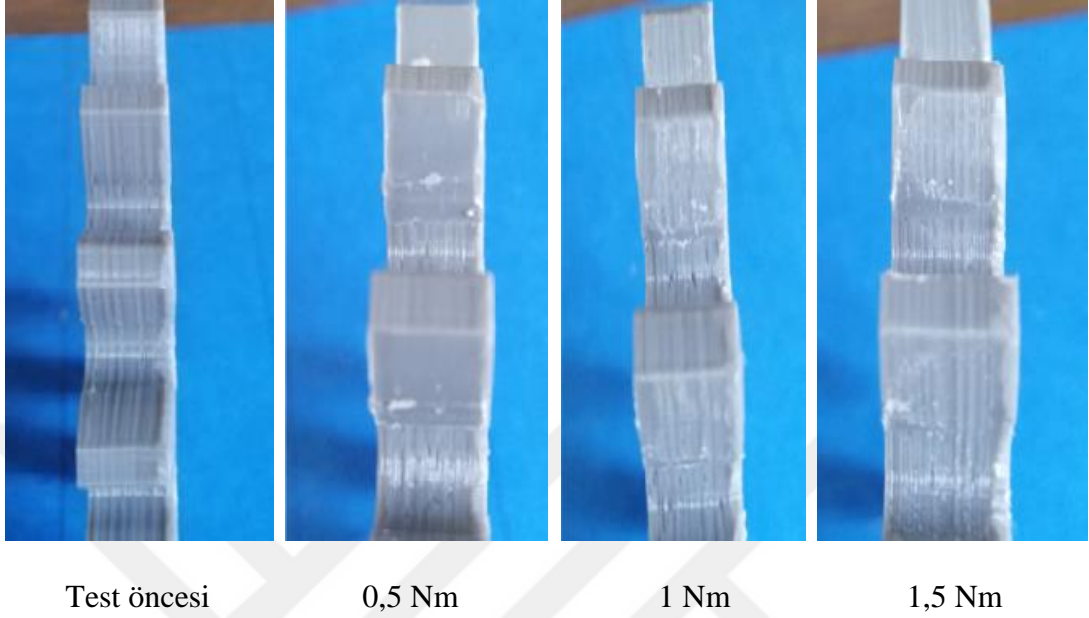
EK-2 St 37-2 Malzemedden İmal Çark Dişlinin Spektral Analiz Raporu ve St 37-2 Çeliği Mekanik Özellikleri

E2.1. St 37-2 Malzemedden İmal Çark dişlinin spektral analiz raporu

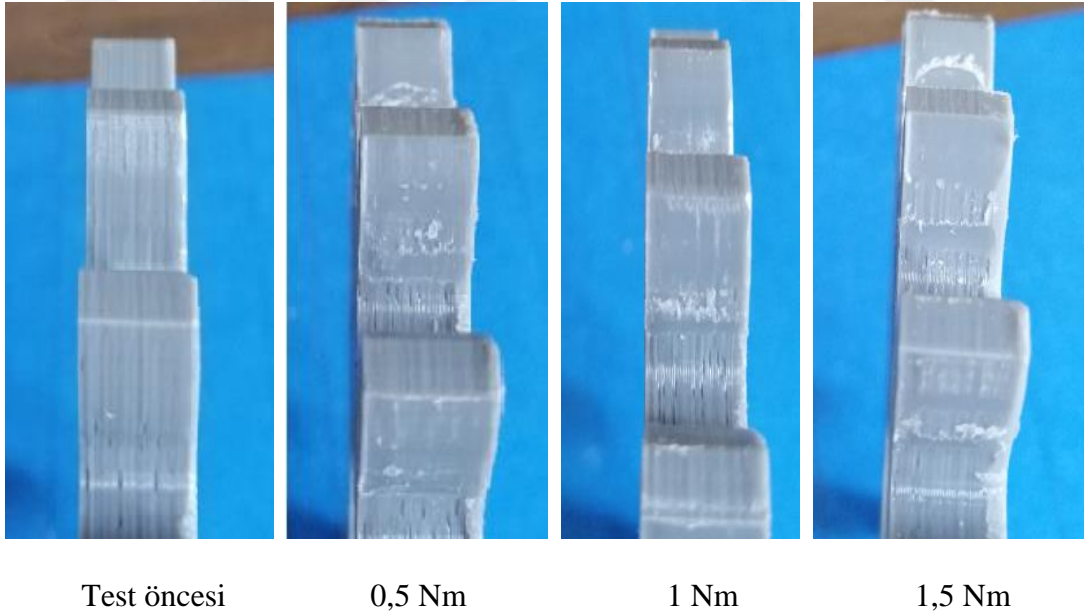
	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
1	98,9	0,132	0,0152	0,400	0,0211	0,0251	0,0566	0,0144	0,0505	0,0470
2	98,9	0,135	0,0166	0,385	0,0210	0,0278	0,0527	0,0156	0,0522	0,0357
Ort	98,9	0,134	0,0159	0,392	0,0210	0,0264	0,0546	0,0150	0,0514	0,0413
	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn	B	Ca
1	< 0,0010	0,202	0,0040	0,0032	0,0054	0,0202	< 0,0100	0,0171	0,0020	> 0,0075
2	< 0,0010	0,206	0,0060	0,0034	0,0060	0,0287	< 0,0100	0,0172	0,0020	> 0,0075
Ort	< 0,0010	0,204	0,0050	0,0033	0,0057	0,0245	< 0,0100	0,0172	0,0020	> 0,0075
	Zr	Bi	As							
1	0,0078	< 0,0100	0,0173							
2	0,0074	< 0,0100	0,0170							
Ort	0,0076	< 0,0100	0,0172							

E2.2. St37-2 Çeliği Mekanik Özellikleri (Anonim, 2017)

Malzeme No	Çekme Dayanımı [Mpa]		Akma Sınırı [≥Mpa]					Kopma Uzaması [≥%]		
	< 3 mm	≥ 3 mm	≤ 16 mm	≥ 16 mm	≥ 40 mm	≥ 63 mm	≥ 80 mm	≤ 3 mm	≤ 40 mm	≤ 63 mm
1.0037		≤ 100 mm		≤ 40 mm	≤ 63 mm	≤ 80 mm	≤ 100 mm	≥ 40 mm	≥ 63 mm	≥ 100 mm
	360-510	340-470	235	225				26	25	24

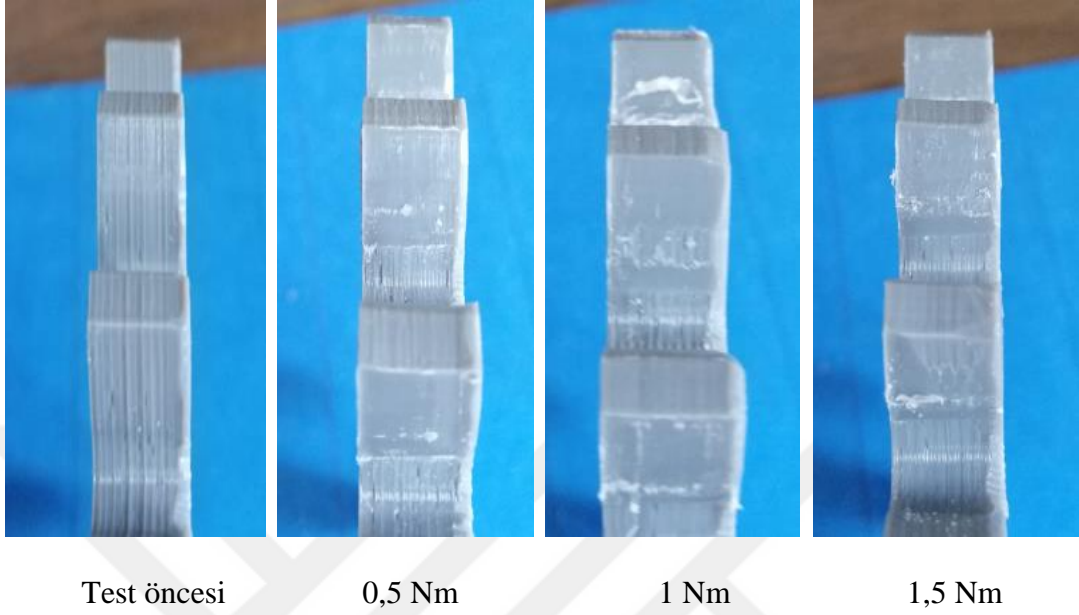
EK-3 Plastik Pinyon Dişli Çarkların Fotoğraf Çekimleri

Şekil E3.1. Pinyon dişli 300 d/dak' da 5×10^4 tur sonunda farklı momentlerdeki aşınma

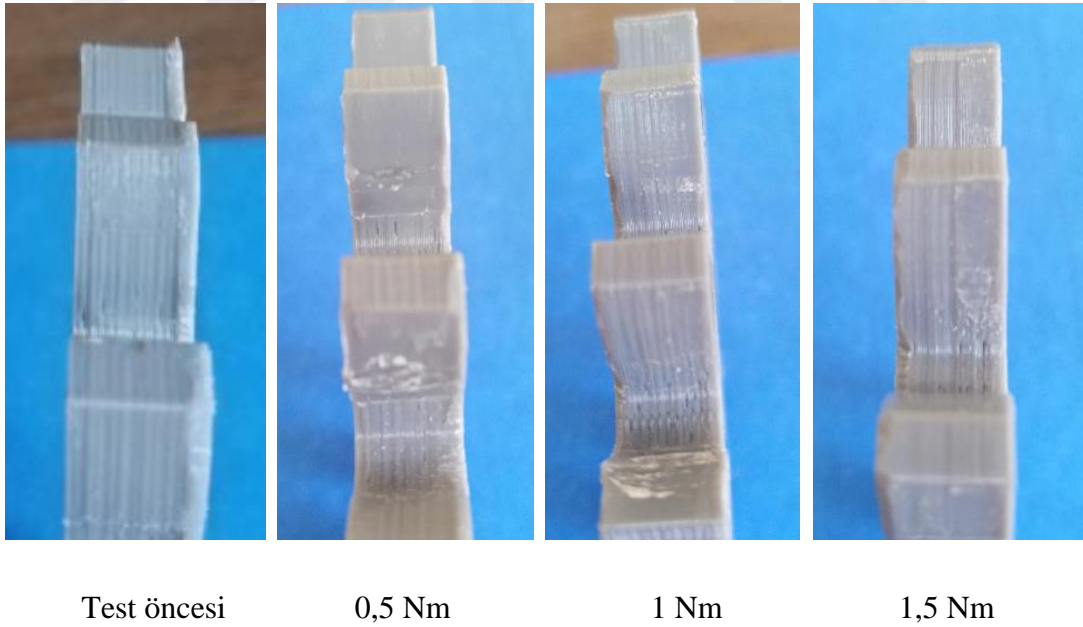


Şekil E3.2. Pinyon dişli 600 d/dak' da 5×10^4 tur sonunda farklı momentlerdeki aşınma

EK-3. (Devamı) Plastik Pinyon Dişli Çarkların Fotoğraf Çekimleri

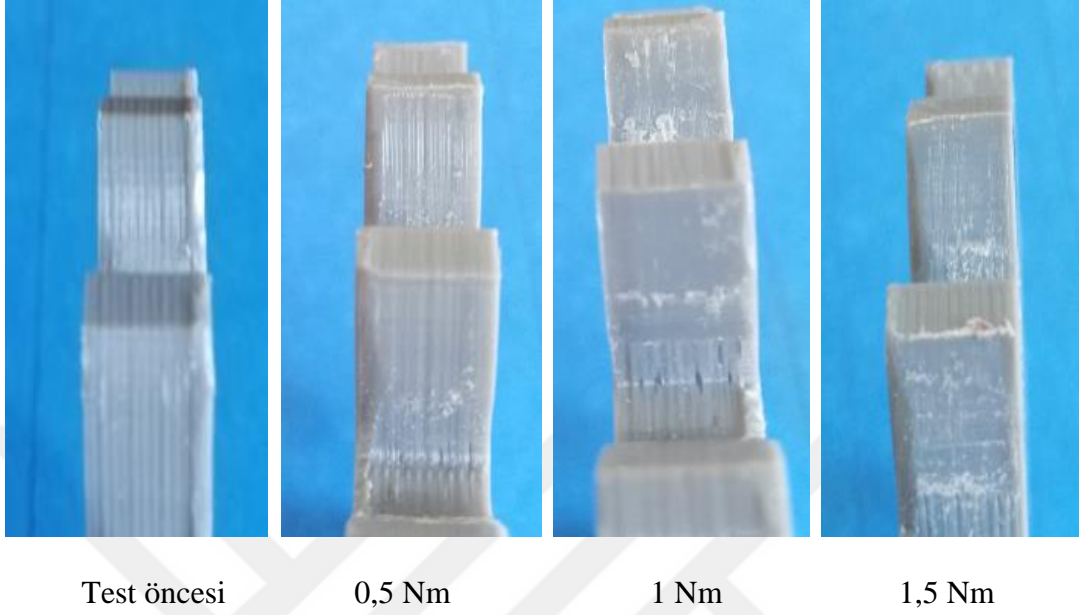


Şekil E3.3. Pinyon dişli 900 d/dak' da 5×10^4 tur sonunda farklı momentlerdeki aşınma

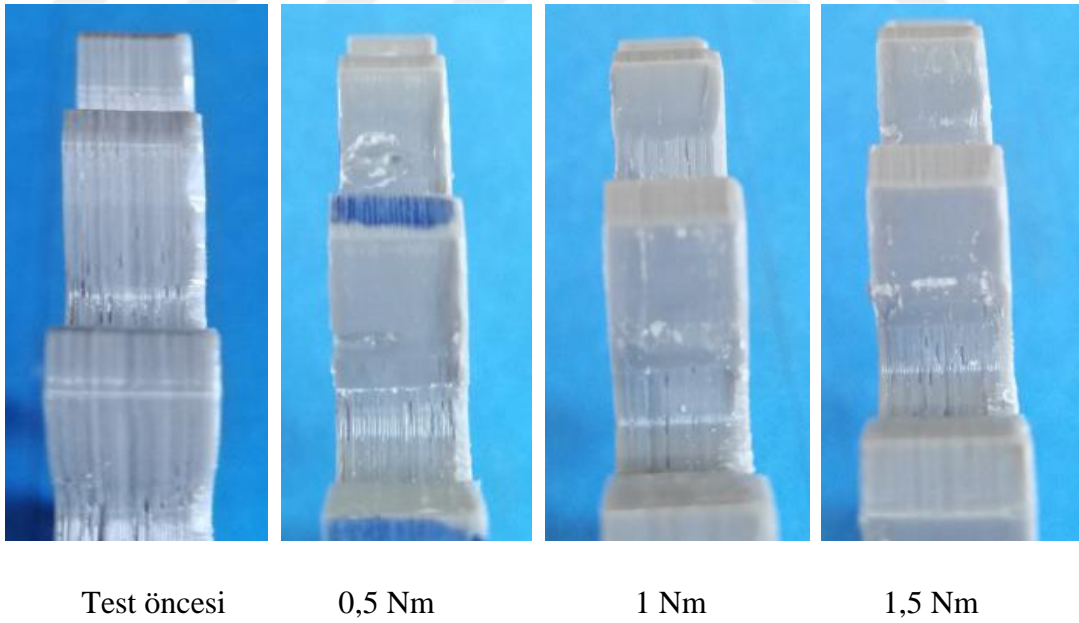


Şekil E3.4. Pinyon dişli 300 d/dak' da 10×10^4 tur sonunda farklı momentlerdeki aşınma

EK-3. (Devamı) Plastik Pinyon Dişli Çarkların Fotoğraf Çekimleri



Şekil E3.5. Pinyon dişli 600 d/dak' da 10×10^4 tur sonunda farklı momentlerdeki aşınma



Şekil E3.6. Pinyon dişli 600 d/dak' da 10×10^4 tur sonunda farklı momentlerdeki aşınma

ÖZGEÇMİŞ**Kişisel Bilgiler**

SOYADI, Adı : TORUN, Turgut
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Salıpazarı / 08.05.1987
Medeni Hali : Evli
Telefon : 0 (551) 441 23 55
e – mail : turgut@ekermakina.com.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Hitit Üniversitesi / Makine Müh.	2011
Lise	Çarşamba Yeşilirmak lisesi	2005

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2011 - 2019	Eker Makina (Çorum)	İmalat Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce