

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

**3 BOYUTLU YAZICI İLE ÜRETİLEN HELİSEL DİŞLİ
ÇARKLARIN AŞINMA DAYANIMLARININ
DENEYSEL İNCELENMESİ**

Lütfullah ŞİRİN

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

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

**MAYIS 2019
ÇORUM**

**3 BOYUTLU YAZICI İLE ÜRETİLEN HELİSEL DİŞLİ
ÇARKLARIN AŞINMA DAYANIMLARININ
DENEYSEL İNCELENMESİ**

Lütfullah ŞİRİN

**Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

Yüksek Lisans Tezi

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

Çorum 2019

Lütfullah ŞİRİN tarafından hazırlanan “3 Boyutlu Yazıcı İle Üretilen Helisel Dişli Çarkların Aşınma Dayanımlarının Deneysel İncelenmesi” adlı tez çalışması 03.05./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 2019/118 sayılı kararı ile Lütfullah ŞİRİN’in 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.


Lutfullah ŞİRİN



3 BOYUTLU YAZICI İLE ÜRETİLEN HELİSEL DİŞLİ ÇARKLARIN AŞINMA DAYANIMLARININ DENEYSEL İNCELENMESİ

Lütfullah ŞİRİN

HİTİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2019

ÖZET

Silindirik helisel dişli çarkların imalatında, kullanılacağı mekanizmadaki görevi, ileteceği yük, ileteceği çevrim oranı, imal edileceği malzeme ve yöntem önem arz etmektedir. Bu gibi unsurlar planlanırken dişli mukavim olmalı, ideal imal tekniği ile üretilmeli ve ucuza mal edilmelidir. Bunun içinde gerekli mühendislik hesaplamalarının ve analizlerinin çok iyi yapılması gerekmektedir.

Günümüzde ideal dişli imatları talaşlı imalat veya önceden modeli yapılan kalıba baskı veya döküm yöntemi ile yapılmaktadır. Son zamanlarda birçok komplike makine parçasında olduğu gibi dişli çark imatları da 3 boyutlu yazıcılarda yapılmaya başlanmıştır.

Bu tez çalışmasında dişliler kullanım alanlarına ve diş formlarına göre gruplandırılmış, dişli çark çeşitleri, dişli çarkların imalat yöntemleri, dişlilerde oluşabilecek hasar türleri, helisel dişli çark mekanizmalarına etki eden kuvvetler anlatılmış, dişli çark boyutlandırma hesaplamaları yapıldıktan sonra dişli modellemesi tamamlanmıştır. Sonraki aşamalarda ise ana imalat yöntemi olan 3 boyutlu yazıcılar, bu yazıcılarda kullanılan malzemeler hakkında bilgiler verilmiş, sonra bu yazıcılarla üretilen helisel dişli çarkların aşınma dayanımları deneysel olarak incelenmiştir.

Bu çalışmada yapılan aşınma deneyleri için bir adet masa üstü güç aktarım deney cihazı imal edilmiştir. İmal edilen deney cihazında helisel dişli çarklar ile farklı yük ve devirlerde aşınma deneyleri yapılmıştır. Her deney kademesinde dişli çarkların aşınma miktarları ve aşınma derinlikleri belirlenmiştir. Aşınma miktarı ölçümleri için 10^{-4} g hassasiyetinde hassas terazi, aşınma derinlikleri ölçümlerinde ise yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılmıştır. Elde edilen verilere göre üç boyutlu yazıcı ile üretilen dişli çarkların uygun çalışma koşulları belirlenmiştir. Değişik yükler ve devirler altında birbiriyle çalıştırılan dişli çiftlerinde oluşan aşınmalar çizelgeler ve grafikler halinde verilmiştir. Analizler neticesinde elde edilen grafik ve çizelgeler incelenerek deformasyonlar incelenmiş, en uygun parametreler belirlenerek üç boyutlu yazıcı ile daha hızlı ve daha hassas helisel dişli çarkların yapılması amaçlanmıştır.

Anahtar kelime: Üç boyutlu yazıcı, Helisel dişli çark, Aşınma, Yüzey pürüzlülüğü

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF WEAR RESISTANCE ON HELIX GEARS PRODUCED BY THREE DIMENSIONAL PRINTER

Lütfullah ŞİRİN

HİTİT UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
May 2019

ABSTRACT

The task in the mechanism, the load applied, the reduction rate, material and method of production is important in the cylindrical helical gear wheel manufacturing process. During the process of manufacturing planning, special attention must be paid to durability and cost effectiveness which requires extensive engineering calculations and intensive analysis.

Nowadays, the most common way to manufacture gears are to use either micro machining and precast molding or swaging. However as in many complicated machine parts, gear wheels are also produced by means of 3D printers.

In this thesis, the gears are grouped according to their usage areas and tooth forms, the types of gear wheels, the methods of manufacturing, the types of damage that may occur in the gears, the tooth forces in the helical gear mechanism are studied and the gear modeling has been completed after the gear dimensions are calculated. In the following stages; our main production method, mainly 3D printers, materials used in these printers, the wear resistance of helical gear wheels produced with these printers are examined experimentally.

In this study, a table-top power transmission test device has been manufactured for wear tests. Wear tests were carried out with helical gear wheels at different loads and

cycles. The wear amounts and wear depths of the gear wheels are determined after each trial. For the amount of wear, a precise weighing machine with a precision of 10^{-4} g is used and surface roughness measurement device is used to assess the abrasion. According to the data obtained, the appropriate working conditions of the gear wheels produced by the three-dimensional printer were determined. The abrasions formed in the gear pairs operated under different loads and cycles are given in tables and graphs. Deformations were analyzed by using the graphs and tables obtained as a result and the most appropriate parameters were determined to produce the more precise helical gear wheels faster with three-dimensional printers.

Keywords: Three-dimensional printer, Helical gear wheel, Abrasion, Surface roughness

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin hazırlanması esnasında değerli fikirleri ile beni yönlendiren ve birçok konuda yardımlarını esirgemeyen sayın hocalarım Dr. Öğr. Üyesi M. Şafak TUNALIOĞLU'na, Dr. Öğr. Üyesi Yusuf KANCA'ya, saygı değer babam Hakkı ŞİRİN'e, annem Nejla ŞİRİN'e, kıymetli eşim Dilara ŞİRİN'e, canlarım A.Tuğra ŞİRİN'e, Begüm ŞİRİN'e ve Ö. Çağatay ŞİRİN'e, imalat ve tez yazım çalışmalarım esnasında benden yardımlarını esirgemeyen, İnşaat Mühendisi Süreyya ÖZYAĞCI'ya, Mehmet MUTLU'ya, Turgay ELİAÇIK'a, Ali GÜCCAN'a, Bekir BEKAR'a, Kemal ÖGE'ye teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
RESİMLER DİZİNİ.....	xv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xvii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xx
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	xxi
1. GİRİŞ	1
2. DİŞLİ ÇARK SİSTEMLERİ	4
2.1. Genel	4
2.2. Dişli Çarkların Gruplanması	4
2.2.1. Alın dişli çarklar	4
2.2.2. Konik dişli çarklar.....	4
2.2.3. Yuvarlanmalı ve kaymalı dişli çarklar	5
2.2.3.1. Spiral dişli çarklar	5
2.2.3.2. Hipoid konik dişliler.....	5
2.3. Dişli Çarkların İmalat Yöntemleri.....	6
2.3.1. Talaşsız dişli çark imalatı.....	6
2.3.2. Talaş kaldırılarak dişli çark imalatı.....	6
2.3.2.1. Dişli planya (fellows) yöntemi	6
2.3.2.2. Kremayer diş açma yöntemi.....	7

Sayfa

2.3.2.3. Yuvarlanma yöntemi ile diş açma yöntemi.....	7
2.3.2.4. Azdırma yöntemi ile dişli açma	7
2.4. Genel Dişli Kanunu	9
2.5. Kavrama Doğrusu.....	11
2.6. Dişlilerin Diş Profillerinde Kullanılan Eğriler	12
2.6.1. Evolvent Profil	12
2.6.1.1. Evolent dişli çark avantajları	13
2.6.1.2. Evolvent dişli çark dezavantajları	13
2.7. Dişli Çarkların Malzemeleri	13
2.8. Helisel Dişli Çarklar	16
2.9. Eksenleri Paralel Miller Üzerinde Çalışan Helisel Dişli Çarklar	19
2.10. Eksenleri Dik Miller Üzerinde Çalışan Helisel Dişli Çarklar	19
2.11. Eksenleri Açılı (Σ) Miller Üzerinde Çalışan Helisel Dişli Çarklar	20
2.12. Helisel Dişli Çark Elemanlarının Hesaplanmasında Kullanılan Formüller.....	20
2.12.1. Profil kaydırmalı Helisel dişlilerde önemli büyüklükler	22
2.13. Helisel Dişli Çarkların Yük Taşıma Kabiliyeti	23
2.13.1. K_A çalışma faktörü	23
2.13.2. K_V dinamik faktörü	25
2.13.3. Alın faktörleri.....	26
2.13.4. Z_β helisellik faktörü.....	29
2.14. Helisel Dişli Çarklara Etki Eden Kuvvetler	29
2.15. Plastik Dişli Çarkların Hasar Mekanizmaları.....	30
2.15.1. Plastiklerin yorulması	31

Sayfa

2.15.1.1. Isıl yorulma (yumuşama hasarı).....	32
2.15.2. Plastiklerin viskoelastik davranışı.....	33
2.15.2.1. Plastiklerin sürünmesi	33
2.15.2.2. Plastiklerde gerilme gevşemesi	34
2.15.3. Polimerlerin kırılması	35
2.16. Literatür Taraması	37
3. ÜÇ BOYUTLU YAZICILAR VE ÜÇ BOYUTLU YAZICILARDA KULLANILAN MALZEMELER.....	46
3.1. Üç boyutlu yazıcılar hakkında genel bilgi.....	46
3.2. Üç Boyutlu Yazıcının Tarihi Gelişimi	47
3.3. Üç Boyutlu Yazıcılarda Teknolojik Gelişmeler.....	47
3.4. Üç Boyutlu Yazıcıların Avantajları.....	48
3.5. Üç Boyutlu Yazıcı Tipleri	49
3.5.1. Kartezyen tipi yazıcı	49
3.5.2. Delta tipi yazıcı	50
3.5.3. Core xy tipi üç boyutlu yazıcı.....	50
3.5.4. Metal baskı yapan üç boyutlu yazıcı.....	51
3.5.4.1. Metal baskı yapan robot tipi üç boyutlu yazıcılar	51
3.5.4.2. Metal tozlarını püskürterek baskı yapan üç boyutlu metal yazıcılar	52
3.6. Üç Boyutlu Yazıcılarda Kullanılan Malzemeler	53
3.6.1. PLA malzeme.....	53
3.6.2. ABS malzeme	53
3.6.3. Naylon malzeme	54

4. MATERYAL VE YÖNTEM	55
4.1. Deney Parametrelerinin Belirlenmesi	56
4.2. Dişlilerin Modellenmesi	59
4.3. Dişli Çarkların İmalatı.....	62
4.4. Deney Test Düzenegi ve Deneylerin Yapılması	63
4.4.1. Würth marka devir ölçme cihazı teknik özellikleri.....	64
4.4.2. Deney düzenegine yük uygulama	66
4.4.3. Dişlilerde oluşan hataların tespiti işlem sırası	67
4.4.4. Diş profil hasarlarının tespiti	69
4.4.4.1. Ağırlık ölçümü	69
4.4.4.2. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü	69
4.4.4.3. Dişlileri tartmada kullanılan hassas terazi teknik özellikleri	70
4.4.4.4. Yüzey pürüzlülük ölçme cihazı teknik özellikleri.....	71
5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	73
5.1. Elektronik tartı ile pinyon dişli çarktaki aşınmanın incelenmesi	73
5.1.1. 300 d/d devir, 0,5 Nm moment yükleme şartlarında pinyon helisel dişli çarkta aşınma.....	74
5.1.2. 300 d/d devir, 1 Nm moment yükleme şartlarında pinyon helisel dişli çarkta aşınma.....	75
5.1.3. 300 d/d devir, 1,5 Nm moment yükleme şartlarında pinyon helisel dişli çarkta aşınma.....	76
5.1.4. 600 d/d devir, 0,5 Nm moment yükleme şartlarında pinyon helisel dişli çarkta aşınma.....	78
5.1.5. 600 d/d devir, 1 Nm moment yükleme şartlarında pinyon helisel dişli çarkta aşınma.....	79

Sayfa

5.1.6. 600 d/d devir, 1,5 Nm moment yükleme şartlarında pinyon helisel dişli çarkta aşınma.....	80
5.1.7. 900 d/d devir, 0,5 Nm moment yükleme şartlarında pinyon helisel dişli çarkta aşınma.....	82
5.1.8. 900 d/d devir, 1 Nm moment yükleme şartlarında pinyon helisel dişli çarkta aşınma.....	83
5.1.9. 900 d/d devir, 1,5 Nm moment yükleme şartlarında pinyon helisel dişli çarkta aşınma.....	84
5.1.10. Elektronik tartı ile pinyon dişli çarktaki aşınmanın değerlendirilmesi	86
5.2. Yüzey pürüzlülük ölçümü ile helisel pinyon dişli çarktaki aşınmanın incelenmesi	91
5.2.1. 300 d/d devir, 0,5 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında pinyon helisel dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerine bağlı aşınma.....	91
5.2.2. 300 d/d devir, 1 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında pinyon helisel dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerine bağlı aşınma.....	92
5.2.3. 300 d/d devir, 1,5 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında pinyon helisel dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerine bağlı aşınma.....	93
5.2.4. 600 d/d devir, 0,5 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında pinyon helisel dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerine bağlı aşınma.....	94
5.2.5. 600 d/d devir, 1 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında pinyon helisel dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerine bağlı aşınma.....	95
5.2.6. 600 d/d devir, 1,5 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında pinyon helisel dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerine bağlı aşınma.....	96
5.2.7. 900 d/d devir, 0,5 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında pinyon helisel dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerine bağlı aşınma.....	97

Sayfa

5.2.8. 900 d/d devir, 1 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında pinyon helisel dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerine bağlı aşınma.....	98
5.2.9. 900 d/d devir, 1,5 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında pinyon helisel dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerine bağlı aşınma.....	99
5.2.10. Yüzey pürüzlülük ölçümü ile helisel pinyon dişli çarktaki aşınmanın değerlendirilmesi.....	100
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	103
KAYNAKLAR.....	105
EKLER.....	108
EK-1. Helisel dişli takımı evolvent profile dönüştürme raporu.....	109
EK-2. St 37-2 Malzemedeki İmal Çark dişlinin spektral analiz raporu ve St 37-2 Çeliği Mekanik Özellikleri.....	114
EK-3. Helis Pinyon Dişli G Kodu.....	115
EK-4. Cura 2.3.1 programında plastik pinyon dişlinin programlanması ekran görüntüsü.....	116
EK-5. PLA - ABS malzemeleri Isıl ve Mekanik Özellikleri.....	117
ÖZGEÇMİŞ	118

RESİMLER DİZİNİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Fellows imalat yöntemi kesici takımları	7
Resim 2.2. Fellows tezgahında dişli imalatı.....	7
Resim 2.3. Azdırma tezgahı ile dişli imalatında kullanılan kesici takımlar.....	8
Resim 2.4. Azdırma tezgahında dişli çark imalatı	8
Resim 2.5. Silindirik helisel dişli çark	16
Resim 2.6. Sağ ve sol helisel dişli	17
Resim 2.7. Araç hız kutusu	17
Resim 2.8. Kırılmaya maruz kalmış plastik dişli	36
Resim 2.9. Muhtelif plastik dişli çark hasarları	36
Resim 3.1. Kartezyen tipi üç boyutlu yazıcı	49
Resim 3.2. Delta tipi üç boyutlu yazıcı	50
Resim 3.3. Core xy tipi üç boyutlu yazıcı	51
Resim 3.4. Metal baskı yapan robot tipi üç boyutlu yazıcı	52
Resim 3.5. Metal tozlarını püskürterek baskı yapan üç boyutlu yazıcı	52
Resim 3.6. Metal baskı yapan üç boyutlu yazıcı	53
Resim 4.1. Test numunesi diş profili aşınması	58
Resim 4.2. Inventor Programı öncesi ve sonrası diş profilleri.....	58
Resim 4.3. Dişlilere ait bitmiş ürün resimleri	61
Resim 4.4. Solidworks programında modellenen $z = 17$, $m_s = 6$, $\beta = 15^\circ$, sağ helisel açılı pinyon dişli.....	61
Resim 4.5. $z = 22$, $m_s = 6$, $\beta = 15^\circ$, sol helisel açılı dişli çark.....	62
Resim 4.6. Dişlilerin imal edildiği üç boyutlu yazıcı.....	63

Resim	Sayfa
Resim 4.7. Würth marka devir ölçme cihazı.....	64
Resim 4.8. Deneş düzeneği yandan görünüş	65
Resim 4.9. Deneş düzeneği önden görünüş	65
Resim 4.10. Pinyon dişli yüzey pürüzlülük ölçümü	70
Resim 4.11. Dişlileri tartmada kullanılan hassas terazi	71
Resim 4.12. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazında ölçüm yapılan bölge.....	71
Resim 4.13. Ölçümlerde kullanılan yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı	72
Resim 5.1. 300 d/d devir, 0,5 Nm moment yükleme şartları helisel dişli aşınması... 75	
Resim 5.2. 300 d/d devir, 1 Nm moment yükleme şartları helisel dişli aşınması..... 76	
Resim 5.3. 300 d/d devir, 1,5 Nm moment yükleme şartları helisel dişli aşınması... 77	
Resim 5.4. 600 d/d devir, 0,5 Nm moment yükleme şartları helisel dişli aşınması... 79	
Resim 5.5. 600 d/d devir, 1 Nm moment yükleme şartları helisel dişli aşınması..... 80	
Resim 5.6. 600 d/d devir, 1,5 Nm moment yükleme şartları helisel dişli aşınması... 81	
Resim 5.7. 900 d/d devir, 0,5 Nm moment yükleme şartları helisel dişli aşınması... 83	
Resim 5.8. 900 d/d devir, 1 Nm moment yükleme şartları helisel dişli aşınması..... 84	
Resim 5.9. 900 d/d devir, 1,5 Nm moment yükleme şartları helisel dişli aşınması... 85	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Tahtadan İmal Edilmiş Dişli Mekanizmaları	1
Şekil 2.1. Dişli çarkların sınıflandırılması	5
Şekil 2.2. Dişli açma yöntemleri	9
Şekil 2.3. Genel dişli kanunu	10
Şekil 2.4. Kavrama doğrusu	11
Şekil 2.5. Yanak profili	12
Şekil 2.6. Evolventin elde edilmesi	13
Şekil 2.7. Helisel dişliler	16
Şekil 2.8. Sağ ve sol helisel dişli	18
Şekil 2.9. Eksenleri paralel helisel dişli çarklar	19
Şekil 2.10. Eksenleri dik çalışan helisel dişli çarklar	19
Şekil 2.11. Eksenleri açılı çalışan helisel dişli çarklar	20
Şekil 2.12. Helisel dişliler için düzeltme faktörü	26
Şekil 2.13. Alın faktörü Z_H	27
Şekil 2.14. Helisellik faktörü Z_β	29
Şekil 2.15. Helisel dişlilerde kuvvetlerin durumu	30
Şekil 2.16. Değişken zorlamalara maruz kalan plastiklerde; a) Gerilme ve şekil değiştirme arasındaki faz farkı, b) Histerezis	33
Şekil 2.17. Plastiklerin şekil değiştirme mekanizması	34
Şekil 2.18. Gerilme gevşemesi	35
Şekil 4.1. Aşınma Dayanımı Test Adımları	56
Şekil 4.2. Tork Yükleme Aparatı	59
Şekil 4.3. Deney Düzenegi Şematik Gösterimi	66

Şekil	Sayfa
Şekil 5.1. 300 d/d, 0,5-1-1,5 Nm moment yüklemelerine göre 5×10^4 dönme tekrarında pinyon helis dişlide meydana gelen aşınma	77
Şekil 5.2. 300 d/d, 0,5-1-1,5 Nm moment yüklemelerine göre 10×10^4 dönme tekrarında pinyon helis dişlide meydana gelen aşınma	78
Şekil 5.3. 300 d/d, 0,5-1-1,5 Nm moment yüklemelerine göre 5×10^4 dönme tekrarında pinyon helis dişlide meydana gelen aşınma	81
Şekil 5.4. 600 d/d, 0,5-1-1,5 Nm moment yüklemelerine göre 5×10^4 dönme tekrarında pinyon helis dişlide meydana gelen aşınma	82
Şekil 5.5. 900 d/d, 0,5-1-1,5 Nm moment yüklemelerine göre 5×10^4 dönme tekrarında pinyon helis dişlide meydana gelen aşınma	85
Şekil 5.6. 900 d/d, 0,5-1-1,5 Nm moment yüklemelerine göre 10×10^4 dönme tekrarında pinyon helis dişlide meydana gelen aşınma	86
Şekil 5.7. Tüm devir ve moment değerlerine göre 5×10^4 dönme tekrarına göre aşınma.....	87
Şekil 5.8. Tüm devir ve moment değerlerine göre 10×10^4 dönme tekrarına göre aşınma.....	89
Şekil 5.9. 300 d/d devir, 0,5 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında helisel pinyon dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerleri değişimi.....	92
Şekil 5.10. 300 d/d devir, 1 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında helisel pinyon dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerleri değişimi.....	93
Şekil 5.11. 300 d/d devir, 1,5 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında helisel pinyon dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerleri değişimi.....	94
Şekil 5.12. 600 d/d devir, 0,5 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında helisel pinyon dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerleri değişimi.....	95
Şekil 5.13. 600 d/d devir, 1 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında helisel pinyon dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerleri değişimi.....	96
Şekil 5.14. 600 d/d devir, 1,5 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında helisel pinyon dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerleri değişimi.....	97
Şekil 5.15. 900 d/d devir, 0,5 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında helisel pinyon dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerleri değişimi.....	98

Şekil**Sayfa**

Şekil 5.16. 900 d/d devir, 1 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında helisel pinyon dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerleri değişimi..... 99

Şekil 5.17. 900 d/d devir, 1,5 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında helisel pinyon dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerleri değişimi.....100



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Dişli çark malzemeleri	15
Çizelge 2.2. K_A çalışma faktörü değerleri.....	24
Çizelge 2.3. Helisel dişliler için düzeltme faktörü f_F	25
Çizelge 2.4. Alın faktörleri $K_{H\alpha}$ ve $K_{F\alpha}$	26
Çizelge 2.5. Elastisite faktörü Z_E	28
Çizelge 4.1. Dişlilerin imalatında kullanılan temel ölçüler	60
Çizelge 4.2. Üç boyutlu yazıcıda pinyon dişlilerin programlamasında kullanılan teknik veriler	63
Çizelge 4.3. Dişli çark yükleme ve ölçüm periyodu	68
Çizelge 5.1. Devir , moment ve dönme tekrar değerlerine göre helisel dişli çarkta aşınma	74
Çizelge 5.2. Devir , moment ve dönme tekrar değerlerine göre helisel dişli çark diş profillerinde meydana gelen yüzey pürüzlülük değişim değerleri.....	91

SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
ω	Açısal hız
φ	Evolventin içinde bulunduğu açı (radyan)
α	Basınç açısı, derece
ev_α	evolvent α
ε	Toplam kavrama oranı
<	Küçük
>	Büyük
°	Derece
\approx	Yaklaşık
m	Modül
R_m	Çekme Mukavemeti
%	Yüzde
i	Çevrim Oranı
β	Helisel Açısı
z	Diş sayısı
m_t	Alın modülü
m_n	Normal modül
P_n	Normal diş taksimatı
P_t	Alın taksimatı
α_n	Normal kavrama açısı
α_t	Alın kavrama açısı
d	Taksimat dairesi çapı
Pe_t	Alın kavrama taksimatı
Pe_n	Normal kavrama taksimatı
d_b	Temel daire çapı
d_a	Diş başı dairesi çapı
d_f	Diş dibi dairesi çapı
h	Diş yüksekliği

Simgeler**Açıklama**

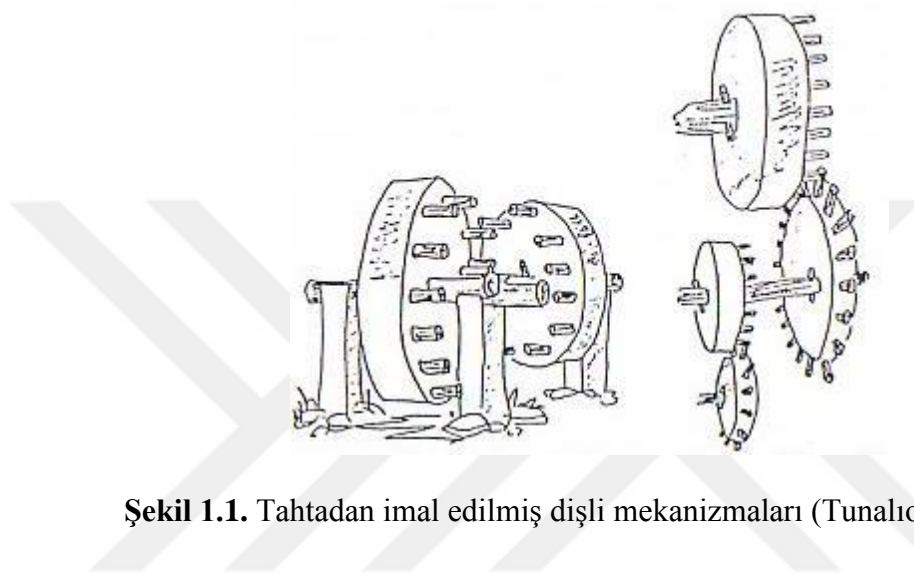
a	Eksenler arası mesafe
ε_a	Kavrama oranı
ε_b	Atlama oranı
\geq	Büyük eşit
\leq	Küçük eşit
z_n	Eş değer diş sayısı
z_{gt}	Helisel dişli sınır diş sayısı
α_{wt}	çalışma durumunda alın kesit kavrama açısı
K_A	Çalışma işletme faktörü
n	devir
ψ_d	çap - genişlik oranı
ψ_m	modül - genişlik oranı
$K_{V\alpha}$	Düz dişliler için K_v değeri
$K_{V\beta}$	Helisel dişliler için K_v değeridir.
μm	mikro metre
$^{\circ}C$	Derece santigrat

Kısaltmalar**Açıklama**

M.Ö	Milattan Önce
yy	Yüzyıl
vb	ve benzeri
FDM	Fused Deposition Modelling (Eriyik Yığıma Teknolojisi)
FZG	Forschungstelle für zahnader und Getribau (Kapalı Devre Deney Düzneği)

1. GİRİŞ

İlk dişli çark kullanımı M.Ö 330 yıllarına dayanmaktadır. Mezopotamyalılar sulama kanallarında, Romalılar un değirmenlerinde dişli çarkları kullanmışlardır. İlk dişliler tahtadan imal edilmiştir ve Şekil 1.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Tahtadan imal edilmiş dişli mekanizmaları (Tunalıoğlu, 2011)

Yapılan araştırmalar neticesinde 17. yy sonlarına doğru bilim adamları episikloid profillerin kullanımı hususunda kanaate varmışlardır. 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 tanımlanmıştır. 1840 yılında "Willis" tarafından diş üstü ve diş dibi daire çapları standartlaştırılarak, Circular Pitch yerini "Diametral Pitch" almıştır. Aynı tarihlerde evolvent profil keşfedilmiştir. 1874 senesinde "Brown & Sharpe" şirketi freze takım tezgahı üretimine başlamıştır. 1856

da "Schiele" yuvarlama metodu takımını ve 1899 yılında "Fellow" ilk kesici takımı icat etmiştir. Bu yıllarda diş dibi kesilmesi tanımlı değildi, XX. yy başlarında imalat esnasında bulunarak teorisi ilerleyen yıllarda tamamlanmıştır. Otomobil endüstrisinin XX. yy başlarında seri imalata başlaması, dişli çarklar için dönüm noktası olmuştur. 1908 yılında "Sunderland" tarafından tarak şekilli diş açma takımı, 1909 senesinde "Max MAAG" tarafından günümüz dişli açma metodu geliştirmiştir (Kutay, 2010).

Plastik dişlilerin avantajlı olan yönleri; hafif olmaları, gürültüsüz çalışmaları, seri üretime uygun olmaları, darbe ve titreşimleri sönmlemeleri ve kendinden yağlama özelliğine sahip olmalarıdır. Bunun yanında yüksek yük ve hızlarda plastik dişli çarklarda diş kırılmaları ve aşınmaların yoğun olarak görülmesi, ömürlerinin tayin edilememesi de dezavantajları arasında gelmektedir. Buna göre plastik dişlilerle çalışan mekanizmalar tasarlanırken, sisteme gelen yüklerin yüksek olması ve yüksek hızlarda çalışmaları da göz ardı edilmeyerek malzeme seçimi yapılmalıdır.

Yoğun olarak kullanılan plastik dişli malzemeleri ise; poliamid (naylon), asetal (derlin), kestamit, ABS, ABS/PC, Polikarbonat, PLA v.b gibi olarak sayılabilir. Plastik dişlilerle yapılan çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Plastik dişli imatları ise üretim potansiyeline göre talaşlı imalat, toz metalurjisi (T/M) ve plastik enjeksiyon yöntemleri ile yapılmaktadır. Talaşlı imalat yöntemi, genelde üretim adetleri az olan, ek bir kalıp maliyeti gerektirmeyen uygulamalarda kullanılır. Plastik enjeksiyon yöntemi ve toz metalurji yöntemleri ise üretim adetleri çok fazla olan kompleks parçaların imatlarında tercih edilip, kalıp, pres ve enjeksiyon makine maliyetleri çok yüksek olan, çoğu zaman montaj edilebilmeleri için ek işlem isteyen uygulamalardır.

Dişli çarkların üretimlerinin zorluğundan dolayı aşınma kriterlerinin belirlenmesi ve bu kriterler doğrultusunda çalıştırılması gerekmiştir. 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 edebilen diğer malzemeler kullanılarak kalıplaşmış imalat tekniklerine alternatif olacak şekilde makine parçaları daha ucuza mal edilebilmektedir.

Bu çalışmanın amacı; aşınma ve yüzey pürüzlülük ölçümleri yapılarak plastik dişli çarklarda meydana gelen diş profil hasarlarını incelemektir. Bu sebeple tezin ikinci bölümünde dişli çark imalat sistemleri, genel dişli kanunu, dişli çark malzemeleri, helisel dişli çarklar, helisel dişli çarklara etki eden kuvvetler, plastik dişli çarkların hasar mekanizmaları incelenmiştir. Üçüncü bölümde, üç boyutlu yazıcılar ve bu yazıcılarda kullanılan malzemeler incelenmiştir. Dördüncü bölümde ise; deney cihazı, deneylerde aşınan dişlilerin tartılmasında ve yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesinde kullanılan cihazlar, deneylerde kullanılan dişli çarklar, deney prosedürü, farklı dönme tekrarları ve tork değerleri sonunda pinyon dişli çarkın profillerinde meydana gelen aşınma miktarları deneysel olarak belirlenmiş, beşinci bölümde sonuçlar grafiklerle açıklanarak karşılaştırılmış, diş profillerinde oluşan aşınma derinliği sonuçları literatür ile karşılaştırılarak yorumlanmış ve altıncı bölümde önerilerde bulunulmuştur.

2. DIŐLİ ÇARK SİSTEMLERİ

2.1. Genel

Dişli çark mekanizmaları, bir milden diğer bir mile güç - Şekil bağına göre hareket ederek, güç aktarma görevini yerine getiren makine parçalarıdır. Bu iletim esnasında ayrıca devir sayısını küçültüp büyümekte ve momenti de deđiŐtirerek iletmektedirler. Dişli çark mekanizmaları biri döndüren diğerisi ise döndürülen olmak üzere en az iki dişli çarktan oluşurlar. Bu iki diŐlili çiftinden küçük olanına pinyon, büyük olanına ise çark adı verilmektedir.

2.2. Dişli Çarkların Gruplanması

Dişlileri üzerinde bulunduran milin konumuna ve dişlilerin Őekillerine göre dişli çarklar ve mekanizmaları aşağıdaki verildiği üzere 3 gruba ayrılmaktadır.

2.2.1. Alın dişli çarklar

Bu dişlilerde mil eksenleri birbirine paralel olup, bu iki mil arasında güç ve hareket iletilmektedir. Dişlilerde, dişlerin yönü çark eksenine paralel ise bu dişlilere düz dişli, eğik durumda ise bu dişlilere Helisel dişli adı verilmektedir. Pinyon dişli çarkın içinde yuvarlanma yolu ile çalışıyorsa bu dişlilere iç dişli çarklar adı verilir. Dişli çarkın yarıçapı sonsuz olarak düzlendiğinde çubuk Őekline bir dişli oluşmakta olup bu dişli kramayer dişli olarak adlandırılır (Rende, 1997).

2.2.2. Konik dişli çarklar

Bu dişli gruplarının eksenleri aynı düzlemededir ancak kesişen miller üzerinde çalışırlar. Dişli formları düz, Helisel ve eğrisel olabilir. Dişlilerin et kalınlığı formundaki uzunluğu ile dişli çark eksenleri arası açı 90°'dir (Rende, 1997).

2.2.3. Yuvarlanmalı ve kaymalı dişli çarklar

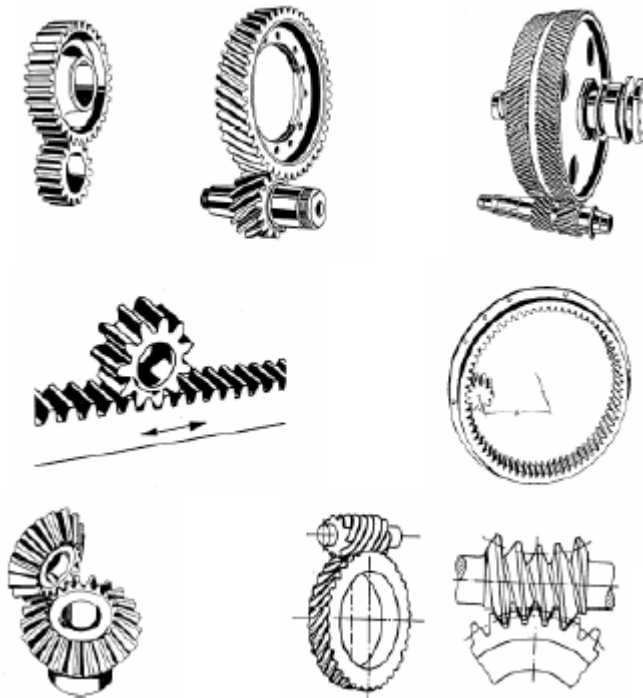
Bu grup dişli çarklar iki grupta tanımlanmaktadır. Birinci grup spiral dişli çarklar, ikincisi ise hipoid dişli çarklar olarak tanımlanmaktadır (Rende, 1997).

2.2.3.1. Spiral dişli çarklar

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

2.2.3.2. Hipoid konik dişliler

Bu dişliler eksenleri aynı düzlemde olmayıp kesişmeyen dişli çarklardır (Rende, 1997).



Şekil 2.1. Dişli çarkların sınıflandırılması (Kutay, 2010)

2.3. Dişli Çarkların İmalat Yöntemleri

Dişli çarklar büyüklüğüne, malzemesine ve kullanılacağı yere değişik imalat yöntemleri ile imal edilirler. Genel imalat yöntemleri talaş kaldırılarak veya talaş kaldırmadan yapılan imalatlardır.

2.3.1. Talaşsız dişli çark imalatı

Kaba, kompleks ve büyük çarkların imalatında döküm prosesinden yararlanılır. Bir döküm tekniği olan kokil kalıba döküm yöntemi ile alüminyum, magnezyum veya plastik malzemeler basınçla kalıba basılarak dişli çark imalatı yapılır. Ayrıca metal tozlar yüksek basınçla ve ısıda sinterlenerek dişli çark imalatı da yapılmaktadır (Nogay, 2010).

2.3.2. Talaş kaldırılarak dişli çark imalatı

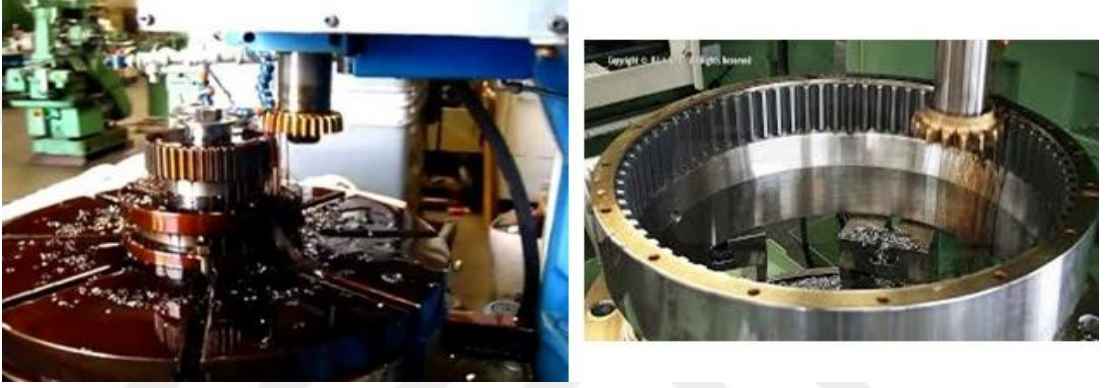
Diğer bir dişli imalat yöntemi ise talaş kaldırılarak mekanize yöntemlerle yapılan imalat tekniğidir. Bu yöntemde çeşitli imalat teknikleri makine sektöründe yer edinmiş olup, hassas imalatlar teknolojinin gelişmesi ile sanayide kendisine yer edinmiştir. Evolvent dişli çarkların imalatında daha ziyade form freze ile dişi açan kesici takımın profili, imalatı yapılacak dişlinin diş profilinin aynısıdır. Genelde freze çakıları disk veya parmak freze şeklindedir. Talaş kaldırılarak yapılan dişli imalat yöntemleri aşağıda maddeler halinde tanımlanmıştır.

2.3.2.1. Dişli planya (Fellows) yöntemi

Bu yöntemde imalatı yapılacak dişli çark makine tablası üzerinde tabla ile beraber kendi ekseni etrafında dönmekte kesici takım da kendi ekseni etrafında dönerek ve yukarı - aşağı kesme hareketi yaparak imalat gerçekleştirilmektedir. Resim 2.1.'de Fellows imalat yöntemi kesici takımları, Resim 2.2.'de ise Fellows tezgahında yapılan dişi çark imalatı verilmiştir.



Resim 2.1. Fellows imalat yöntemi kesici takımları



Resim 2.2. Fellows tezgahında dişli imalatı

2.3.2.2. Kremayer diş açma yöntemi

Bu yöntemde dişli çark kendi eksenini etrafında dönme hareketi yapmakta, kremayer takım ise yukarı - aşağı kesme hareketi yaparak dişli imalatı yapılmaktadır.

2.3.2.3. Yuvarlanma yöntemi ile diş açma yöntemi

Bu yöntemde kremayer dişli şeklindeki referans takımın orta doğrusu, yuvarlanma doğrusu, imal edilecek dişli çarkın yuvarlanma dairesi üzerinde yuvarlanarak imalat gerçekleştirilir.

2.3.2.4. Azdırma yöntemi ile dişli açma

Bu yöntemde imalatı yapılacak dişli çark makine tablası üzerinde tabla ile beraber kendi eksenini etrafında dönme hareketi yapmakta, kesici takım da yine kendi eksenini

etrafında dönerek aşağı ve yukarı hareket yaparak dişi açma işlemi gerçekleştirilir. Resim 2.3.'de Azdırma Tezgahı ile dişli imalatında kullanılan kesici takımlar, Resim 2.4.'de ise Azdırma tezgahında dişli çark imalatı gösterilmiştir.

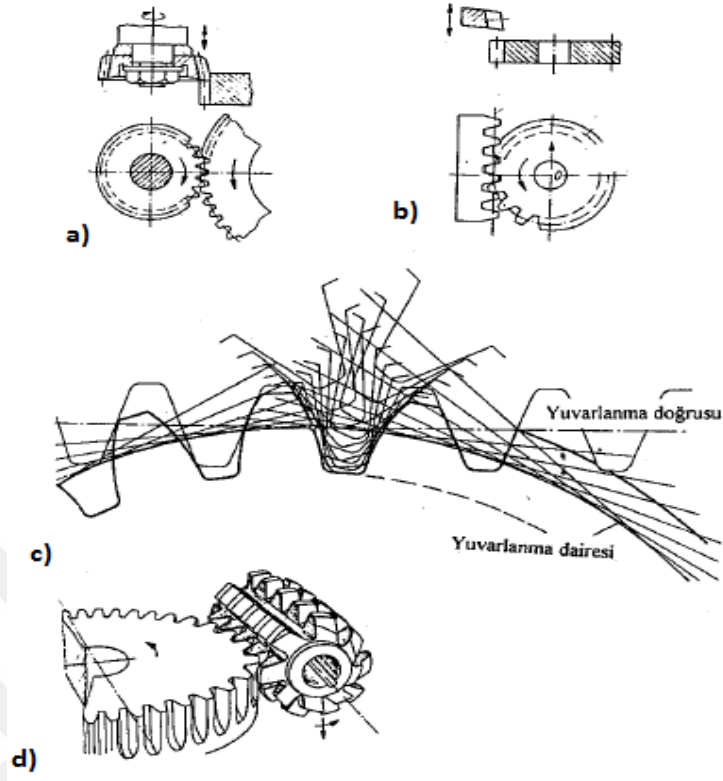


Resim 2.3. Azdırma tezgahı ile dişli imalatında kullanılan kesici takımlar



Resim 2.4. Azdırma tezgahında dişli çark imalatı

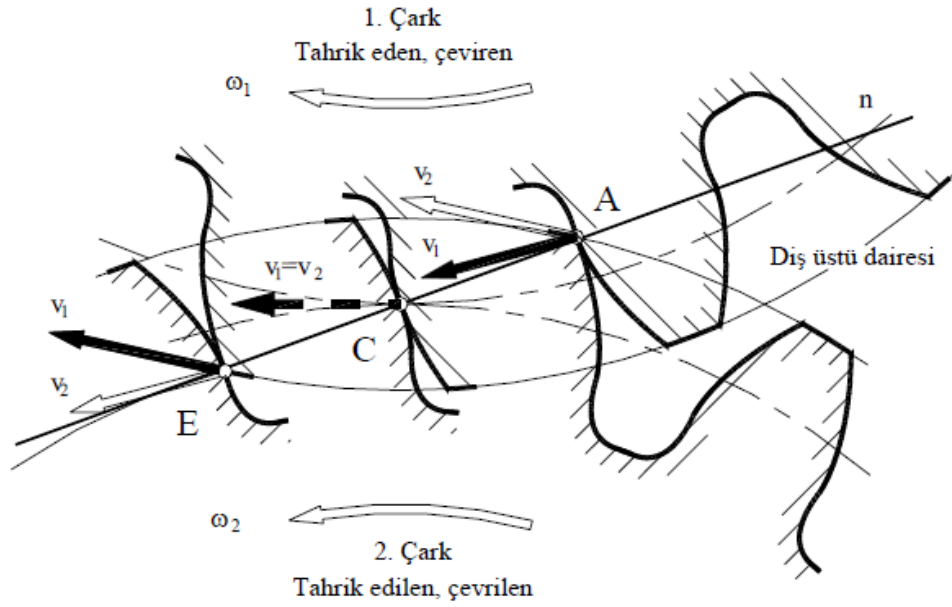
Dişli Açma Yöntemleri Şekil 2.2.'de (a) Dişli Planya (Fellows Yöntemi) ile diş açma, (b) Kremayer diş açma, (c) Yuvarlanma yöntemi ile diş açma, (d) Azdırma yöntemi ile diş açma yöntemleri gösterilmiştir (Rende, 1997).



Şekil 2.2. Dişli açma yöntemleri (Rende, 1997)

2.4. 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 dişiliyi birbiri ile çalıştırırsak diş profillerinde ya ezilmeler oluşacak veya birbirinden ayrılacaklardır. Bazen çok güçlükle 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 açılmal hızlarının (ω_1 ve ω_2) her durumda eşit ve sabit olması gerekmektedir (Şekil 2.3.) (Kutay, 2010).



A noktası ≡ Temasin başlangıcı.
 C noktası ≡ yuvarlanma noktası.
 E noktası ≡ Temasin sonu.

Şekil 2.3. 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;

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{V_1/R_1}{V_2/R_2} = \frac{V_1}{R_1} \cdot \frac{R_2}{V_2} \quad (2.1)$$

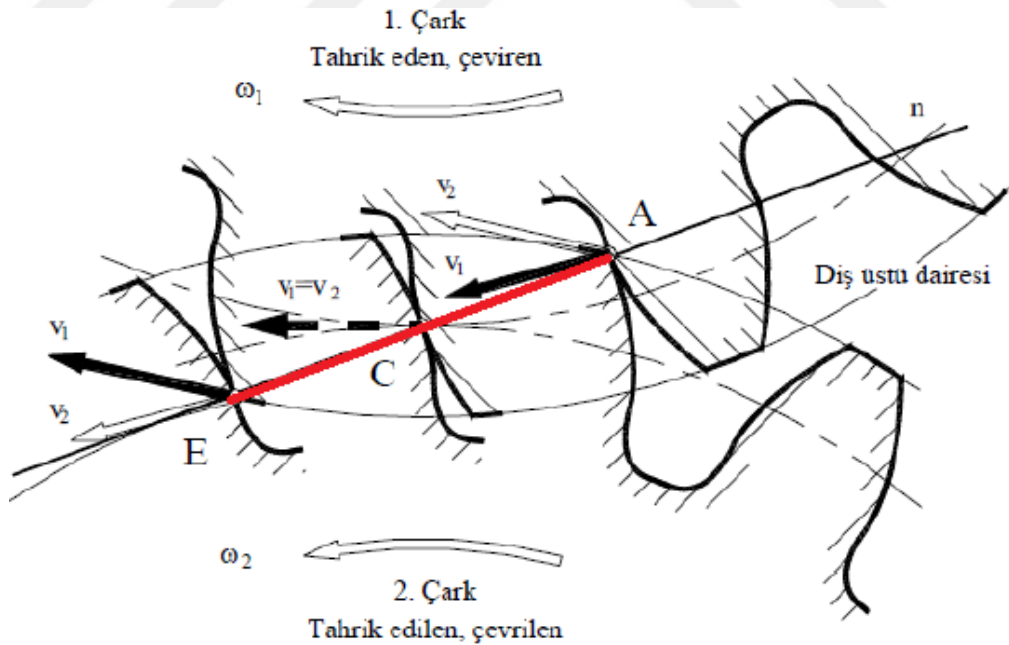
Temas yalnız C noktasında olursa; $V_1 = V_2$ olur.

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{d_2}{d_1} \quad (2.2)$$

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

2.5. Kavrama Doğrusu

Şekil 2.4.'de görüldüğü üzere bir dişlinin kavramaya girdiği A noktasından başlayarak C noktasından geçerek kavramanın bitiş E 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 AE doğrusu kavrama doğrusudur ve kırmızı ile işaretlenmiştir. 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 (Kutay, 2010). Kavrama oranı daima 1'den büyük olmalıdır.

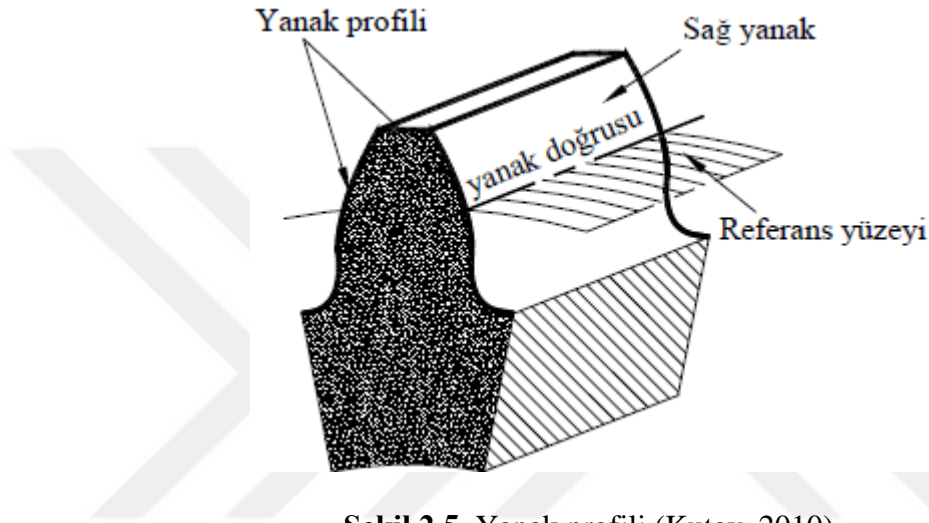


- A noktası ≡ Temasın başlangıcı.
- C noktası ≡ yuvarlanma noktası.
- E noktası ≡ Temasın sonu.

Şekil 2.4. Kavrama doğrusu (Kutay, 2010)

2.6. 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 2.5.) (Kutay, 2010).



Şekil 2.5. Yanak profili (Kutay, 2010)

2.6.1. Evolvent Profil

Evolvent eğrisi, r_b yarıçapında bir silindirin teğet bir şekilde üzerinde duran C noktasının, doğrunun kaydırılmadan silindir üzerinde yuvarlanması ile çizdiği eğriye evolvent denir, evolventin elde edilmesi Şekil 2.6.'de gösterilmiştir. Günümüzde makine sektöründe imal edilen dişlilerin büyük çoğunluğu evolvent profillidir. Evolvent dişlilerde dişli yanak yüzeyleri evolvent, kavrama çizgileri ise doğrusaldır. Evolvent dişli çarkların avantajları ve dezavantajları altta maddeler halinde verilmiştir (Rende, 1997).

sağlam olmazsa çalışma esnasında büyük problemlerle karşılaşılması kaçınılmaz olacaktır. Malzeme seçimi yaparken bazı kriterleri mutlaka dikkate almamız gerekmektedir. Bu kriterlerden en önemli olanı malzemenin mekanik özellikleri olmak üzere diğerleri ise fiziksel, elektriksel özellikler, korozyon dayanımı, çevre dostu olması ve ekonomik olmasıdır. İdeal bir dizayn yapmak istiyorsak bütün bu maddeleri detaylı olarak değerlendirmeliyiz.

Mekanik özelliğin en önemli kriter olduğunun tekrar üzerine çizerek, mekanik özelliğe direk etkisi olan akma dayanımı, çekme dayanımı, yorulma dayanımı ve sertlik gelmektedir. Dişli çarklar sürekli olarak basınca maruz kaldıkları için malzemenin sünek ve tok olması gerekir. Dişli çarkların kırılmaması ve yükü iletmesi gerekir. Yumuşak malzeme seçilmesinde ise dişliler çabuk aşınır ve zamanla kullanılamaz hale gelirler. Eğer yumuşak halde malzeme kullanılacak ise bu malzeme mutlaka ısıl işleme tabi tutulmalıdır. Küçük dişliler çarklara göre daha fazla zorlanmaya maruz kaldıkları için daha mukavim malzemelerden imal edilmelidirler. Seçilen malzemenin ayrıca korozyona karşı direnci ne kadar yüksek olursa malzemenin dayanımı artar ve daha az deformasyona uğrar.

Küçük cihazlar, aletler, ev aletleri gibi düşük yük taşıyan ve ileten cihazlar Al, Zn ve Cu alaşımlarından, polyamid ve teflon gibi plastik malzemelerden imal edilirler.

Taşıt tekniğinde kullanılan dişliler ile üniversal dişli kutularında kullanılan dişliler ıslah ve sementasyon çeliklerinden imal edilirler. Vapur redüktör dişlileri ve daha büyük redüktör dişlileri nitrülenmiş ıslah çeliğinden veya sementasyon çeliğinden imal edilirler. Sertleştirilen dişlilerin yanakları mutlaka taşlanır. Dişli çark imalatında kullanılan bazı malzemeler Çizelge 2.1.'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Dişli çark malzemeleri (Rende, 1997)

MALZEME CİNSİ	DIN	SİMGESİ	SERTLİK	σ_{flim} [N/mm ²]	σ_{Hlim} [N/mm ²]
Lamel grafitli dökme demir	1691	GG-20 GG-25	180 HB 220 HB	40 55	300 330
Temper döküm	1692	GTS-35 GTS-65	150 HB 220 HB	130 155	350 440
Küresel grafitli döküm	1693	GGG-40 GGG-60 GGG-100	180 HB 250 HB 350 HB	140 – 190 165 – 220 260	390-470 490-570 700
Çelik döküm	1681	GS-52.1 GS-60.1	160 HB 180 HB	110 120	280 310
Yapı çelikleri	17100	St37 St50 St60 St70	120 HB 160 HB 190 HB 210 HB	125 140 150 200	320 360 380 450
Islah çelikleri	17200	Ck 45 N 34CrMo4 V 42CrMo4 V 34CrNiMo4 V 30CrNiMo8 V 34NiCrMo12.8V	190 HB 270 HB 300 HB 310 HB 320 HB 350 HB	155 – 200 220 – 290 225 – 310 225 – 315 230 – 320 240 – 325	470 – 530 630 – 710 680 – 760 680 – 770 700 – 780 750 – 830
Endüksiyon veya alevle sertleştirilmiş islah çelikleri		Ck45 34CrMo4 42CrMo4 34CrNiMo6	50 – 55 HRC	Diş dibi sertleştirilmiş 220 – 370 Serleştirilmemiş 140 – 200	1000 - 1230
Islah ve sementasyon çelikleri, gaz ortamında nitrülenmiş		42CrMo4 V Rm > 800 N/mm ² 16MnCr5 V Rm > 700 N/mm ²	48 – 55 HRC	300 – 370	780 – 1000
Nitrür çeliği		31CrMoV9 V Rm > 900 N/mm ² 14CrMoV6,9 V Rm > N/mm ²	60 – 63 HRC	270 – 420	1000 - 1100
Sementasyon çelikleri	17210	16MnCr5 15CrNi6 17CrNiMo6	58 – 62 HRC	315 – 500	1300 - 1500

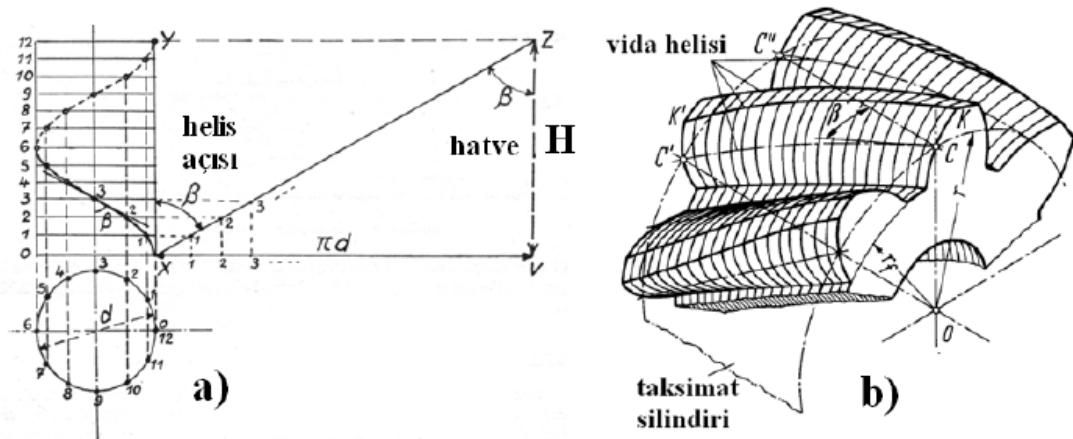
2.8. Helisel Dişli Çarklar

Helisel dişliler, eksenleri birbirine yakın paralel, dik veya herhangi bir açıda bir milden diğer mile hareket ve kuvveti iletmede kullanılan bir dişli çark türü ve makine parçasıdır. Resim 2.5.'de bazı helisel dişli çarklara örnek verilmiştir.



Resim 2.5. Silindirik helisel dişli çark (Duman, 2015)

Helisel dişli çark üzerinde çok sayıda Helisel ince düz dişlinin vida heliselinde (CC') kaydırılması ile meydana geldiği düşünülebilir (Şekil 2.15.) (Fetvacı, 2016).



Şekil 2.7. Helisel dişliler (Fetvacı, 2016)

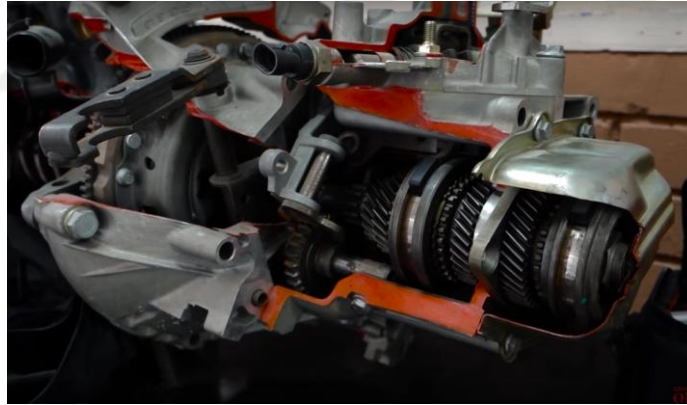
Helisel dişliler sessiz çalışma ve mukavemet açısından düz dişlilerden daha avantajlıdır. Birbiri ile çalışan her iki dişlinin β helisel açıları eşit olmalıdır. Dıştan

temaslı dişli çarklarda dişlilerin helisel açıları bir birine ters yönde olmalıdır, yani birisi sağ helisel açısına sahipken diğeri ise sol helisel açısına sahip olmalıdır (Resim 2.6.) (Duman, 2015).



Resim 2.6. Sağ ve sol helisel dişli (Duman, 2015)

Helisel dişli çarklar genelde araçların vites kutularında, diferansiyel kutularında, tezgah hız kutularında kullanılmaktadır (Resim 2.7.).



Resim 2.7. Araç hız kutusu

Helisel dişlilerin düz dişlilere avantajları olduğu gibi dezavantajları da vardır ki şu şekilde sıralanabilir.

Avantajları

- Helisel dişliler daha sessiz çalışırlar. Sebebi ise aynı anda birden fazla dişlinin kavramada olmasıdır. Bu şekilde kavrama oranları daha da büyüktür.

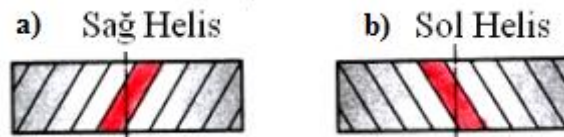
- Helisel dişliler büyük devirleri daha iyi iletirler.
- Aynı ebatlarda düz dişliden daha büyük yükler taşırlar.
- Dişli formlarındaki hatalara karşı hassas değildirler.

Dezavantajları

- Helisel açısı nedeniyle yük esnasında aksenal yönde mil ve yataklara kuvvet etki eder.
- Dişlilerde sürtünme daha büyüktür.
- Helisel dişli çark mekanizmalarının verimlilikleri düz dişli mekanizmalarına göre % 1 – 2 oranında daha azdır.
- Çark çapları ve eksen mesafesi, helisel açısı büyüdükçe artar.

Eksen yönündeki kuvvet ve dişlinin düzgün çalışması açısından tek veya çift helisel dişlilerde helisel açısı $\beta = 8 \dots 20^\circ$, ok (çavuş) dişlilerde $\beta = 30 \dots 45^\circ$ arasında olması tavsiye edilir (Rende, 1997). Helisel açısı β pratikte genelde $10^\circ - 30^\circ$ arasında seçilir. $\beta < 10^\circ$ olursa, helisel dişlinin avantajlarından faydalanamayız, $\beta > 30^\circ$ olursa aksenal kuvvet çok büyür (Nogay, 2010).

Silindirik Helisel dişli çarkların sağ helisel mi, yoksa sol helisel mi olduğunu anlamak için dişli çark delik eksenini yukarı bakacak şekilde düz bir tablaya yatırılır, bu durumda dişler sağa yükseliyor ise sağ, sola yükseliyor ise sol helisel dişlidir. Sağ ve sol helisel dişli şematik olarak Şekil 2.16.'de verilmiştir.

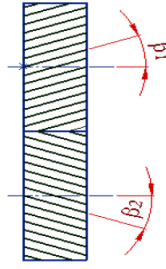


Şekil 2.8. Sağ ve sol helisel dişli (Nogay, 2010)

Helisel dişli çarklar kendilerini taşıyan millerin konumuna göre paralel eksenli, dik eksenli ve eksenleri açılı miller olmak üzere üç grup altında toplanabilirler.

2.9. Eksenleri Paralel Miller Üzerinde Çalışan Helisel Dişli Çarklar

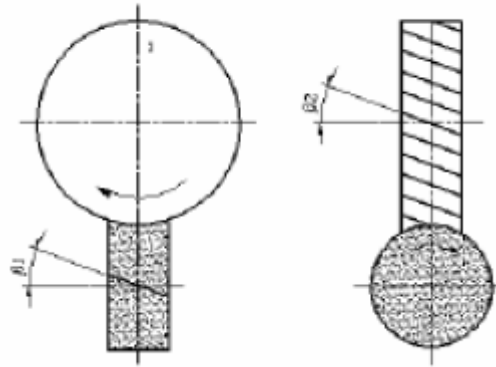
Dişlilerin ayar açıları ($\beta_1 = \beta_2$)'dir. Helisel yönleri ise biri sağ, biri ise sol olmak üzere birbirine terstir. Helisel ayar açısı (β) 20° den büyük olmamalıdır (Şekil 2.17.) (Duman, 2015).



Şekil 2.9. Eksenleri paralel helisel dişli çarklar (Duman, 2015)

2.10. Eksenleri Dik Miller Üzerinde Çalışan Helisel Dişli Çarklar

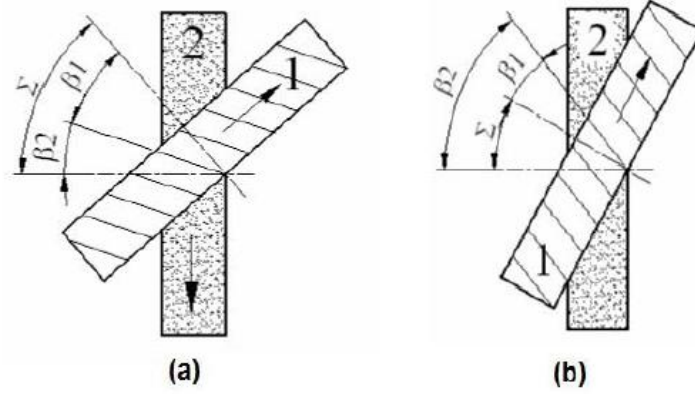
Dişlilerin ayar açıları toplamı $\beta_1 + \beta_2 = 90^\circ$ 'dir. Dişli helisel yönleri aynıdır. Dişliler çalışma esnasında birbirlerine sürtündükleri ve yuvarlandıkları için fazla derecede aşınırlar. Hareket iletmede kullanılmaları daha sağlıklıdır (Şekil 2.10.) (Duman, 2015).



Şekil 2.10. Eksenleri dik çalışan helisel dişli çarklar (Duman, 2015)

2.11. Eksenleri Açılı (Σ) Miller Üzerinde Çalışan Helisel Dişli Çarklar

$\beta_1 < \Sigma < \beta_2$ ise, $\beta_1 + \beta_2 = \Sigma$ olur ve heliseller aynı yönlüdür, $\Sigma < \beta_1 < \beta_2$ ise, $\beta_1 - \beta_2 = \Sigma$ olur ve heliseller ters yönlüdür (Şekil 2.11.) (Duman, 2015).



Şekil 2.11. Eksenleri açılı çalışan helisel dişli çarklar (Duman, 2015)

2.12. Helisel Dişli Çark Elemanlarının Hesaplanmasında Kullanılan Formüller

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

$$\text{Alın Modülü; } m_t = m_n/\cos \beta \quad (2.4)$$

$$\text{Normal diş taksimatı; } P_n = m_n \cdot \pi \quad (2.5)$$

$$\text{Alın taksimatı; } P_t = m_t \cdot \pi \quad (2.6)$$

Normal kavrama açısı α_n ve Alın kavrama açısı α_t :

$$\alpha_t > \alpha_n = 20^\circ$$

$$\cos \beta = \tan \alpha_n / \tan \alpha_t \quad (2.7)$$

$$\text{Taksimat dairesi çapı; } d = z \cdot m_t = (z \cdot m_n) / \cos \beta \quad (2.8)$$

Alın kavrama taksimatı; $P_{e_t} = P_t \cdot \cos \alpha_t$ (2.9)

Normal kavrama taksimatı; $P_{e_n} = P_n \cdot \cos \alpha_n$ (2.10)

Temel daire çapı; $d_b = d \cdot \cos \alpha_t$ (2.11)

Diş başı dairesi çapı; $d_a = d + 2h_a = d + 2m_n$ (2.12)

Diş dibi dairesi çapı; $d_f = d - 2h_f = d - 2m_n$ (2.13)

Diş yüksekliği; $h = h_a + h_f = 2,25 \cdot m_n$ (2.14)

Sıfır - eksenler arası mesafe;

$$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{(z_1 + z_2) \cdot m_t}{2} = \frac{z_1 + z_2}{2} \cdot \frac{m_n}{\cos \beta} \quad (2.15)$$

Kavrama oranı;

$$\mathcal{E}_a = \frac{\left(\sqrt{d_{a1}^2 - d_{b1}^2} + \sqrt{d_{a2}^2 - d_{b2}^2} \right) - a_d \cdot \sin \alpha_t}{2 \cdot \pi \cdot m_t \cdot \cos \alpha_t} \quad (2.16)$$

Atlama oranı; $\mathcal{E}_b = \frac{b \cdot \tan \beta}{P_t} = \frac{b \cdot \sin \beta}{\pi \cdot m_n} \geq 1$ (2.17)

Toplam kavrama oranı; $\mathcal{E} = \mathcal{E}_a + \mathcal{E}_b$

Kavramaya Giriş Boyu; $e_1 = \left(\sqrt{d_{a1}^2 + d_{b1}^2} \right) / 2 - (d_1 \cdot \sin \alpha) / 2$ (2.18)

Kavramadan Çıkış Boyu; $e_2 = (d_2 \cdot \sin \alpha) / 2 - \left(\sqrt{d_{a2}^2 + d_{b2}^2} \right) / 2$ (2.19)

2.12.1. Profil kaydırmalı Helisel dişlilerde önemli büyüklükler

$$\text{Eşdeğer diş sayısı; } Z_n = \frac{d_n}{m_n} = \frac{d}{\cos^2 \beta_b \cdot m_n} \approx \frac{z}{\cos^2 \beta} \quad (2.20)$$

$$\text{Helisel dişliler için sınır diş sayısı; } Z_{gt} = 14 \cdot \cos^2 \beta \quad (2.21)$$

$$\text{Minimum profil kaydırma faktörü; } x = (14 - Z_n)/17 \quad (2.22)$$

Eksenler arası mesafe;

$$a = \frac{d_{w1} + d_{w2}}{2} = \frac{d_1 + d_2}{2} \cdot \frac{\cos \alpha_t}{\cos \alpha_{w1}} = a_d \frac{\cos \alpha_t}{\cos \alpha_{wt}} \quad (2.23)$$

d_{w1} ve d_{w2} çalışma durumunda yuvarlanma dairesi çapları

α_t = Alın kavrama açısı

α_{wt} = Çalışma durumunda alın kesit kavrama açısı

Çalışma durumunda kavrama açısı;

$$\text{inv } \alpha_{wt} = 2 \cdot \frac{x_1 + x_2}{z_1 + z_2} \cdot \tan \alpha_n + \text{inv } \alpha_t \quad (2.24)$$

$$\cos w_t = \frac{z_1 + z_2}{2a} \cdot \frac{m_n}{\cos \beta} \cdot \cos \alpha_t \quad (2.25)$$

Toplam profil kaydırma faktörleri;

$$(x_1 + x_2) = (z_1 + z_2) \cdot \frac{\text{inv } \alpha_{wt} - \text{inv } \alpha_t}{2 \cdot \tan \alpha_n} \quad (2.26)$$

2.13. Helisel Dişli Çarkların Yük Taşıma Kabiliyeti

Helisel evolvent ($\alpha = 20^\circ$) dişliler için taşıma kabiliyeti hesap yöntemi DIN 3990 normunda bölüm 1'den 3'e kadar yapılmıştır. Bu şekilde sanayi dişli kutularında taşıma kabiliyeti hesapları yapılabilmektedir. Diş yan yüzey taşıma kabiliyeti hesabı birbiriyle çalışan iki silindir arasında meydana gelen yüzey basıncından yararlanılarak Hertz'e göre hesaplamalar yapılır. Yuvarlanma noktasındaki pinyon dişli ve çark için diş an yüzey gerilmesi (Rende, 1997);

$$\sigma_H = \sigma_{H0} \cdot \sqrt{K_A \cdot K_V \cdot K_{H\beta} \cdot K_{H\alpha}} \leq \sigma_{Hp} \quad (2.27)$$

2.13.1. K_A - çalışma faktörü:

K_A yaklaşık değerleri, Çizelge 2.2. K_A çalışma faktörü üzerinden okunur (Rende, 1997).

Çizelge 2.2. K_A çalışma faktörü değerleri (Rende, 1997)

İŞLEME TARZI	TAHRİK ŞEKLİ		
	Sabit Elektrik Motoru, Buhar Türbini, Hidrolik Motor	Hafif Darbeli Çok Silindirli Yanmalı Motor	Orta Darbeli Tek Silindirli Yanmalı Motor
Darbesiz jeneratörler, Bantlı konveyörler, levhalı bantlar, taşıma helezonları, hafif asansörler, elektrikli trenler, takım tezgahlarının kızakları, aspiratörler, turbo kompresörler, sabit yoğunluklar için karıştırıcı ve yoğurucular, maksimum kesme momenti oluşturan presler.	1,0 (1,25)	1,25 (1,50)	1,5 (1,75)
Orta derecede darbeli takım tezgahlarının ana motorları, ağır yük asansörleri, vinçlerin döndürücüleri, maden ocaklarının aspiratörleri, yoğunluğu değişik maddeler için karıştırıcı ve yoğurucular, çok silindirli pistonlu pompalar, pompalar	1,25 (1,50)	1,5 (1,75)	1,75 (2,0)
Kuvvetli darbeliler için örneğin presler, makaslar, kauçuk yoğurucular, haddehane ve döküm makineleri, dozerler, ağır santrifüjler, ağır büyük dağıtım pompaları, sondaj makineleri, briket presleri	1,75 (2,0)	2,0 ve üzeri (2,25)	2,25 ve üzeri (2,5)

2.13.2. K_V - dinamik faktörü:

Dişlilerde meydana gelen titremeden dolayı ortaya çıkan ek kuvvetler K_V Dinamik faktörü vasıtasıyla dikkate alınır. Düz dişliler için;

$$K_V = f_F \cdot (K_{350} \cdot N) + 1 \quad (2.28)$$

Helisel dişliler için $\epsilon_\beta \leq 1$ durumunda (2.28) formülü geçerlidir. f_F değerleri için Çizelge 2.3.'den ve ($K_{350} \cdot N$) Şekil 2.12.'den alınır. $\epsilon_\beta \geq 1$ olması durumunda ise,

$K_V = K_{V\alpha} - \epsilon_\beta \cdot (K_{V\alpha} - K_{V\beta})$ denklemi geçerlidir.

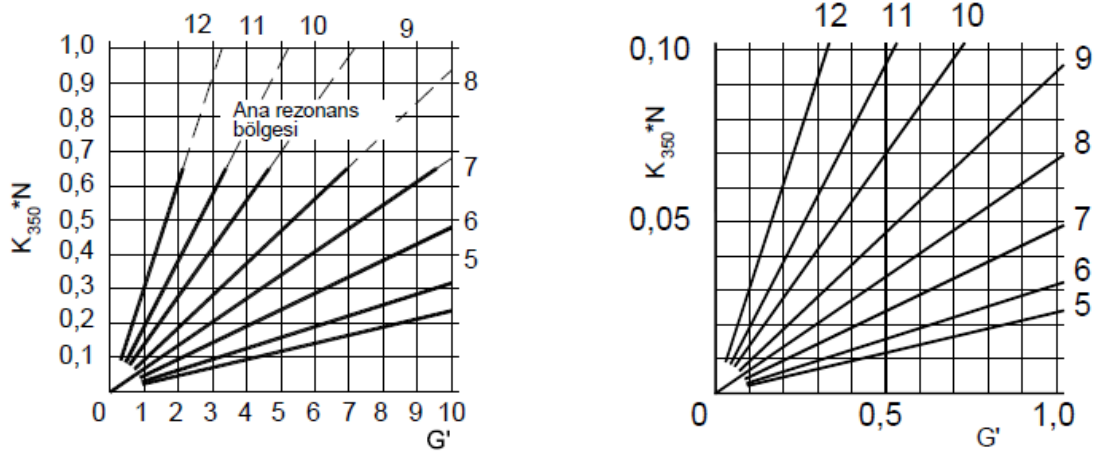
$K_{V\alpha}$ = Düz dişliler için K_V değeri

$K_{V\beta}$ = Helisel dişliler için K_V değeridir (Rende,1997).

Çizelge 2.3. Helisel dişliler için düzeltme faktörü f_F (Rende, 1997)

Dişli Kalitesi	$K_A \cdot F_t/b$ (N/mm)							
	≤ 100	200	350	500	800	1200	1500	2000
3	1,96	1,29	1,0	0,88	0,78	0,73	0,70	0,58
4	2,21	1,36	1,0	0,85	0,73	0,66	0,62	0,60
5	2,56	1,47	1,0	0,81	0,65	0,56	0,52	0,48
6	2,82	1,55	1,0	0,78	0,59	0,48	0,44	0,39
7	3,03	1,61	1,0	0,76	0,54	0,42	0,37	0,33
8	3,19	1,66	1,0	0,74	0,51	0,38	0,33	0,28
9	3,27	1,68	1,0	0,73	0,49	0,36	0,30	0,25
10	3,35	1,70	1,0	0,72	0,47	0,33	0,28	0,22
11	3,39	1,72	1,0	0,71	0,46	0,32	0,27	0,21
12	3,43	1,73	1,0	0,71	0,45	0,31	0,25	0,20

Ara değerlerde lineer enterpolasyon yapılır. DIN 3962 bölüm 1'den bölüm 3'e kadar



Şekil 2.12. Helisel dişliler için düzeltme faktörü (Kutay, 2010)

2.13.3. Alın faktörleri:

$K_{H\alpha}$ = diş yan yüzey basıncı alın faktörüdür. $K_{F\alpha}$ = diş dibi gerilmesi alın faktörüdür. $K_{H\alpha}$ ve $K_{F\alpha}$ değerleri Çizelge 2.4. üzerinden okunur (Kutay, 2010).

Çizelge 2.4. Alın faktörleri $K_{H\alpha}$ ve $K_{F\alpha}$ (Kutay, 2010)

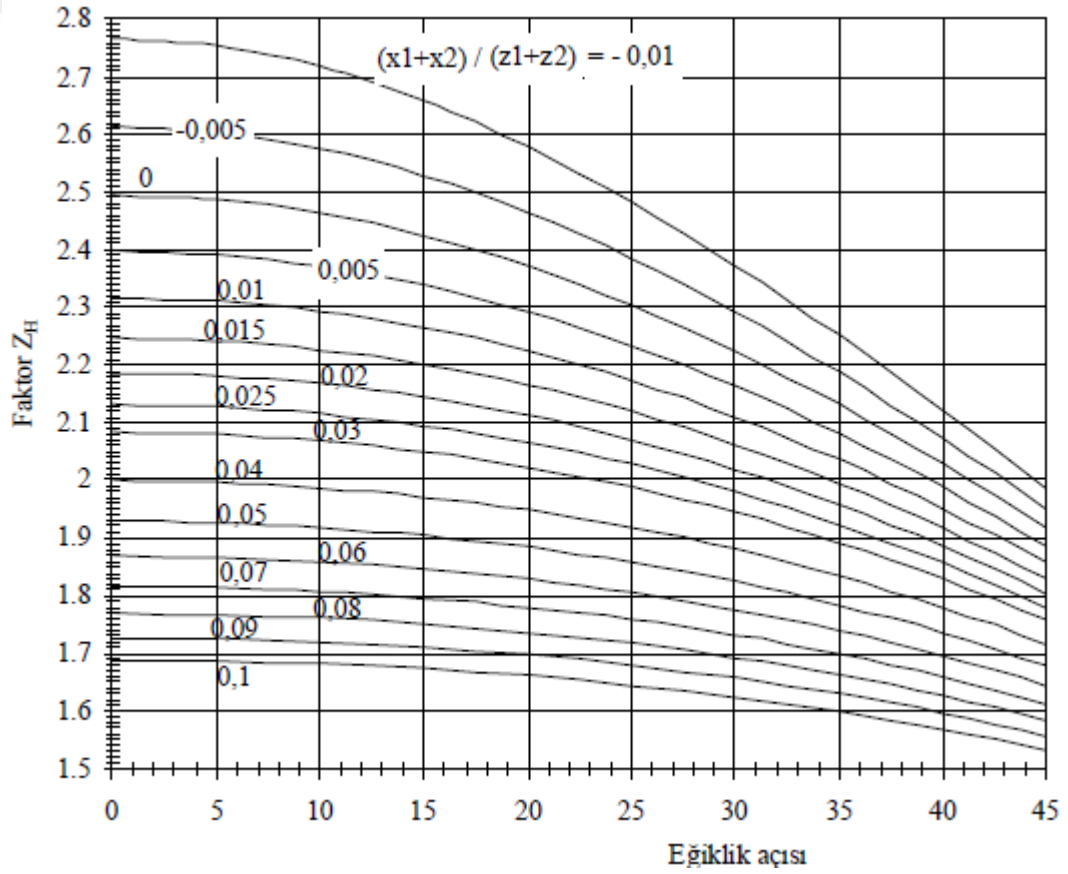
Dişli kalitesi DIN 3962			Çizgisel yük ($K_A F_t / b$) in N/mm						<100N/mm 6 ... 12
			≥ 100 N/mm						
			6	7	8	9	10	11	12
1)*	Düz dişli	$K_{F\alpha}$	1,0		1,1	1,2	1 / $Y_e \geq 1,2$		3)*
		$K_{H\alpha}$	1,0		1,1	1,2	1 / $Z_e^2 \geq 1,2$		3)*
2)*	Helis dişli	$K_{F\alpha}$	1,0	1,1	1,2	1,4	$\epsilon_{an} = \epsilon_\alpha / \cos^2 \beta_b \geq 1,4$		3)*
		$K_{H\alpha}$	1,0	1,1	1,2	1,4	3)*		
2)*	Düz dişli	$K_{F\alpha}$	1,0		1,1	1,2	1 / $Y_e \geq 1,2$		3)*
		$K_{H\alpha}$	1,0		1,1	1,2	1 / $Z_e^2 \geq 1,2$		3)*
2)*	Helis dişli	$K_{F\alpha}$	1,0	1,1	1,2	1,4	3)*		
		$K_{H\alpha}$	1,0	1,1	1,2	1,4	$\epsilon_{an} = \epsilon_\alpha / \cos^2 \beta_b \geq 1,4$		

- 1)* Sementle ve çevresel sertleştirilmiş veya nitrasyonla sertleştirilmiş dişliler.
- 2)* Sertleştirilmemiş, normal malzemeye ayrıca hiçbir şekilde müdahale edilmemiş dişliler.
- 3)* Faktör verilen formül ile hesaplanır. Elde edilen değer eşitlikte verilen değerden küçük çıksada, eşitlikte verilen değer alınır.

σ_{H0} = Hatasız bir dişlideki, statik nominal moment uygulanması durumunda, yuvarlanma noktasındaki nominal diş yan yüzey basıncıdır.

$$\sigma_{H0} = Z_H \cdot Z_E \cdot Z_\epsilon \cdot Z_\beta \cdot \sqrt{\frac{Ft}{d1 \cdot b} \cdot \frac{u+1}{u}} \quad (2.29)$$

Z_H Alın faktörü Şekil 2.13.'den okunur (Kutay, 2010). Z_E = Elastisite Modülü olup, $Z_E = \sqrt{(0,175 \cdot E)}$ bağıntısı ile bulunur. Genel malzemeler için Z_E değerleri Çizelge 2.5.'de verilmiştir (Kutay, 2010).



Şekil 2.13. Alın faktörü Z_H (Kutay, 2010)

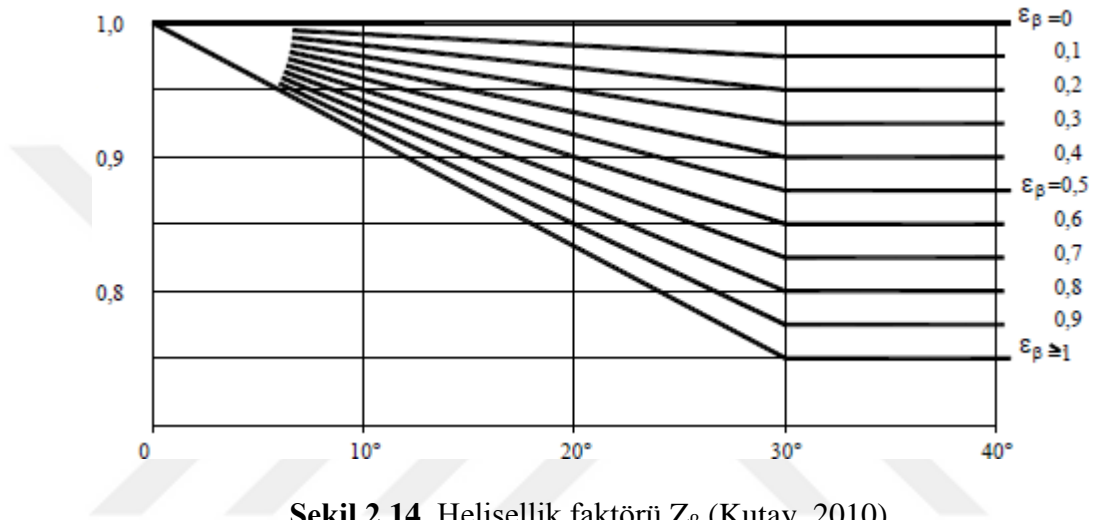
Çizelge 2.5. Elastisite faktörü Z_E (Rende, 1997)

Çark 1			Çark 2			
Hammadde	Elastisite Modülü N/mm ²	Poisson sayısı	Malzeme	Elastisite Modülü N/mm ²	Poisson sayısı	Z_E $\sqrt{N/mm^2}$
Çelik	206 000	0,3	Çelik	206 000		189,8
			Çelik döküm	202 000		188,9
			Küresel grafitli dökme demir	173 000		181,4
			Döküm-beyaz pirinç	103 000		155
			Beyaz pirinç	113 000		159,8
			Lamel grafitli dökme demir	126 000 ile 118 000	0,3	165,4 ile 162,0
Çelik döküm	202 000	0,3	Çelik döküm	202 000		188
			Küresel grafitli dökme demir	173 000		180,5
			Lamel grafitli dökme demir	118 000		161,4
Küresel grafitli dökme demir	173 000	0,3	Küresel grafitli dökme demir	173 000		173,9
			Lamel grafitli dökme demir	118 000	0,3	156,6
Lamel grafitli dökme demir	126 000 ile 118 000		Lamel grafitli dökme demir	118 000		146 ile 143,1
Çelik	206 000	0,3	Sert yapılı	7850 (1)	0,5 (1)	56,4
1) Ortalama değer						

2.13.4. Z_{β} helisellik faktörü:

Bu işlemde helisel açısı dikkate alınır. Formül olarak aşağıdaki gibi hesaplanır. Ayrıca Şekil 2.14.'den de değerler okunur (Kutay, 2010).

$$Z_{\beta} = \sqrt{\cos \beta} \quad (2.30)$$



Şekil 2.14. Helisellik faktörü Z_{β} (Kutay, 2010)

2.14. Helisel Dişli Çarklara Etki Eden Kuvvetler

Helisel dişli çark çiftleri çalışma esnasında aynı anda düz dişliye nazaran daha fazla diş kavrama halinde olduğu için yük taşıma kabiliyetleri de fazladır. Normal kesiti β_0 açısı ile döndürerek alın yüzey kesitine getirdiğimizde ekstra bir kuvvet bileşeni daha ortaya çıkmaktadır. Bu kuvvet F_a eksenel kuvvet olarak adlandırılır. Bundan dolayı mile ve yataklara teğetsel kuvvet (F_t), radyal kuvvet (F_r) ve eksenel kuvvet (F_a) etki etmektedir (Uçar ve ark.). Şekil 2.15'de Helisel dişlilerde kuvvetlerin durumları gösterilmiştir (Kutay, 2010).

dışında olmak üzere iki gruba ayrılır. Yüksek verim beklenen mekanizmalarda, üretim sırasında plastik dişlilerin iç yapılarında meydana gelen çatlaklar, boşluklar ve homojen yapının bozuk olması çoğu zaman olumsuz sonuçlar verir.

Bununla birlikte üretim hatalarında dışında kalan hasar mekanizmaları; yorulma, aşınma, sürünme ve kırılmadır. Üretim esnasında ve üretim dışında hasar mekanizmaları plastik dişlilerde eş zamanlı oluştukları zaman ; sürünme, yorulma ve plastik deformasyonunu birbirinden ayırmak çok zordur (Dindar, 2012). Yapılan araştırmalarda görülen plastik dişlilerin hasarları aşağıda madde madde olarak anlatılmıştır.

2.15.1. Plastiklerin yorulması

Malzemelerin sonsuz devir sayısında taşıyabileceği yük teorikte yorulma dayanımı olarak adlandırılır (Akkurt, 2005). Plastik malzemelerde, çatlağın meydana gelmesi ve yayılması sonucu yorulmalar meydana gelmektedir. Plastik malzemelerin kalıplanması esnasında yorulma çatlakların ilerlemesini engelleyen koruyucu bir katman oluşmaktadır. Buna rağmen kalıplama hataları sonucu, küçük boşluklar ve plastik malzemenin kalıba basılmasında kullanılan yolluk noktalarında çatlaklar oluşabilmektedir. Plastik malzemelerin yüksek sönümlenme, düşük ısı iletkenliği ve viskoelastik özelliklerinden dolayı oluşan ısı hammaddede yumuşama meydana getirir. Bu durum; ısıl yorulma veya yumuşama hasarı olarak isimlendirilmektedir.

Statik zorlamada, nominal gerilmeyi σ , kopma dayanımını σ_K olarak adlandırırsak, $\sigma \geq \sigma_K$ olması durumunda kopmanın olduğu durum statik yorulma olarak adlandırılır. Kopma, sadece gerilmenin büyüklüğüne bağlı olmayıp, malzemenin gerilmeye tabii kaldığı süreye de bağlıdır. Uzun süre gerilme altında çalışan malzemeler, kopma dayanımından daha küçük gerilmelerde de ($\sigma \leq \sigma_K$) kopabilmektedir (Yakut, 2008).

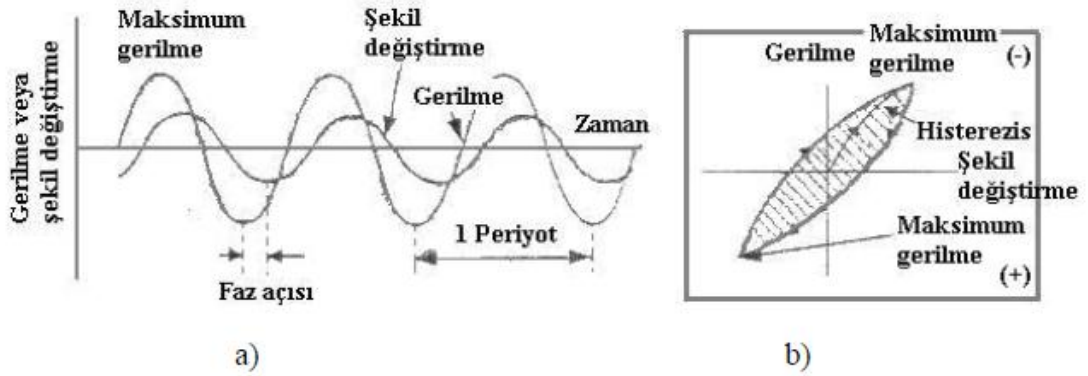
2.15.1.1. Isıl yorulma (yumuşama hasarı)

Plastik malzemelerin çoğunda çatlağın yayılması sebebiyle değil, iç sürtünmelerden dolayı ortaya çıkan ısı ve bu ısının dışarı atılamaması sebebiyle malzemede meydana gelen yumuşama sebebiyle hasarlar oluşmaktadır. Plastik malzemelerde gerilme ve şekil değiştirme hataları viskoelastik niteliği sebebiyle aynı fazda olmazlar. Şekil 2.16.'de şekil değiştirmelerin gerilmelerin gerisinde kaldığı görülmektedir. Aynı zamanda plastik malzemelerin cinsine göre faz farkı değerleri değişim göstermektedir. Bu faz farkı sonucunda tüm yük tekrarlarında, mekanik enerjinin bir kısmı ısıya dönüşerek kaybolmaktadır ve bu olay histerezis olarak adlandırılmaktadır. Bu olay Şekil 2.16.b'de gösterilmiştir.

Plastiklerin ısı iletkenlik katsayıları oldukça küçüktür. Bu sebepten art arda yapılan yük tekrarlarında açığa çıkan ısı enerjisinin büyük bir kısmı korunarak malzeme içinde birikmektedir. Bu durum plastik dişlinin sıcaklığının artmasına ve belirli bir sıcaklık değerine ulaştığında da bozulmasına sebep olmaktadır. Bu duruma ısıl yorulma yada yumuşama adı verilir (Yakut, 2008).

Plastik malzemenin ısıl yorulma dayanımını arttırmak amacıyla aşağıda verilen önlemler alınabilir;

- Yük frekansı azalmalıdır
- Et kalınlığı çok büyük malzeme kullanımından kaçınılmalıdır
- Gerilme yığılmalarını azaltılmalıdır
- Isı iletimi yüksek malzemeler seçilmelidir (Yakut, 2008).



Şekil 2.16. Değişken zorlamalara maruz kalan plastiklerde; a) Gerilme ve şekil değiştirme arasındaki faz farkı, b) Histerezis (Yakut, 2008)

2.15.2. Plastiklerin viskoelastik davranışı

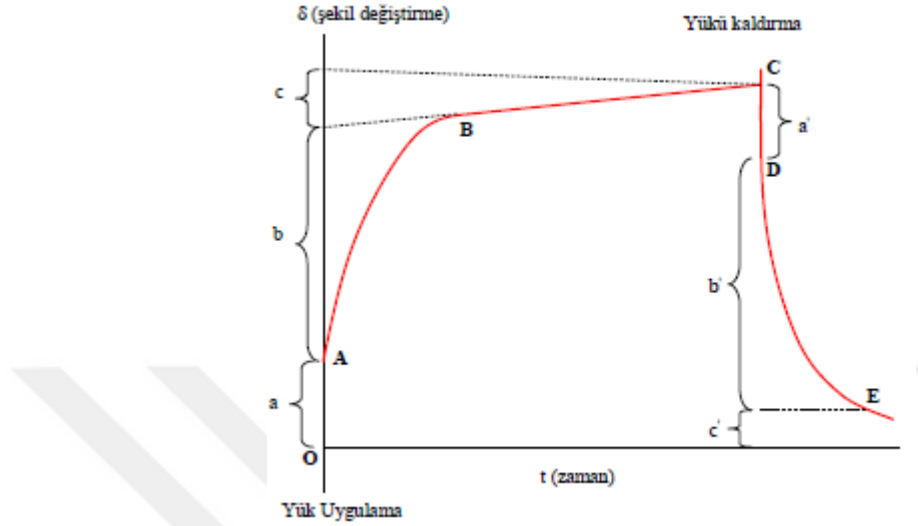
Plastik malzemelere yük uygulanması durumunda, hem elastik hem de plastik davranış gösterirler. Plastik malzemelerin deformasyonu genelde elastik kayma sebepli değil viskoz akış sebeplidir. Polimer zincirlerin birbiri üzerinde kaymaları neticesinde viskoz akış meydana gelir.

Viskoelastik davranışta, elastik deformasyon ile viskoz akış beraber nüksetmekte olup sonucunda deformasyon meydana gelmektedir. Viskoelastik davranış iki şekilde meydana gelir, bunlar sürünme ve gevşeme (rölaksasyon) olarak adlandırılır (Yakut, 2008).

2.15.2.1. Plastiklerin sürünmesi

Uzun süreler boyunca küçük çekme veya basma gerilmelerine tabi tutulan polimer malzemeler boyut değişikliğine uğrarlar. Sabit yük altında zaman içinde boyut değiştirme olayına sürünme adı verilir. Plastik malzemelerin sürünme olayı Şekil 2.17'de gösterilmiştir. Şekilde OA doğrusu başlangıç deformasyonu olup a ile ifade edilmiştir. AB eğrisi sürünme bölgesi olup hızlı bir yükselme göstermektedir. BC doğrusu ise sabit deformasyon bölgesini temsil eder. Test aşamasında yük ortadan kaldırıldığında, OA arasındaki şekil değişimi CD arasında hızlı bir şekilde düşüşe uğrar ($a' = a$). DE eğrisinde yavaş bir geri gelme olup tamamlanmayarak başlangıca

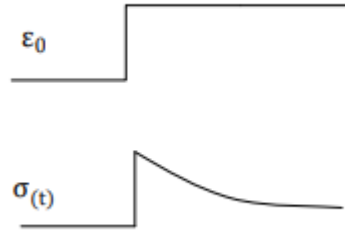
nazaran bir deformasyon oluşacaktır ($c' = c$). Şekilde, b' gecikmeli şekil değiştirme, c ise kalıcı şekil değiştirmedir (Yakut, 2008).



Şekil 2.17. Plastiklerin şekil değiştirme mekanizması (Yakut, 2008)

2.15.2.2. Plastiklerde gerilme gevşemesi

Gerilme gevşemesi, zaman içinde sabit plastik deformasyonda gerilmenin düşmesi ile ifade edilmektedir. Plastik malzemelerdeki gerilme gevşemesinin davranışı Şekil 2.18'de gösterilmiştir. Gerilme ile şekil değiştirme arasında iki durum söz konusudur. Birinci durum tıpkı Hooke kanunu ve Newton kanunu gibi aralarında lineer bir bağıntı olduğudur. Bu durum lineer viskoelastisite teorisi olarak adlandırılır. İkinci durum ise gerilme ile şekil değiştirme arasında lineer olmayan bir bağıntı olmasıdır ki bu da nonlinear viskoelastisite teorisi olarak adlandırılır. Viskoelastik malzemelerin davranışını anlamak için modelleme yöntemi kullanılabilir, bu yöntem için bir yay ve bir sönümlenme elemanı (amortisör) kullanılabilir (Yakut, 2008).



Şekil 2.18. Gerilme gevşemesi (Yakut, 2008)

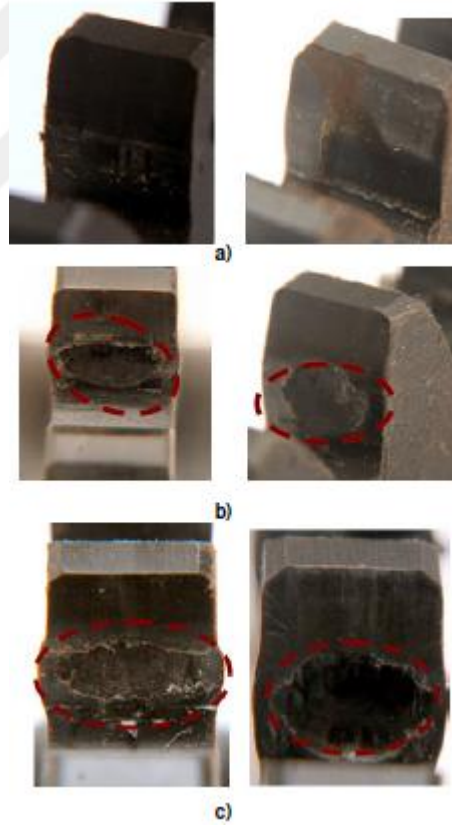
2.15.3. Polimerlerin kırılması

Polimer malzemelerin kırılması ile metal malzemelerin kırılması bir değildir. Termoset plastik malzemelerin kırılması gevrek kırılmalıdır. Termoset polimerik malzemelerin çoğunda, sünek yapıdan gevrek yapıya doğru bir davranış geçişi görülmektedir. Gevrek kırılmaya doğru geçişe bazı etkenler sebep olmaktadır. Bunlar; sıcaklık düşmesi, gerilmenin artması, keskin çentikler, parça et kalınlığının artması olarak sayılabilir. Tüm bu etkenlere ilave olarak polimer yapının, kimyasal, moleküler veya mikro yapısal olarak değişmesi de bu etkenlere sebep olmaktadır. Bazı termoplastiklerin yapıları, belirli sıcaklıkların üzerinde gevrek karakter göstermeye başlar, bu sıcaklık camlaşma sıcaklığı olarak adlandırılır. Camlaşan termoplastiklerde, kırılmadan önce oluşan faz ise ayrılma olarak adlandırılmaktadır. Lokal olarak yüksek oranda akan bölgelerde ayrılmalarla beraber küçük ve birbirine temas etmeyen mikro boşluklar meydana gelir. Ayrılmanın oluşması ile beraber çatlamlar öncesi kırılma enerjisi depolanır ve polimer malzeme tokluğu da artar (Yakut, 2008).

Resim 2.8.'de kırılmaya maruz kalmış polimer dişli çark örneği verilmiştir. Resim 2.9'de ise yapılan bir çalışmada, birbiri ile çalışan plastik dişli çiftlerinin 1000 d/d koşullarında çekilmiş resimleri verilmiştir. İlgili resimde, a görselinde 12,02 N/mm, b görselinde 27,2 N/mm, c görselinde ise 37,5 N/mm dış yüklerinde diş profillerinde oluşan ısıl hasarlar verilmiştir.



Resim 2.8. Kırılmaya maruz kalmış plastik dişli (Dindar, 2012)



Resim 2.9. Muhtelif plastik dişli çark hasarları (Düzcükoğlu ve ark. 2009)

2.16. Literatür Taraması

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 içerisine 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. Deneilerini 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. Deneilerde 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/d motor hızında, üç farklı yükleme (50 Nm, 100 Nm ve 150Nm) yapılarak yapılmış, her 100.000 dönme tekrarında dişliler dişli kutusundan sökülerek üzerinde bulunan yağ tabakası bezle silinip basınçlı 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.

Kızılaslan ve ark. (2010), yaptıkları çalışmada dişli çarklarda 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.

Solmaz ve ark. (2011), Helisel dişli çarklarda farklı diş taban geometrisinin dişli çark ağırlığına ve gerilme analizine etkisi çalışmalarında, dişli çarkların normal çalışma şartları içerisinde en az gerilmeye uğrayan yüzeyleri 8 farklı geometride delinerek

ağırlıkları azaltılmıştır. Bütün numuneler Solidworks 2010 programında modellenerek, ANSYS Workbench 12 programında gerilme analizleri yapılmıştır. Bütün dişlerde hammadde olarak AISI 1045 çeliği kullanılmıştır. 7 farklı model birbirleri ile kıyaslanarak en ideal tasarımın % 27 iyileşme sağlayan üzerinde 14 mm çapında 6 adet dairesel delik bulunan çalışma olduğu saptanmıştır, herhangi bir işlem yapılmayan iş parçasında ise maksimum gerilmelerin olduğu gözlemlenmiştir.

Avcı (2009), çalışmasında helisel dişli çarkların diş dibi mukavemet hesaplamalarını bilgisayar programları ile üç boyutlu olarak incelemiştir. Çalışmada helisel 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.

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 hassasiyetinde terazide ağırlıkları ölçülerek kaydedilmiştir. Her 3 grup malzeme için 3 farklı devir (50, 1000, 1500 d/d) seçilmiştir. Yükleme ise AISI 8620 eş çalışma uygulamalarında 4, termoplastik – termoplastik eş çalışmalarda ise 3 farklı yük kullanılmıştır.

Deneyleer 19 – 25 °C oda sıcaklığında yapılmıştır. Dişli çarklar belirlenen yüklerde toplam 180 000 devirde çalıştırılmıştır. Döner 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 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.

Çaycı (2012), çalışmasında dişli çarkların mukavemet hesaplamaları için MATLAB programında program yaparak, bu programda helisel 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 iletebileceği uygun mukavemet değerine sahip küçük ve hafif helisel dişli çarkların dizayn edileceğine kanaat getirmiştir.

Başaran (2001), çalışmasında kapalı devre güç diş dolaştırıcı dişli yorulma test düzeneği kullanarak Helisel dişli çarklarda yorulma deneyleri yapmıştır. Helisel açısı ve profil kaydırma faktörünün değiştirilmesiyle, birbiriyle çalıştırılan dişlilerin Hertz basınç değişiminin nasıl olduğu, bu basınç değişimlerinin oluşturduğu yüzey hasarları incelenmiştir. Yapılan deneylerde hammadde olarak GG25 döküm malzemesi kullanılarak dişli çark imalatları yapılmıştır. Helisel açısı olan 10° ve 15° iki grup dişli çifti kullanılmıştır. Her grup helisel açısı için 9 ayrı profil kaydırma değeri kullanılmıştır. Tüm diş açma işlemleri aynı makinede aynı kesme hızlarında imal edilerek diş profil yüzey pürüzlükleri aynı olması sağlanmıştır. Yağlama olarak sistemde daldırma tipi yağlama yapılmış, sistem çalıştırılmadan önceki yağ sıcaklığı ortalama 10°C iken çalışma sonrası ortalama yağ sıcaklığı 38 °C ölçülmüştür. Farklı helisel açısı, profil kaydırma değeri, devir, tur ve yükler altında dişliler birbirleri ile çalıştırılarak yüzey hataları incelenmiştir. Aşınmaya uğrayan diş yüzeylerinin renkli makro fotoğrafları, dijital mikro fotoğrafları çekilmiş, deney öncesi ve sonrası diş profili yüzey pürüzlülükleri ölçülerek deney sonuçlarını değerlendirmiştir. Deney

malzemelerinin GG25 döküm olması sebebiyle yüzey hasarların, çeliklerde olduğu gibi ayrı bölgelerde çukurcuklar şeklinde olmadığı, aksine geniş alansal bozulmalar olduğunu tespit etmiştir.

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 yüklem 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 gerçekleştirmişlerdir. Testler sırasında dişlilerin sıcaklıklarını termal kamera kullanarak ölçmüşlerdir. 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

$(k_9, fu\beta = (2100 K. (\frac{m}{s})^{0,75} . mm^{1,75}))$ 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 sönümlenme 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/d devirde, 1,5 Nm torkta 50.000 tur, 2 Nm torkta 20.000 tur yaptırılmış ve sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Gürültü testleri yine aynı test düzeneğinde 1,5 Nm ve 2 Nm tork değerlerinde 200.000 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 düzenek içine mıknatıs koymuşlardır. Testlerde 3 ayrı devir (1000, 1500. 2000 rpm) ve 3 ayrı tork (50, 100, 150 N.m) çalışılmıştır.

Test parçaları her 23.000 turda durdurulmuş, üzerinde bulunan yıpranmış parçalardan ve yağlardan arındırılarak temizlenmiştir. Testler 230.000 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 dişliler 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 denklemine 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 gözlemlemiştir.

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 uygun 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 gözlemlemiştir. Testlerde dişli yüzey sıcaklığının ve yapılan yüklemelerin baskın etkisi olduğunu gözlemlemiştir. Yaptıkları çalışmalarda naylon dişlilerde asetal dişlilere göre diş diplerinde ve hatvelerde kırıklar oluştuğunu gözlemlemiştir. En ilginç sonuçları ise asetal ile naylon dişli çiftlerinin birbiriyle çalıştırılmasında görmüşlerdir. Asetal dişli döndüren dişli olarak kullanıldığında aşınmanın daha az olduğunu görmüşlerdir.

Uzun ve ark. (2018), yaptıkları çalışmalarında 3 boyutlu baskı, yani 3 boyutlu yazıcı ile geleneksel olarak bilinen imalat yöntemleri olan talaşlı imalat yöntemi ile imalatı

yapılamayan eğrisel evolvent profilli dişlileri dizayn ederek imal etmişlerdir. Eğrisel evolvent profilli dişliler imalatlarında karşılaşılan zorluklar sebebiyle yaygın olarak kullanılmamaktadır. Dişliler Solid programında tasarlanmış ve FDM teknolojisi ile çalışan 3D yazıcıda imal edilmiştir. Bu çalışma neticesinde imalatı geleneksel yöntemlerle mümkün olmayan dişlilerin 3D baskı yöntemi ile imal edilebileceği alternatif imalat yöntemi olarak sunmuşlardır.

Başara, G. (2017), yaptığı tez çalışmasında 3 boyutlu yazıcılarda üretilmiş nesnelerin mekanik dayanımlarını incelemiştir. Çalışmasında Eriyik Yığılma Modelleme (EYM) tekniği ile PLA malzeme kullanmıştır. İçi % 100 dolulukta ve % 20 dolulukta parçalar imal etmiş , bu parçalara çekme ve basma testleri yapmış sonuçları kıyaslamıştır. % 100 doluluğa sahip nesnelerin mekanik özelliklerinin % 20 doluluğa sahip nesnelere göre daha iyi mekanik özelliğe sahip olduklarını görmüştür.

Eren, O. (2017), yaptığı tez çalışmasında FDM yöntemi ile 3 boyutlu yazıcılarda imal edilen karbon elyaf takviyeli ABS polimer kompozit parçaların üretimini yapmış ve mekanik özelliklerini araştırmıştır. 6 mm karbon elyaf takviyesi yapılması durumunda üretilen parçaların mukavemet değerlerinin önemli ölçüde iyileştiği sonucuna ulaşmıştır. Yapılan karbon elyaf takviyesinin esneklik ve işlenebilirliğin azalma eğilimi içerdiğini de çalışmasına not olarak düşmüştür.

3. ÜÇ BOYUTLU YAZICILAR VE ÜÇ BOYUTLU YAZICILARDA KULLANILAN MALZEMELER

3.1. Üç boyutlu yazıcılar hakkında genel bilgi

Üç boyutlu yazıcılar, piyasada yer tutmuş imalatlardan farklı bir imalat tekniğine sahiptir. Üç boyutlu yazıcılar iş parçalarını talaş kaldırarak, keserek yada delerek şekillendirme yerine dijital ortamda tasarlanan nesneyi katmanlar halinde lazer sinterleme , üst üste yığıma, polimer sertleştirme gibi teknikler kullanarak şekillendirir. Üç boyutlu baskı teknolojisinde yaygın olarak katmanlı üretim tekniği kullanılır. Yine diğer çok tercih edilen yöntem ise plastik malzemenin eritilerek cisimlerin oluşmasını sağlayan FDM (Fused Deposition Modelling) yöntemidir (Özdemir, 2017).

Üç boyutlu yazıcılar genel olarak şu parçalardan oluşurlar;

- Gövde
- Hareket eksenleri ve motorlar
- Baskı tablası
- Nozul ucu
- Elektronik kontrol ünitesi

Gövde, yazıcının motorlarını, eksenlerini, tablasını ve ısıtıcı ucunu taşıyan ana parçadır. Gövdenin ebatları yazıcının büyüklüğüne göre değişiklik arz eder. Baskı tablası, yazıcının baskı yapabilmesini ve modeli oluşturmasını sağlayan makinaya ait parçadır. Tablalar ısıtılmalı veya ısıtmasız olarak imal edilirler. Tabla ısıtmasız ise sadece PLA ve benzeri yüksek ısı gerektirmeyen malzeme baskılarında kullanılır. Model, tabla ısınmadığı için tabladan ayrılmayıp baskı hataları oluşturabilir. Tabla ısıtmasında özel rezistanslı PCB devreler kullanılır. Pek çok üç boyutlu yazıcı tabla ölçüleri günümüzde 20 cm veya daha küçük ebatlarda üretilmektedir (Özdemir, 2017).

Nozul sistemi, plastik enjeksiyon makinelerinde kullanılan mantığa benzeyen bir sistemle çalışır. Bu uç sistem içerisine transfer edilen kablo şeklindeki filament hammaddeyi eriterek küçük boyutlarda enjekte ederek katmanları ve modeli oluşturur. Üç boyutlu yazıcı eksenleri nozul ucunun hareket etmesine yardımcı olan elemanlardır. Eksenler genelde triger kayış ve kasnak ile hareket eder, bu şekilde eksenler daha hızlı hareket eder.

Üç boyutlu yazıcının en önemli parçaları motorları ve elektronik kontrol ünitesidir. Genelde motor olarak step (adım) motorlar kullanılır. Elektronik kart ünitesi ise yazıcıda bulunan ısıtıcı uç, baskı tablası ve motorları kontrol eden sistemdir. Genelde kontrol ünitesi olarak Arduino ve Sanguinololu isimli kartlar kullanılır. Ancak en yaygın olarak piyasada kullanılanı Arduino tipi karttır (Özdemir, 2017).

3.2. Üç Boyutlu Yazıcının Tarihi Gelişimi

Üç boyutlu yazıcılar ilk olarak 1970'li yıllar sonlarına doğru hayatımıza girmeye başlamıştır. İlk yıllarında boyut olarak büyük ve pahalı makinelerdi. İlk olarak 1984 yılında Charles Hull tarafından tasarlanarak imal edilmiştir. Ticari anlamda ilk olarak 1986 yılında bir şirket kurularak üretime başlanmıştır. 1988 yılında bu şirket tarafından SLA – 250 diye tanımlanan üç boyutlu yazıcı tasarlanmıştır. Aynı yıl Selective Laser Sintering (SLS) ve Fused Deposition Modeling (FDM) teknolojileri geliştirilmiştir. 1995 yılında yüksek çözünürlüğe sahip, renkli basım yapan üç boyutlu yazıcıyı Z Corporation geliştirdi. 2007 yılında Reprap adıyla ilk açık kaynak kodlu yazıcılar piyasaya çıkmaya başladı. 2008 yılında ise Object Geometries şirketi, Connex 500 ile aynı anda farklı malzemeler kullanarak üretim yaptı. 2009 yılından itibaren Makerbot ve 3D Systems Cubify gibi modeller üreterek üç boyutlu yazıcıların evlere kadar girmesini sağladı (Çelik ve Çetinkaya, 2015).

3.3. Üç Boyutlu Yazıcılarda Teknolojik Gelişmeler

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 sağlanması planlanmakta ve çalışmalar devam etmektedir (Özdemir, 2017).

3.4. Üç Boyutlu Yazıcıların Avantajları

Üç boyutlu yazıcıların günümüz şartlarında bir dizi avantajları olup aşağıda kısaca bahsedilmiştir.

- Bilgisayar ortamında çizilip dizayn edilen her model dakikalar veya saatler içinde elle tutulur nesnelere çevrilerek ön inceleme yapılabilir hale getirilebilir.
- Günümüzde üniversal veya bilgisayar destekli takım tezgahlarına ihtiyaç duyulmadan, işçilikleri bertaraf ederek ciddi anlamda iş gücü gerektiren işlemleri ortadan kaldırır.
- Kompleks şekillere sahip dizaynlar çok basit bir şekilde somut nesnelere dönüştürülebilir.
- Kullanılan en yaygın sarf malzemesi PLA olarak adlandırılan filament olup, tedariki kolay ve ucuzdur.
- Kullanılan filament mısır nişastasından imal edilen PLA adında bioplastik olup bu malzemenin insan sağlığına olumsuz etkisi olmayıp, çevreye karşı duyarlı, kullanım esnasında koku da yapmaz.
- Üç boyutlu baskılara işçilik masrafı olmayıp, zamandan tasarruf etmeye yardımcı bir imalat şeklidir. Hızlı prototipler hazırlanarak detaylı ön inceleme yapma imkanı sağlamaktadır.
- İmalat masrafları daha ucuz olabilir, ucuz sarf malzemesi kullanımı parça imalat masraflarını aşağılara çekmektedir (Özdemir, 2017).

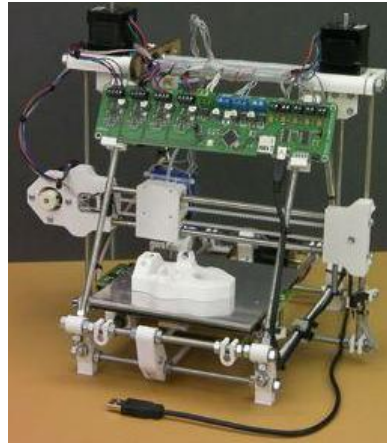
3.5. Üç Boyutlu Yazıcı Tipleri

Üç boyutlu yazıcıların günümüzde 4 tipi vardır, bunlar (Çelik, 2015);

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

3.5.1. Kartezyen tipi yazıcı

Bu tip üç boyutlu yazıcılar bilgisayar kontrollü X - Y - Z Kartezyen platformuna bağlı termoplastik püskürtücüleri üzerinde bulundurur. X ve Y eksenleri eksantrik triger kayışı sayesinde hareket ederler. Z ekseninde ise vidalı miller kullanılarak iki adet step motor kullanılarak hareket ederler. Kartezyen tipi yazıcıların iskeleti çelik çubuk veya profillerden imal edilmiştir. Resim 3.1.'de Kartezyen tipi üç boyutlu yazıcı görülmektedir (Çelik, 2015).



Resim 3.1. Kartezyen tipi üç boyutlu yazıcı (Çelik, 2015)

3.5.2. Delta tipi yazıcı

Delta tipi üç boyutlu yazıcının diğer yazıcılardan en büyük farkı Z eksen hareketi 3 ayrı yerden birer adet step tipi motorla kontrol edilmesidir. Buna sebep delta tipi yazıcıların üçgen şeklinde bir forma sahip olmasıdır. Resim 3.2.'de delta tipi üç boyutlu yazıcı görülmektedir (Çelik, 2015).



Resim 3.2. Delta tipi üç boyutlu yazıcı (Çelik, 2015)

3.5.3. Core xy tipi üç boyutlu yazıcı

Core xy tipi üç boyutlu yazıcılarda X ve Y eksen hareketleri kayış kasnak mekanizmaları ile hareket eder. Bu yazıcıda ergitme yapan kafa XY koordinat sistemine bağlıdır. Z eksen hareketini tabla yaptırılmaktadır. Tabla vidalı millerle step motorlar yardımıyla hareket eder. Resim 3.3.'de Core xy tipi üç boyutlu yazıcı görülmektedir (Çelik, 2015).



Resim 3.3. Core xy tipi üç boyutlu yazıcı (Çelik, 2015)

3.5.4. 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

3.5.4.1. Metal baskı yapan robot tipi üç boyutlu yazıcılar

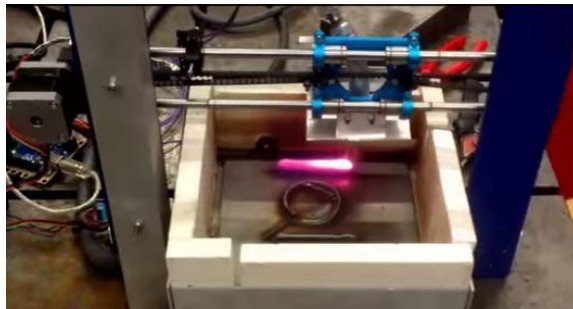
Hammaddesi metal olan üç boyutlu yazıcılar çok pahalı olmaları nedeniyle günümüzde büyük firmalar tarafından kullanılmaktadır. Metal baskıyı yaygınlaştırmak için kaynak robotlarına adapte edilen sistem adeta metal bir yüzey üzerine kaynak yapıyor gibi çalışmaktadır. Yazdırılan metal hızlı bir şekilde katılaşmakta olup ek bir sisteme gerek yoktur. Resim 3.4.'de metal baskı yapan üç boyutlu yazıcı görülmektedir (Çelik, 2015).



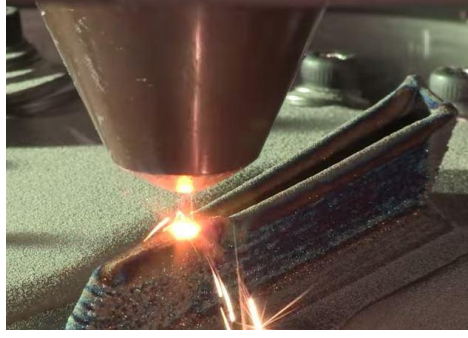
Resim 3.4. Metal baskı yapan robot tipi üç boyutlu yazıcı (Çelik, 2015)

3.5.4.2. 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 ana 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 3.5. ve Resim 3.6.'de metal tozlarını püskürterek üretim yapan üç boyutlu yazıcılar görülmektedir (Çelik, 2015).



Resim 3.5. Metal tozlarını püskürterek baskı yapan üç boyutlu yazıcı (Çelik, 2015)



Resim 3.6. Metal baskı yapan üç boyutlu yazıcı (Çelik, 2015)

3.6. Üç Boyutlu Yazıcılarda Kullanılan Malzemeler

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

3.6.1. 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 sektörde 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 (Çelik, 2015).

3.6.2. 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).

3.6.3. Naylon malzeme

Naylon malzeme ABS ve PLA malzemelerine göre daha esnek, dayanıklı ve hafiftir bu sebeple daha dayanımı yüksek model oluşturur. Modellenen malzeme yüzeyinin kaygan olması sebebiyle ekstra yağlama ihtiyacı duyan mekanizma parçalarının yani rulman, dişli gibi imalatında rahatlıkla kullanılabilir. Bio uyumlu malzeme olduğu için tıp sektörü parçalarında ekseriyetle seçilir. Su tutma özelliği sebebiyle kullanımı öncesi mutlaka nemden arındırılmalıdır aksi takdirde baskı kalitesi düşer. Nemden arındırmak için 80 – 90 derece bir fırında 6 – 8 saat arası tutulmalıdır. Baskı tablasına zor yapışmasına bağlı olarak Pva bazlı veya Prit tipi bir yapıştırıcı ile uygulanmalıdır (Anonim, 2016).

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Plastik dişli çarkların genel olarak talaşlı imalat, plastik enjeksiyon kalıplama ve toz metalurjisi yöntemiyle imal edildikleri bilinmektedir. Bu yöntemlerin avantajları olduğu gibi dezavantajları da. Toz metalurjisi ve plastik enjeksiyonla baskı yöntemlerinin avantajları; adet olarak çok fazla dişli çarkın aynı anda ve hassas olarak üretilebilmesidir. Ancak her iki tip imalat içinde kalıp maliyetlerinin çok yüksek olması ve farklı dişli çark üretimi için farklı kalıpların tasarlanması ve imal edilmesi gerekmektedir.

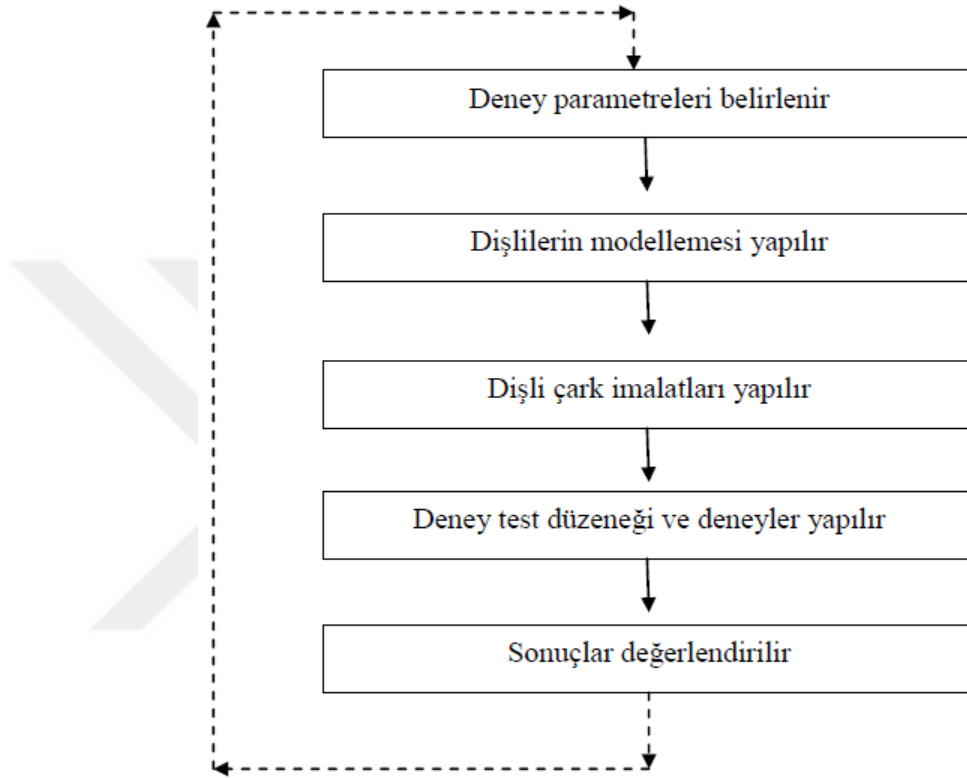
Üç boyutlu yazıcılar, piyasada yer tutmuş imalatlardan farklı bir imalat tekniğine sahiptir. Üç boyutlu yazıcılar iş parçalarını talaş kaldırarak, keserek yada delerek şekillendirme yerine dijital ortamda tasarlanan nesneyi katmanlar halinde lazer sinterleme, üst üste yığma, polimer sertleştirme gibi teknikler kullanarak şekillendirir.

Yapılan deneylerde FDM teknolojisi kullanılarak kartezyan tipi üç boyutlu yazıcıda imalatı yapılan, hammaddesi PLA filamentli olan ve % 100 doluluk oranı ile imal edilen pinyon helisel dişli ve azdırma tezgahında imalatı yapılan dişli çarklar kullanılmıştır. Helisel dişli çarklar, helisel dişli çark hesap formüllerine göre hesaplanarak boyutlandırılmıştır.

Deneylere başlamadan önce dişli çarklar için FZG (Forschungstelle für Zahnrad und Getriebbau) diye adlandırılan cihaz imalatı yapılmıştır. Tüm dişliler takip edilebilirlik açısından numaralandırılmıştır. Aşınma testleri öncesi ve sonrası tüm dişlilerin ağırlıkları 10^{-4} gr hassasiyetinde elektronik terazide ölçülerek not edilmiştir. Testler öncesi, 5×10^4 ve 10^5 turlar sonrası tüm pinyon dişlilerin yüzey pürüzlülük değerleri, yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazında ölçülmüştür.

Üç boyutlu yazıcılarda üretilen dişli çarklarda kalıplama maliyeti olmayıp, plastik enjeksiyon ile kalıplama ve toz metalurjisi yöntemleriyle kıyaslandığında maliyet açısından çok uygun bir imalat tekniği olup, üretimi planlanan dişli çarkların katı

modellenmesi (CAD) bilgisayar programında tasarlanmış ve üç boyutlu yazıcıya aktarılarak imalat 0.01 mm hassasiyetlerle imal edilmiştir. Tüm deneyler Şekil 4.1.'de şema halinde gösterilen yol izlenerek yapılmıştır ve maddeler halinde detaylı olarak aşağıda anlatılmıştır.



Şekil 4.1. Aşınma dayanımı test adımları (Tunalıoğlu, 2011)

4.1. Deney Parametrelerinin Belirlenmesi

Bugüne kadar yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde, deneylerin genelde plastik enjeksiyon kalıplama ve toz metalurjisi yöntemi ile imal edilen plastik malzemelerle yapıldığı görülmüştür. Bu çalışmada, FDM teknolojisi kullanılarak kartezyan tipi üç boyutlu yazıcıda PLA filamenti ile % 100 doluluk oranı ile üretilen plastik pinyon dişliler ve azdırma tezgahında imalatı yapılan çark dişliler kullanılmıştır.

Literatür çalışmalarında plastik enjeksiyon kalıplama yöntemi ile yapılan imalatlarda genel olarak plastik malzemeler için ham ve güçlendirilmiş halde 1 – 20 N.m arası tork , 500 – 1500 dev/dak arası devir değerlerinin kullanıldığı görülmüştür. Bazı

çalışmalarda plastik - plastik dişli çifti, bazı çalışmalarda plastik - çelik dişli çark çiftleri kullanılmıştır. Yine yapılan literatür taramalarında bazı çalışmalarda deney mekanizmasında yağlama yapıldığı ve bazı çalışmalarda ise yağlama yapılmadan kuru tip çalışma yapıldığı tespit edilmiştir.

Üç boyutlu yazıcılarla yapılan literatür taramasında, konu hakkında çalışmalar yapıldığı Literatür taraması başlığı altında anlatılmıştır. Ancak; 3D yazıcı ile imal edilen ve hammaddesi PLA plastik malzeme olan çalışmalarda aşınma testlerinin yapıldığı görülmemiştir. Bunun için pilot çalışmalar yapılarak yükler ve bu yüklerle dayanarak hesaplamalar sonucu torklar seçilmiştir.

Resim 4.1.'de A görselinde her iki dişli grubu da PLA plastik malzemedden olan, 900 dev/dak devir, 10 N.m tork değerinde, 22500 turda, yapılan deneme çalışmasında, diş profillerinde her dişte homojen bir aşınma oluşmamış, diş profillerinde oturmalar ve yine bölgesel yoğun aşınmalar meydana gelmiştir.

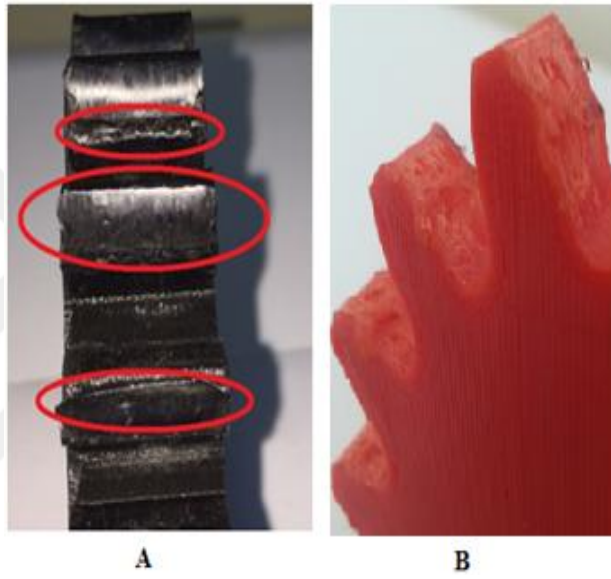
Resim 4.1.'de B görselinde yine her iki dişli grubu da PLA plastik malzemedden olan, 900 dev/dak devir, 6 N.m tork değerinde, 9900 turda yapılan deneme çalışmasında, diş profillerinde yoğun aşınmalar meydana gelmiştir.

Yine yapılan test çalışmalarında, Solid Works programının diş profillerini standart evolvent profilinde çıkartmadığı tespit edilmiştir. Bunun için PLA hammaddeli dişliler Autodesk Inventor Professional programında evolvent profiline dönüştürülmüş, raporu EK-1'de verilmiştir.

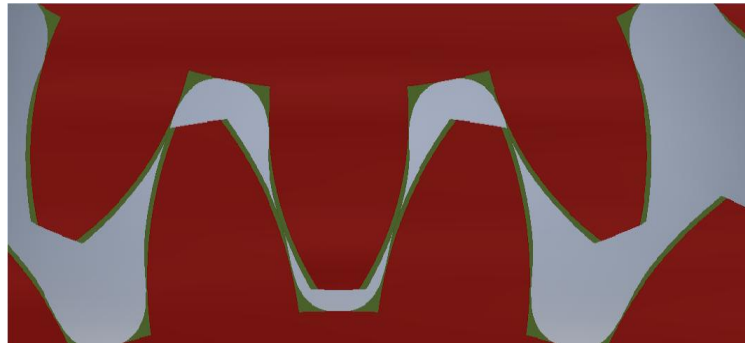
Diş profilleri arası farkın görülebilmesi için inventor programı öncesi ve sonrası görseller üst üste konarak Resim 4.2.'de verilmiştir. Resim 4.2.'de kırmızı diş formu inventor programı öncesi, yeşil form ise inventor programı sonrası evolvent diş formunu göstermektedir.

Yapılan pilot uygulamalar ve literatür taraması sonrası; pinyon dişli malzemesi PLA, çark dişli malzemesi St37-2 seçilmiştir. Tork değerleri olarak 0,5/1 ve 1,5 N.m, devir

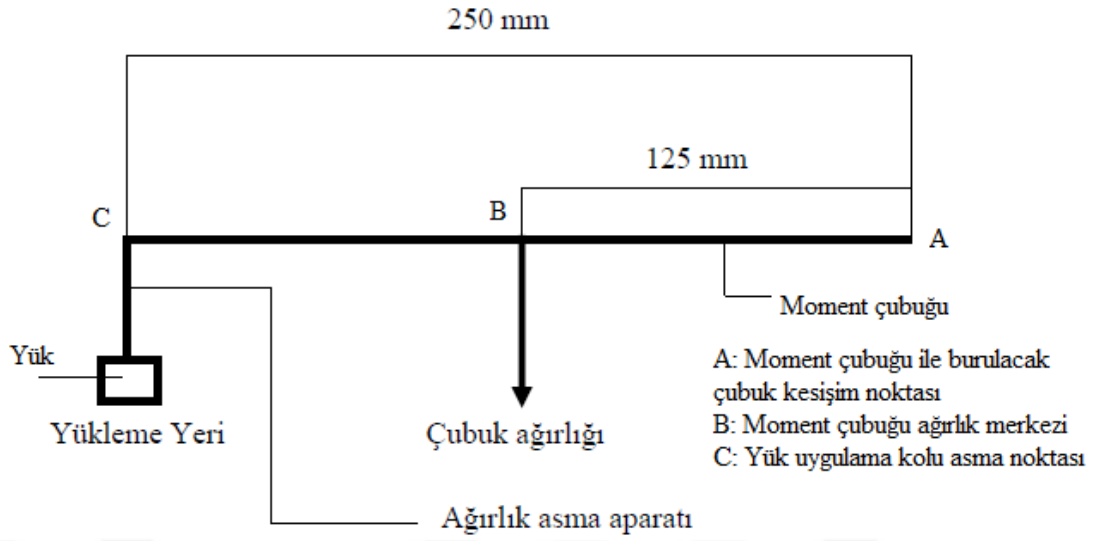
olarak 300, 600 ve 900 dev/dak değerler kullanılmıştır. Deney dişli çarkları belirlenen torklarda ve devirlerde toplamda 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarı ile çevrilmiştir. Dişlilere profil kaydırma uygulanmamıştır. Dişlilere ait eksenler arası mesafe 117 mm, dişli normal modülü 5,7956 mm, alın modülü ise 6 mm olacak şekilde imalat yapılmıştır. Deney düzeneğine ait yük kolu mil çapı 16 mm, kol boyu 250 mm, çubuk ağırlığı 390 g'dır. Buna göre tork yükleme aparatı Şekil 4.2.'de gösterilmiş ve moment hesaplamaları buna göre yapılmıştır.



Resim 4.1. Test numunesi diş profili aşınması



Resim 4.2. Inventor Programı öncesi ve sonrası diş profilleri



Şekil 4.2. Tork yükleme aparatı

4.2. Dişlilerin Modellenmesi

Dişlilerin malzemeleri, diş sayıları, modülleri, göbek delik çapları, et kalınlıkları, kama yuvası ölçüleri, helisel yönü, kavrama açısı gibi değerler bu aşamada modellenmiştir. Pinyon dişli malzemesi olarak 195 - 220 °C de eriyen, 1,75 mm çapında gri PLA (Polilaktik asit) filament seçilmiştir. Dişli çark malzemesi ise St37-2 kalitesinde çelik olarak seçilmiş ve spektral analiz sonuçları EK-2'de verilmiştir. Helisel dişli çark hesaplamaları standart dişli çark formüllerine göre yapılmıştır. Pinyon dişli diş sayısı 17, çark dişli diş sayısı 22, dişli alın modülü 6 mm, dişli et kalınlığı 10 mm, dişli göbek çapı 20,65 mm, helisel açısı 15 derece, kama yuvası ölçüleri 6,5x6 mm seçilmiştir. Dişlilerin imalatında kullanılan temel ölçüler altta Çizelge 4.1.'de, dişlilere ait bitmiş ürün resimleri Resim 4.3.'de, Pinyon dişlinin Solidworks programında modellenen resmi Resim 4.4.'de ve çark dişlinin resmi ise Resim 4.5.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Dişlilerin imalatında kullanılan temel ölçüler

Büyükükler	Sembol	Birim	Değer
Diş Sayısı	z_1	-	17
	z_2	-	22
Normal Modül	m_n	mm	5,79
Alın Modülü	m_t	mm	6
Helisel Açısı	β	°	15
Kavrama Açısı	α	°	20
Diş Genişliği	b	mm	10
Profil Kaydırma Oranı	x_1	mm	0
	x_2	mm	0
Hatve	t	mm	18,20
İletim Oranı	i	-	1,29
Eksenler arası mesafe	a	mm	117,00
Temel Dairesi Çapı	d_{b1}	mm	95,45
	d_{b2}	mm	123,52
Bölüm Dairesi Çapı	d_{o1}	mm	101,99
	d_{o2}	mm	131,99
Diş Başı Dairesi Çapı	d_{a1}	mm	113,59
	d_{a2}	mm	143,59
Diş Dibi Dairesi Çapı	d_{f1}	mm	87,51
	d_{f2}	mm	117,51
Diş Başı Yüksekliği	h_k	mm	5,79
Diş Dibi Yüksekliği	h_f	mm	7,24
Toplam Diş Yüksekliği	h	mm	13,04
Göbek Çapı	d	mm	20,65
Pinyon Dişli Helis Yönü	-	-	Sağ
Çark Helis Yönü	-	-	Sol
Pinyon Dişli Malzemesi	-	-	PLA
Çark Dişli Malzemesi	-	-	St37-2
Kavrama Oranı	ε	mm	2,02



Resim 4.3. Dişlilere ait bitmiş ürün resimleri



Resim 4.4. Solidworks programında modellenen $z = 17$, $m_s = 6$, $\beta = 15^\circ$, sağ helisel açılı pinyon dişli



Resim 4.5. $z = 22$, $m_s = 6$, $\beta = 15^\circ$, sol helisel açılı dişli çark

4.3. Dişli Çarkların İmalatı

Pinyon dişli çarkların imalatları Resim 4.6.'de verilen FDM (Fused Deposition Modelling) eriyik yığıma teknolojisi kullanılarak Core XY tipi, Multibox Exclusive marka üç boyutlu yazıcıda yapılmıştır. Üç boyutlu yazıcı ve dişlilerin programlamasında kullanılan teknik veriler altta Çizelge 4.2'de verilmiştir. EK-3'de ise pinyon helisel dişli üretiminde kullanılan "G" kodları özet olarak verilmiştir. Çelik çark dişli ise azdırma tezgahında imal edilmiştir. EK-4'de ise Cura 2.3.1 versiyonunda plastik pinyon dişlinin programlanmasına ait ekran resmi görülmektedir. PLA ve ABS malzemelerine ait ısıl ve mekanik özellikler EK-5'te verilmiştir.

Çizelge 4.2. Üç boyutlu yazıcıda pinyon dişlilerin programlamasında kullanılan teknik veriler

3D Yazıcı Markası	Multibox Exclusive
Testlerde Kullanılan 3D yazıcı programı	CURA (2.3.1)
Katman Kalınlığı	0,2 mm
İlk Katman Kalınlığı	0,3 mm
Duvar Kalınlığı	2 mm
Duvar Adedi	5
Alt Duvar Adedi (kalınlığı)	1
Üst Duvar Adedi (kalınlığı)	1
Doluluk Oranı	%100
Extruder Sıcaklığı	210 °C
Tabla Sıcaklığı	60 ° C
Filament Çapı	1,75 mm
Yazma Hızı	60 mm/s
Bir Adet Pinyon Dişlide Kullanılan Toplam Filament uzunluğu	32,30 metre
Bir Adet Pinyon Dişlide Kullanılan Toplam Filament Ağırlığı	96 g



Resim 4.6. Dişlilerin imal edildiği üç boyutlu yazıcı

4.4. Deney Test Düzenegi ve Deneylerin Yapılması

Deneyler FZG (Forschungstelle für zahnader und Getribau) diye adlandırılan cihazda yapılmıştır. Deney düzeneginde kullanılan elektrik motorunun devri 905 d/d, gücü

0,75 kw trifaze olup, düzeneğe adapte edilen otomasyon panosu ile devir ayarı yapılmaktadır. Deneyler öncesi, çalışma yapılacak devirler Würth Non - Contact Tackometer 8000 marka temassız devir ölçme cihazı ile sürekli olarak kontrol edilmiştir. Devir ölçme cihazı Resim 4.7.'de gösterilmiştir ve teknik özellikleri aşağıda liste olarak verilmiştir. Deney düzeneği resim olarak altta Resim 4.8. ve Resim 4.9.'de, şekil olarak Şekil 4.3.'de gösterilmiştir.



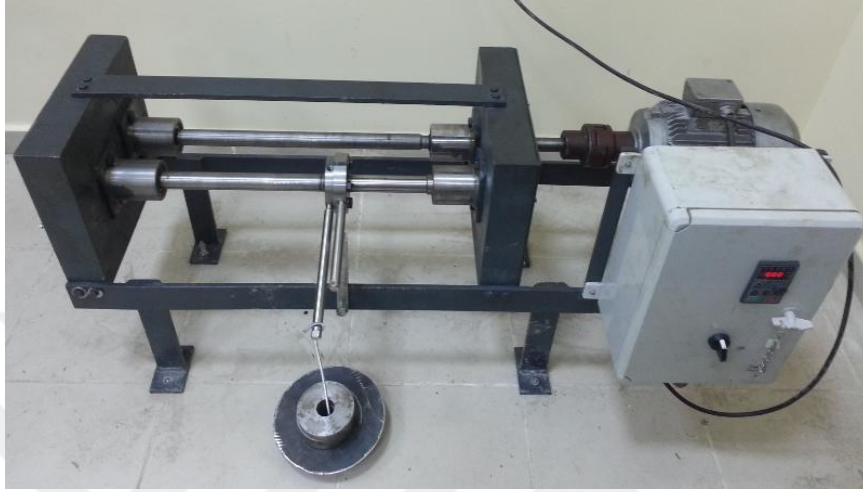
Resim 4.7. Würth marka devir ölçme cihazı

4.4.1. Würth marka devir ölçme cihazı teknik özellikleri

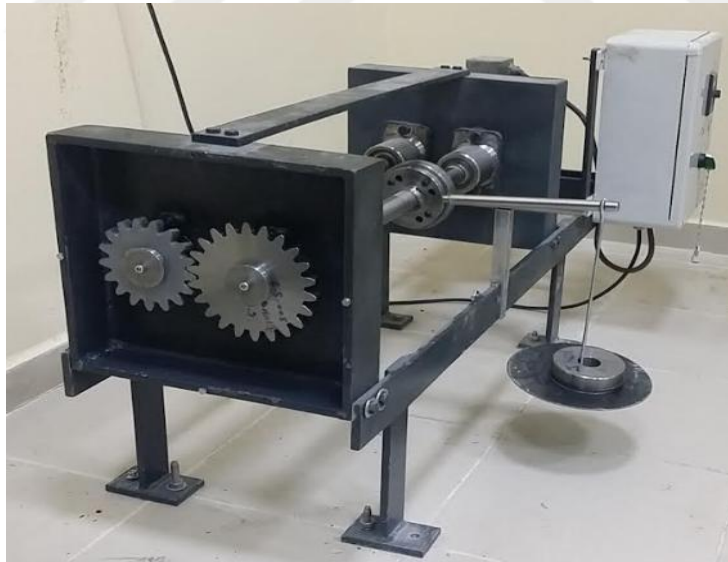
- Temassız olarak kırmızı LED ışıkla ölçüm yapar
- 20 dakika içinde hareketsiz kalması durumunda otomatik kapanır
- Dört ayrı birimde rpm, m/min, ft/min ve yd/min olarak devir ölçümü yapar
- Ölçüm aralığı 10,0 – 99.999 rpm arasındır.

Deney düzeneğinde iki adet dişli kutusu mevcut olup, düzeneğin aynı çevrim oranını sağlayan iki dişli kutusundan meydana gelmektedir. Motor tarafındaki dişli kutusu motordan bir kaplin sistemi ile aldığı gücü ve devri diğer dişli kutusuna aktarmaktadır. Bu dişli çark kutusunda dişlilere gres yağı ile yağlama yapılmıştır. Diğer dişli kutusu bir tarafı dişlilerin düzeneğe rahat bir şekilde takılması için açık tip olup aşınma testleri yapılacak iş parçalarının üzerinde barındırır. Bu iki tip dişli kutusu paralel bir mil sistemi ile birbirine birleşir. Paralel mil sistemi üzerinde bir tork kaplini bulunur. Tork kaplini üzerinde yere paralel olacak şekilde yük kolu bulunmaktadır. Sistemde dişli çarklar ve miller dönmeleri önlendikten sonra yardımcı dişli kutusu ve test dişli kutusu arasında bulunan mile takılan moment kolunun serbest ucuna ağırlık asılarak tork kaplini üzerinde bulunan mil burulur ve

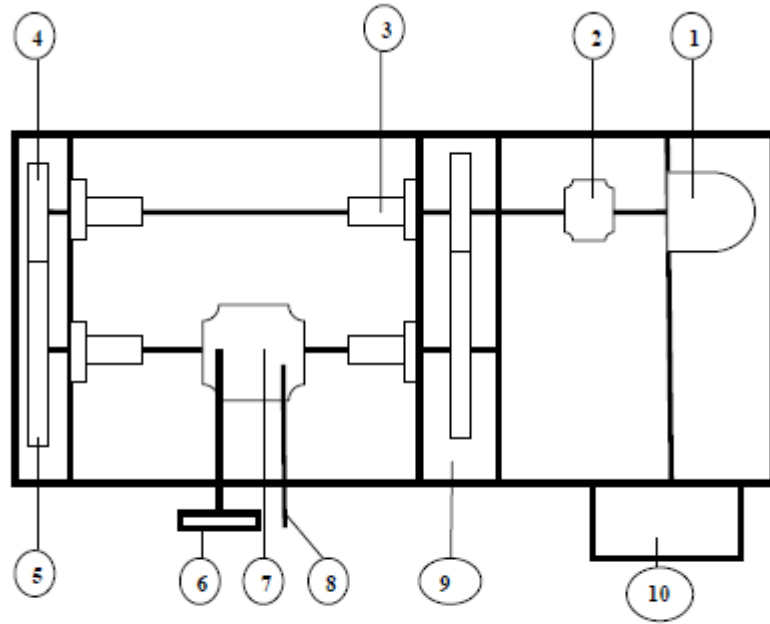
bu ağırlıklar sayesinde deney parçası olan dişli çarklara burulma momenti uygulanmaktadır. Sisteme yükleme hareketsizken yapılır. Ağırlık kolu vidalı olup paralel mil sisteminin mil merkezinden uç noktaya olan kol uzunluğu 250 mm'dir.



Resim 4.8. Deney düzeneği yandan görünüş



Resim 4.9. Deney düzeneği önden görünüş



1. Motor / 2. Kaplin / 3. Yatak / 4. Test Pinyon Dişlisi / 5. Test Dişli Çarkı / 6. Ağırlık Asma Kolu ve Aparatı / 7. Tork Kaplini / 8. Tork Kaplini Sabitleme Kolu / 9. Dişli Kutusu / 10. Kontrol Panosu

Şekil 4.3. Deney düzeneği şematik gösterimi

4.4.2. Deney düzeneğine yük uygulama

Deney düzeneğine yük uygulaması şu şekilde yapılır;

- Tork kaplini üzerinde bulunan 4 adet M10 civata gevşetilir
- Tork kaplini sabitleme kolu vasıtasıyla, millerin dönmemesi için vidalı bir kol ile makine şasesine sabitleme yapılır
- Yük koluna deney düzeneğine ait ağırlıklar kol yere tam paralel iken asılır
- Ağırlıklar yük kolunda asılı iken tork kaplini üzerinde bulunan 4 adet M10 civatalar sıkılır
- Tork kaplininin üzerinde bulunduğu paralel mil sisteminden, vidalı yük kolu üzerindeki ağırlıkla beraber alınır
- Ağırlık asma kolu ve aparatı ile tork kaplini sabitleme kolu mil üzerinden alınır ve böylece sisteme moment uygulanır.

4.4.3. Dişlilerde oluşan hataların tespiti işlem sırası

Dişli çarklarda diş profillerinde oluşan hasarların tespiti altta verilen işlem sırasına göre belirlenir;

- Dişli kutusuna test için bağlanacak dişli çiftleri kolay izlenebilirlik olması ve karışmaların önüne geçilmek üzere numaralandırılır.
- Pinyon dişlilerin, test öncesi ağırlıkları 10^{-4} gr hassasiyetinde elektronik terazide ölçülerek kaydedilir
- Deney yapılacak pinyon ve çark dişli, dişli kutusuna bağlanır, kama yuvasına monte edilir, alın pulu sıkılır
- Dişli çarklar yük koluna yük asılarak yüklenir
- Elektrik motoru test devir değeri otomasyon kutusundan ayarlanarak çalıştırılır
- Pinyon dişli testleri, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında yapılır
- Tork kaplini civataları gevşetilerek dişliler üzerinde bulunan yük boşaltılır
- Test dişlileri dişli kutusundan çıkartılır, bezle diş profilleri silinir ve basınçlı hava ile temizlenir
- Pinyon dişli ağırlık ölçümleri yapılır ve kaydedilir
- Numaralandırılan pinyon dişlilerin yüzey pürüzlülükleri Çizelge 4.3.'de verilen periyotlarda yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazında ölçülür.

Çizelge 4.3. Dişli çark yükleme ve ölçüm periyodu

Deney No	Periyot (Tur)	Moment (N.m)	Devir (d/d)	Dönme Tekrarı (tur)	Pinyon Dişli ağırlık ve yüzey pürüzlülük ölçüm periyodu
1	5 – 10	0,5	300	50000 – 100000	Yükleme öncesi , 5 ve 10. turlarda
2	5 – 10	0,5	600	50000 – 100000	Yükleme öncesi , 5 ve 10. turlarda
3	5 – 10	0,5	900	50000 – 100000	Yükleme öncesi , 5 ve 10. turlarda
4	5 – 10	1	300	50000 – 100000	Yükleme öncesi , 5 ve 10. turlarda
5	5 – 10	1	600	50000 – 100000	Yükleme öncesi , 5 ve 10. turlarda
6	5 – 10	1	900	50000 – 100000	Yükleme öncesi , 5 ve 10. turlarda
7	5 – 10	1,5	300	50000 – 100000	Yükleme öncesi , 5 ve 10. turlarda
8	5 – 10	1,5	600	50000 – 100000	Yükleme öncesi , 5 ve 10. turlarda
9	5 – 10	1,5	900	50000 – 100000	Yükleme öncesi , 5 ve 10. turlarda

4.4.4. Diş profil hasarlarının tespiti

Diş profil hasarlarının tespiti için iki farklı yöntem kullanılmıştır.

4.4.4.1. Ağırlık ölçümü

Elektronik tartı ile diş profil hasarlarını test edebilmek için RADWAG Wagi Elektroniczne marka hassas terazi ile dişli çiftleri 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında test düzeneğinden sökülmüş, silinerek ve hava tutularak 1 saat sonra tartılarak dişlilerde meydana gelen aşınma miktarı belirlenmiştir. Pinyon dişli, dişli çarka göre daha fazla kavramaya girdiği ve daha fazla aşınmaya uğradığı için ağırlık ölçümleri pinyon dişlide yapılmıştır.

4.4.4.2. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü

Yüzey pürüzlülük ölçümleri; Mahr marka, MarSurf PS1 model yüzey pürüzlülük cihazında yapılmış olup, diş profillerindeki aşınmayı tespit edebilmek için, yine pinyon dişlinin Şekil 4.3.'de verilen periyotlardaki (yükleme yapılmadan, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında) dönme hareketi sonrası diş profil pürüzlülükleri Ra olarak ölçülerek dişlilerde meydana gelen aşınma derinlikleri belirlenmiştir. Pinyon dişli, dişli çarka göre daha fazla kavramaya girdiği ve daha fazla aşınmaya uğradığı için yüzey pürüzlülük ölçümleri pinyon dişlide yapılmıştır. Resim 4.10.'de pinyon dişli, diş profili yüzey pürüzlülük ölçümü gösterilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünde kullanılan parametreler;

Lt (tarama boyu) : 5,6 mm

Ls (kesme boyu) : 2,5 μ m

VB (ölçme kursu) : 350 μ m

Vt (ölçme hızı) : 0,5 mm/s



Resim 4.10. Pinyon dişli yüzey pürüzlülük ölçümü

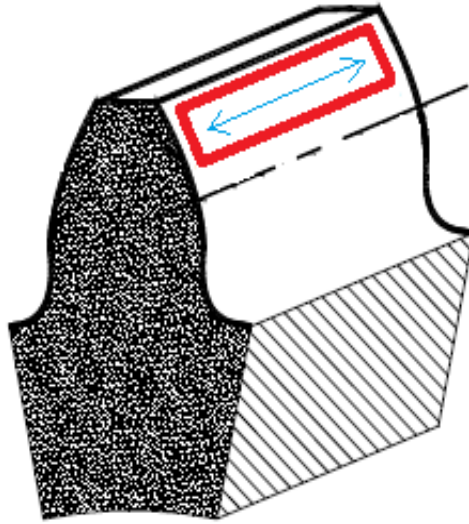
Dişli ağırlık ölçümlerinde kullanılan RADWAG marka hassas terazisi Resim 4.11.'de, yüzey pürüzlülük ölçüm cihazında ölçüm yapılan bölge Resim 4.12.'de, ve yüzey pürüzlülükleri ölçümlerinde kullanılan yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ise Resim 4.13.'de gösterilmiştir.

4.4.4.3. Dişlileri tartmada kullanılan hassas terazi teknik özellikleri

- Markası: RADWAG Wagi Elektroniczne
- Modeli: AS 220.R2
- Maksimum Ağırlık Ölçme Değeri: 220 g
- Minimum Ağırlık Ölçme Değeri: 10 mg
- $d = 0,1 \text{ mg} / e = 1 \text{ mg} / T = - 220 \text{ g}$



Resim 4.11. Dişlileri tartmada kullanılan hassas terazi



Resim 4.12. Yüzeş pürüzlülük ölçüm cihazında ölçüm yapılan bölge (Kutay, 2010)

Resim 4.12’de kırmızı ile gösterilen bölgede yüzeş pürüzlülük ölçümleri yapılmıştır. Yüzeş pürüzlülük ölçümleri mavi ok ile gösterilen istikametlerde yapılmıştır. Ölçümler 3 ayrı dişli profilde yapılmış olup, her dişli yanağında 3 er adet ölçüm alınarak tüm ölçümlerin aritmetik ortalaması pürüzlülük değeri olarak kabul edilmiştir. Yüzeş pürüzlülük tarama boyu ise $L_t=5,6$ mm aralığında yapılmıştır.

4.4.4.4. Yüzeş pürüzlülük ölçme cihazı teknik özellikleri

- Markası / Modeli: Mahr / MarSurf PS1

- Birim: mm / inch çevrimli
- Pikap: 2 μ m uç radiuslu ölçüm ucu, 0.7 mN baskı kuvveti, 350 μ m ölçme kursu
- Parametreler: Ra, Rp, Rz (Ry), Rmax, Rpm, Rpk, Rk, Rvk, Mr1, Mr2, A1, A2, Vo, Rt, R3z, R_{Pc}, R_{mr}, R_{Sm}, R, Ar, Rx
- 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



Resim 4.13. Ölçümlerde kullanılan yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Teknik özellikleri Bölüm 4.2’de verilen test dişlilerinin diş profillerinde oluşan aşınma miktarları, diş profili boyunca değişimi deneysel olarak incelenmiştir. Aşınma deneyleri için, (FZG) isimli kapalı devre deney düzeneği hazırlanmış ve tüm aşınma testleri bu düzende yapılmıştır. Deneylerde pinyon dişli diş sayısı $z_1 = 17$ olan pinyon dişli, $z_2 = 22$ diş olan çark dişliler kullanılmıştır. Aşınma deneylerinde, pinyon dişliler, deneyler öncesi, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarından sonra deney düzeneğinden sökülmüş ve temizlenmiştir. Dişli çark mekanizmalarında, diş profillerinde meydana gelen aşınma hasarları ile ilgili deneyler 2 ana gruptan oluşmaktadır.

1. Teknik ölçü ve özellikleri, Şekil 4.1.’de verilen pinyon dişliler deneyler sonrası 10^{-4} gram hassasiyetinde elektronik tartıda tartılarak aşınma sonuçları, ağırlık kayıpları belirlenmiştir. Ağırlık ölçümleri her 50000 turda iki kez tekrarlanmıştır. Yapılan tüm deneyler grafikler halinde verilmiştir.
2. Teknik verileri Şekil 4.1.’de verilen dişlilerin her 50000 tur sonunda yüzey pürüzlülük ölçüm cihazında yüzey pürüzlülükleri ölçülerek, aşınma testleri sonucu diş profillerinde oluşan pürüzlülük değişimleri incelenmiştir. Yüzey pürüzlülük ölçümleri her 50000 turda iki kez tekrarlanmıştır. Yapılan tüm deneyler grafikler halinde verilmiştir.

Dişli çarklar üç farklı motor hızında ve üç farklı döndürme momentinde döndürülerek, küçük (pinyon) dişli çarkta meydana gelen aşınmalar incelenmiştir. Deneylerde kullanılan dişli çarkların çevrim oranı 1,29’dur. Dolayısıyla pinyon dişli büyük dişli çarka nazaran 1,29 kat daha fazla dönme hareketi yapmıştır.

5.1. Elektronik tartı ile pinyon dişli çarktaki aşınmanın incelenmesi

Bölüm 4.4.4.1’de anlatıldığı üzere, pinyon dişlinin $N = 5 \times 10^4$ ve 10×10^4 dönme tekrarlarında deney düzeneğinden sökülerek, silindikten ve hava tutulduktan sonra

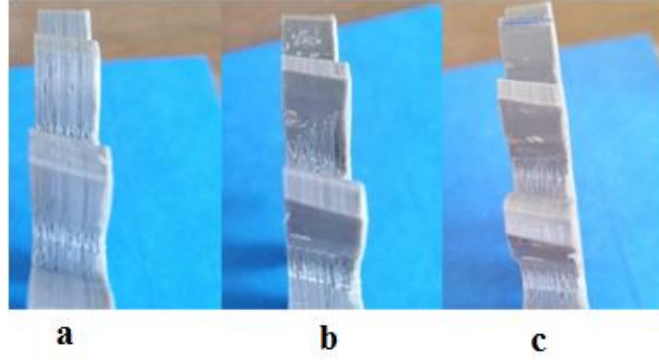
teknik özellikleri bölüm 4.4.4.3'de verilen elektronik tartı ile tartıldıktan sonra aşınma miktarları Şekil 5.1'den Şekil 5.8'e kadar grafikler halinde verilmiştir. Çizelge 5.1'de ise test esnasında kullanılan devir, dönme momenti ve dönme tekrarına göre pinyon dişlide meydana gelen aşınma değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.1. Devir , moment ve dönme tekrar değerlerine göre helisel dişli çarkta aşınma

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	95,9388	95,8777
1		96,0000	95,8869	95,7884
1,5		96,0000	95,8286	95,6764
0,5	600	96,0000	95,9449	95,8789
1		96,0000	95,8948	95,7968
1,5		96,0000	95,8331	95,6989
0,5	900	96,0000	95,9487	95,8903
1		96,0000	95,9014	95,8184
1,5		96,0000	95,8686	95,7483

5.1.1. 300 d/d devir, 0,5 Nm moment yükleme şartlarında pinyon helisel dişli çarkta aşınma

Resim 5.1'de a görseli 3D baskı sonrası herhangi bir yükleme yapılmayan helisel dişli çarka, b görseli 300 d/d devir 0,5 Nm moment değerinde 5×10^4 dönme tekrarında yük uygulanarak aşınmaya maruz kalan helisel dişli çarka, c görseli ise 300 d/d devir 0,5 Nm moment değerinde 10×10^4 dönme tekrarında yük uygulanarak aşınmaya maruz kalan helisel dişli çarka ait görsellerdir. Çizelge 5.1'de 300 d/d devir, 0,5 Nm dönme momentinde aşınma testlerine tabi tutulan pinyon dişliye ait aşınma değerleri, Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de ise pinyon dişlide meydana gelen aşınma miktarları grafik olarak verilmiştir.

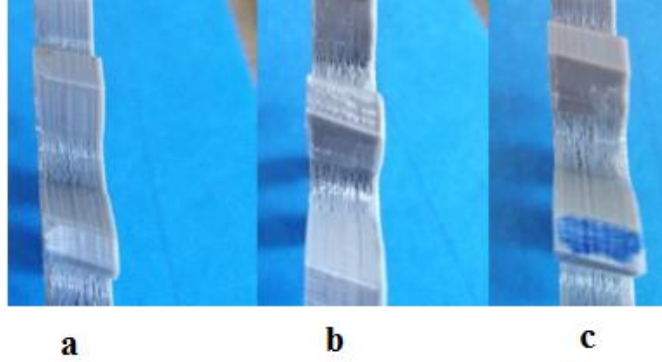


Resim 5.1. 300 d/d devir, 0,5 Nm moment yükleme şartları helisel dişli aşınması

3D baskı sonrası dişli çarka ait ağırlık değeri 96 gram olup, 300 d/d devir, 0,5 Nm moment ve 5×10^4 dönme tekrarı sonucunda parça ağırlığı 95,9388 grama düşerek 61,2 mg aşınma meydana gelmiştir. Yine aynı pinyon dişlinin ağırlığı 300 d/d devir, 0,5 Nm moment ve 10×10^4 dönme tekrarında 95,8777 grama düşmüş ve 122,3 mg aşınmaya maruz kalarak, 5×10^4 dönme tekrarına göre % 99,84 oranında daha fazla aşınmıştır.

5.1.2. 300 d/d devir, 1 Nm moment yükleme şartlarında pinyon helisel dişli çarkta aşınma

Resim 5.2'de a görseli 3D baskı sonrası herhangi bir yükleme yapılmayan helisel dişli çarka, b görseli 300 d/d devir 1 Nm moment değerinde 5×10^4 dönme tekrarında yük uygulanarak aşınmaya maruz kalan helisel dişli çarka, c görseli ise 300 d/d devir 1 Nm moment değerinde 10×10^4 dönme tekrarında yük uygulanarak aşınmaya maruz kalan helisel dişli çarka ait görsellerdir. Çizelge 5.1'de 300 d/d devir, 1 Nm dönme momentinde aşınma testlerine tabi tutulan pinyon dişliye ait aşınma değerleri, Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de ise pinyon dişlide meydana gelen aşınma miktarları grafik olarak verilmiştir.

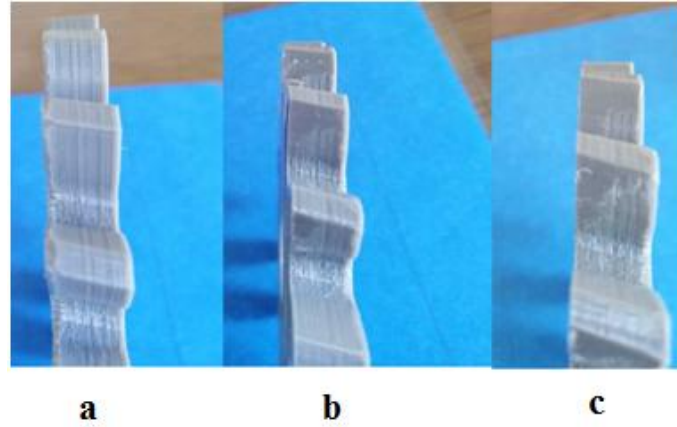


Resim 5.2. 300 d/d devir, 1 Nm moment yükleme şartları helisel dişli aşınması

3D baskı sonrası dişli çarka ait ağırlık değeri 96 gram olup, 300 d/d devir, 1 Nm moment ve 5×10^4 dönme tekrarı sonucunda parça ağırlığı 95,8869 gram ağırlığa düşerek 113,1 mg aşınma meydana gelmiştir. Yine aynı pinyon dişlinin ağırlığı 300 d/d devir, 1 Nm moment ve 10×10^4 dönme tekrarında 95,7884 ağırlığa düşmüş ve 211,6 mg aşınmaya maruz kalarak 5×10^4 dönme tekrarına göre % 87,1 oranında daha fazla aşınmıştır.

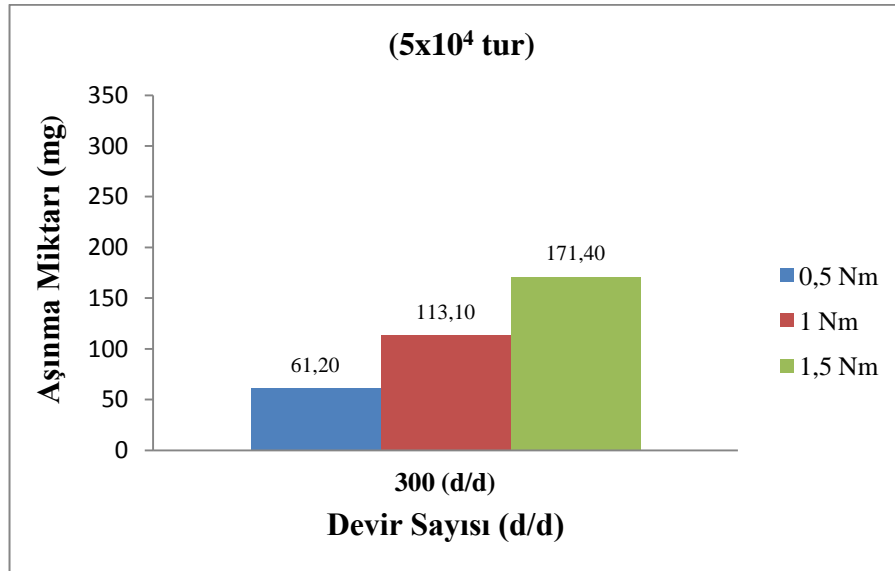
5.1.3. 300 d/d devir, 1,5 Nm moment yükleme şartlarında pinyon helisel dişli çarkta aşınma

Resim 5.3'de a görseli 3D baskı sonrası herhangi bir yükleme yapılmayan helisel dişli çarka, b görseli 300 d/d devir 1,5 Nm moment değerinde 5×10^4 dönme tekrarında yük uygulanarak aşınmaya maruz kalan helisel dişli çarka, c görseli ise 300 d/d devir 1,5 Nm moment değerinde 10×10^4 dönme tekrarında yük uygulanarak aşınmaya maruz kalan helisel dişli çarka ait görsellerdir. Çizelge 5.1'de 300 d/d devir, 1,5 Nm dönme momentinde aşınma testlerine tabi tutulan pinyon dişliye ait aşınma değerleri, Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de ise pinyon dişlide meydana gelen aşınma miktarları grafik olarak verilmiştir.

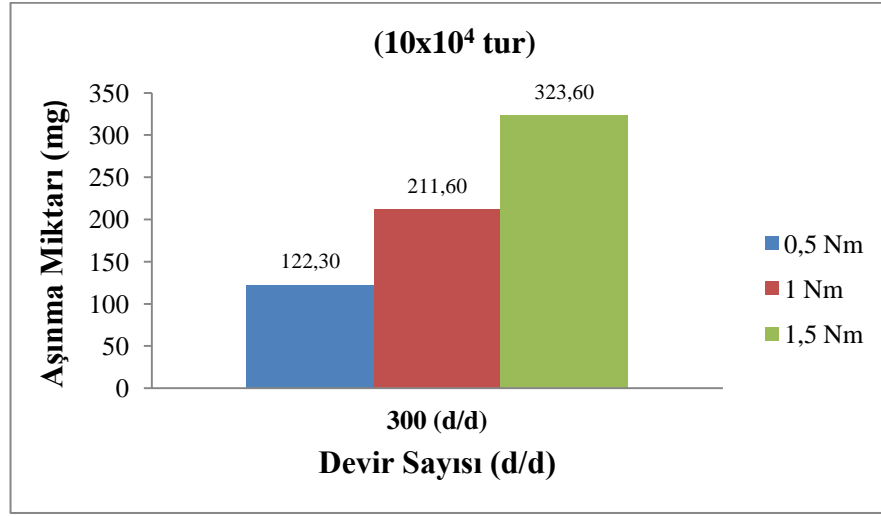


Resim 5.3. 300 d/d devir, 1,5 Nm moment yükleme şartları helisel dişli aşınması

3D baskı sonrası dişli çarka ait ağırlık değeri 96 gram olup, 300 d/d devir, 1,5 Nm moment ve 5×10^4 dönme tekrarı sonucunda parça ağırlığı 95,8286 ağırlığa düşerek 171,4 mg aşınma meydana gelmiştir. Yine aynı pinyon dişlinin ağırlığı 300 d/d devir, 1,5 Nm moment ve 10×10^4 dönme tekrarında 95,6764 grama düşmüş ve 323,6 mg aşınmaya maruz kalarak 5×10^4 dönme tekrarına göre % 88,8 oranında daha fazla aşınmıştır.



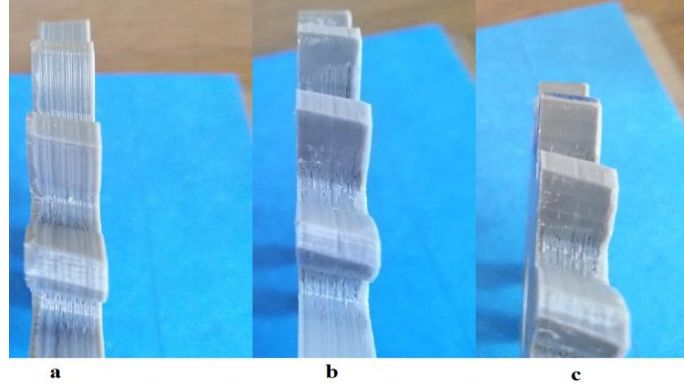
Şekil 5.1. 300 d/d, 0,5 - 1 - 1,5 Nm moment yüklemelerine göre 5×10^4 dönme tekrarında pinyon helis dişlide meydana gelen aşınma



Şekil 5.2. 300 d/d, 0,5 -1 - 1,5 Nm moment yüklemelerine göre 10×10^4 dönme tekrarında pinyon helis dişlide meydana gelen aşınma

5.1.4. 600 d/d devir, 0,5 Nm moment yükleme şartlarında pinyon helisel dişli çarkta aşınma

Resim 5.4'de a görseli 3D baskı sonrası herhangi bir yükleme yapılmayan helisel dişli çarka, b görseli 600 d/d devir 0,5 Nm moment değerinde 5×10^4 dönme tekrarında yük uygulanarak aşınmaya maruz kalan helisel dişli çarka, c görseli ise 600 d/d devir 0,5 Nm moment değerinde 10×10^4 dönme tekrarında yük uygulanarak aşınmaya maruz kalan helisel dişli çarka ait görsellerdir. Çizelge 5.1'de 600 d/d devir, 0,5 Nm dönme momentinde aşınma testlerine tabi tutulan pinyon dişliye ait aşınma değerleri, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'de ise pinyon dişlide meydana gelen aşınma miktarları grafik olarak verilmiştir.

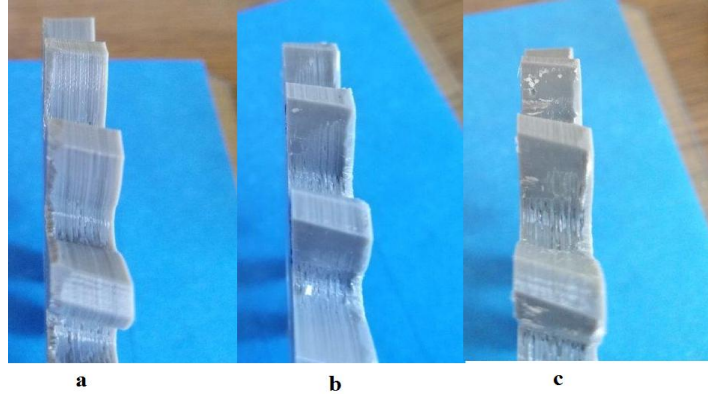


Resim 5.4. 600 d/d devir, 0,5 Nm moment yükleme şartları helisel dişli aşınması

3D baskı sonrası dişli çarka ait ağırlık değeri 96 gram olup, 600 d/d devir, 0,5 Nm moment ve 5×10^4 dönme tekrarı sonucunda parça ağırlığı 95,9449 grama düşerek 55,1 mg aşınma meydana gelmiştir. Yine aynı pinyon dişlinin ağırlığı 600 d/d devir, 0,5 Nm moment ve 10×10^4 dönme tekrarı 95,8789 grama düşmüş ve 121,1 mg aşınmaya maruz kalarak 5×10^4 dönme tekrarına göre % 119,78 oranında daha fazla aşınmıştır.

5.1.5. 600 d/d devir, 1 Nm moment yükleme şartlarında pinyon helisel dişli çarkta aşınma

Resim 5.5'de a görseli 3D baskı sonrası herhangi bir yükleme yapılmayan helisel dişli çarka, b görseli 600 d/d devir 1 Nm moment değerinde 5×10^4 dönme tekrarı yük uygulanarak aşınmaya maruz kalan helisel dişli çarka, c görseli ise 600 d/d devir 1 Nm moment değerinde 10×10^4 dönme tekrarı yük uygulanarak aşınmaya maruz kalan helisel dişli çarka ait görsellerdir. Çizelge 5.1'de 600 d/d devir, 1 Nm dönme momentinde aşınma testlerine tabi tutulan pinyon dişliye ait aşınma değerleri, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'de ise pinyon dişlide meydana gelen aşınma miktarları grafik olarak verilmiştir.

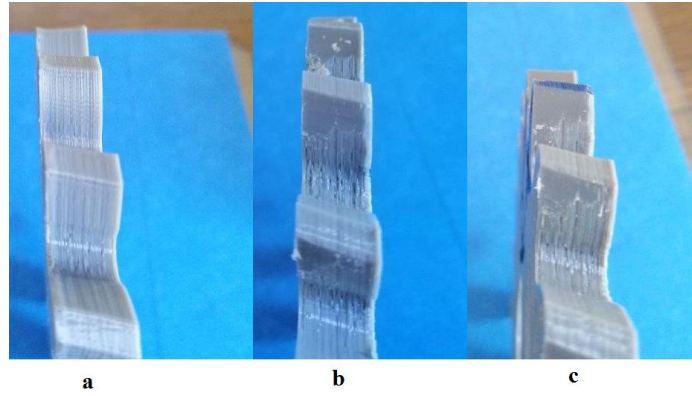


Resim 5.5. 600 d/d devir, 1 Nm moment yükleme şartları helisel dişli aşınması

3D baskı sonrası dişli çarka ait ağırlık değeri 96 gram olup, 600 d/d devir, 1 Nm moment ve 5×10^4 dönme tekrarı sonucunda parça ağırlığı 95,8948 grama düşerek 105,2 mg aşınma meydana gelmiştir. Yine aynı pinyon dişlinin ağırlığı 600 d/d devir, 1 Nm moment ve 10×10^4 dönme tekrarında 95,7968 grama düşmüş ve 203,2 mg aşınmaya maruz kalarak 5×10^4 dönme tekrarına göre % 93,16 oranında daha fazla aşınmıştır.

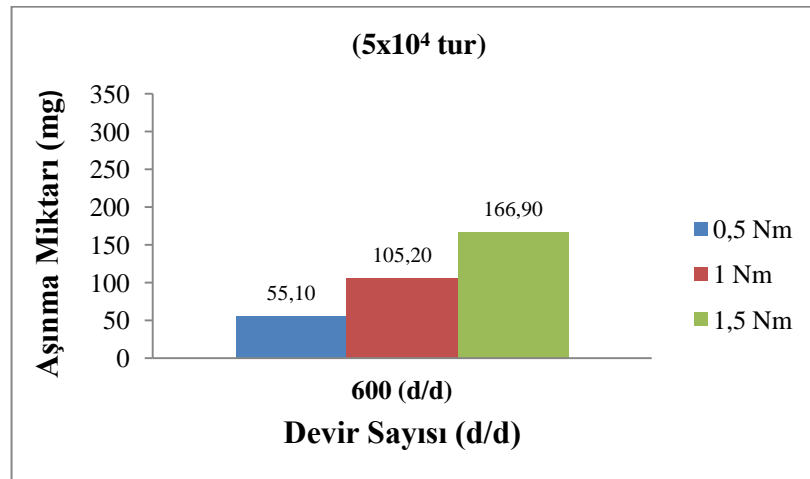
5.1.6. 600 d/d devir, 1,5 Nm moment yükleme şartlarında pinyon helisel dişli çarkta aşınma

Resim 5.6'de a görseli 3D baskı sonrası herhangi bir yükleme yapılmayan helisel dişli çarka, b görseli 600 d/d devir 1,5 Nm moment değerinde 5×10^4 dönme tekrarında yük uygulanarak aşınmaya maruz kalan helisel dişli çarka, c görseli ise 600 d/d devir 1,5 Nm moment değerinde 10×10^4 dönme tekrarında yük uygulanarak aşınmaya maruz kalan helisel dişli çarka ait görsellerdir. Çizelge 5.1'de 600 d/d devir, 1,5 Nm dönme momentinde aşınma testlerine tabi tutulan pinyon dişliye ait aşınma değerleri, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'de ise pinyon dişlide meydana gelen aşınma miktarları grafik olarak verilmiştir.

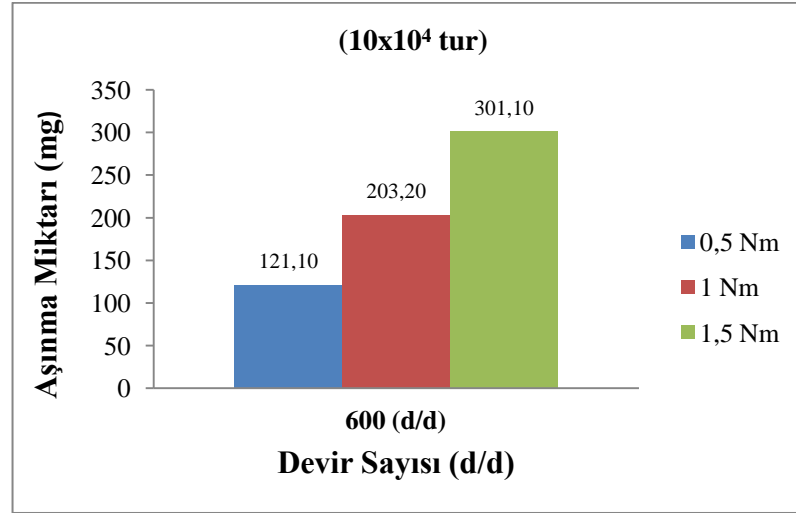


Resim 5.6. 600 d/d devir, 1,5 Nm moment yükleme şartları helisel dişli aşınması

3D baskı sonrası dişli çarka ait ağırlık değeri 96 gram olup, 600 d/d devir, 1,5 Nm moment ve 5×10^4 dönme tekrarı sonucunda parça ağırlığı 95,8331 grama düşerek 166,9 mg aşınma meydana gelmiştir. Yine aynı pinyon dişlinin ağırlığı 600 d/d devir, 1,5 Nm moment ve 10×10^4 dönme tekrarı 95,6989 grama düşmüş ve 301,1 mg aşınmaya maruz kalarak toplamda 5×10^4 dönme tekrarına göre % 80,4 oranında daha fazla aşınmıştır.



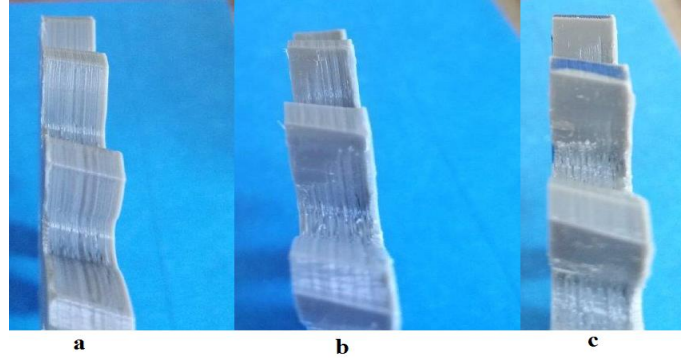
Şekil 5.3. 300 d/d, 0,5 -1 - 1,5 Nm moment yüklemelerine göre 5×10^4 dönme tekrarında pinyon helis dişlide meydana gelen aşınma



Şekil 5.4. 600 d/d, 0,5 - 1 - 1,5 Nm moment yüklemelerine göre 10×10^4 dönme tekrarında pinyon helis dişlide meydana gelen aşınma

5.1.7. 900 d/d devir, 0,5 Nm moment yükleme şartlarında pinyon helisel dişli çarkta aşınma

Resim 5.7'de a görseli 3D baskı sonrası herhangi bir yükleme yapılmayan helisel dişli çarka, b görseli 900 d/d devir 0,5 Nm moment değerinde 5×10^4 dönme tekrarında yük uygulanarak aşınmaya maruz kalan helisel dişli çarka, c görseli ise 900 d/d devir 0,5 Nm moment değerinde 10×10^4 dönme tekrarında yük uygulanarak aşınmaya maruz kalan helisel dişli çarka ait görsellerdir. Çizelge 5.1'de 900 d/d devir, 0,5 Nm dönme momentinde aşınma testlerine tabi tutulan pinyon dişliye ait aşınma değerleri, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'de ise pinyon dişlide meydana gelen aşınma miktarları grafik olarak verilmiştir.

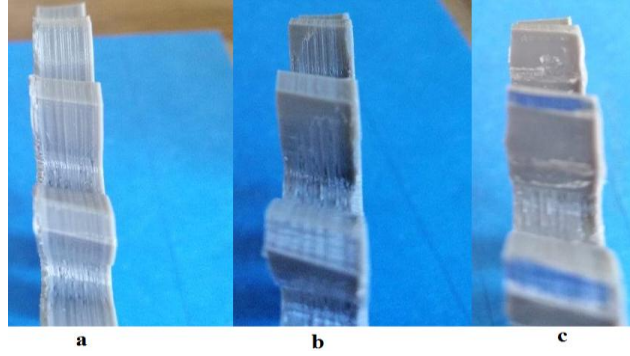


Resim 5.7. 900 d/d devir, 0,5 Nm moment yükleme şartları helisel dişli aşınması

3D baskı sonrası dişli çarka ait ağırlık değeri 96 gram olup, 900 d/d devir, 0,5 Nm moment ve 5×10^4 dönme tekrarı sonucunda parça ağırlığı 95,9487 grama düşerek 51,3 mg aşınma meydana gelmiştir. Yine aynı pinyon dişlinin ağırlığı 900 d/d devir, 0,5 Nm moment ve 10×10^4 dönme tekrarı 95,8903 grama düşmüş ve 109,7 mg aşınmaya maruz kalarak 5×10^4 dönme tekrarına göre % 138,4 oranında daha fazla aşınmıştır.

5.1.8. 900 d/d devir, 1 Nm moment yükleme şartlarında pinyon helisel dişli çarkta aşınma

Resim 5.8'de a görseli 3D baskı sonrası herhangi bir yükleme yapılmayan helisel dişli çarka, b görseli 900 d/d devir 1 Nm moment değerinde 5×10^4 dönme tekrarı yük uygulanarak aşınmaya maruz kalan helisel dişli çarka, c görseli ise 900 d/d devir 1 Nm moment değerinde 10×10^4 dönme tekrarı yük uygulanarak aşınmaya maruz kalan helisel dişli çarka ait görsellerdir. Çizelge 5.1'de 900 d/d devir, 1 Nm dönme momentinde aşınma testlerine tabi tutulan pinyon dişliye ait aşınma değerleri, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'de ise pinyon dişlide meydana gelen aşınma miktarları grafik olarak verilmiştir.

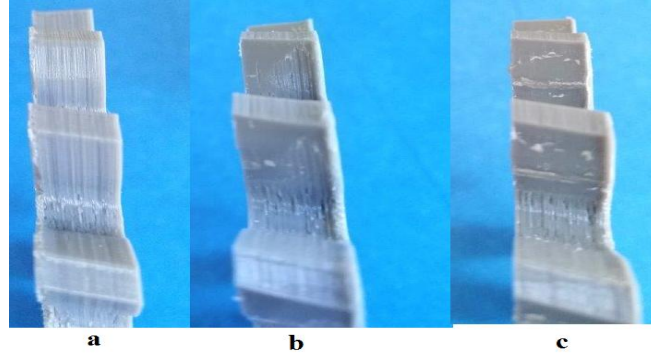


Resim 5.8. 900 d/d devir, 1 Nm moment yükleme şartları helisel dişli aşınması

3D baskı sonrası dişli çarka ait ağırlık değeri 96 gram olup, 900 d/d devir, 1 Nm moment ve 5×10^4 dönme tekrarı sonuncunda parça ağırlığı 95,9014 grama düşerek 98,6 mg aşınma meydana gelmiştir. Yine aynı pinyon dişlinin ağırlığı 900 d/d devir, 1 Nm moment ve 10×10^4 dönme tekrarı 95,8184 grama düşmüş ve 181,6 mg aşınmaya maruz kalarak 5×10^4 dönme tekrarına göre % 84,18 oranında daha fazla aşınmıştır.

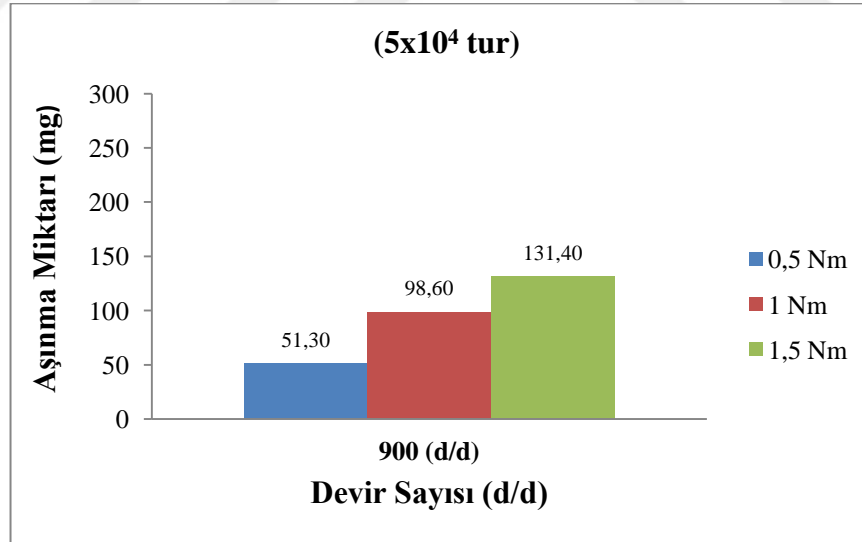
5.1.9. 900 d/d devir, 1,5 Nm moment yükleme şartlarında pinyon helisel dişli çarkta aşınma

Resim 5.9'da a görseli 3D baskı sonrası herhangi bir yükleme yapılmayan helisel dişli çarka, b görseli 900 d/d devir 1,5 Nm moment değerinde 5×10^4 dönme tekrarında yük uygulanarak aşınmaya maruz kalan helisel dişli çarka, c görseli ise 900 d/d devir 1,5 Nm moment değerinde 10×10^4 dönme tekrarında yük uygulanarak aşınmaya maruz kalan helisel dişli çarka ait görsellerdir. Çizelge 5.1'de 900 d/d devir, 1,5 Nm dönme momentinde aşınma testlerine tabi tutulan pinyon dişliye ait aşınma değerleri, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'de ise pinyon dişlide meydana gelen aşınma miktarları grafik olarak verilmiştir.

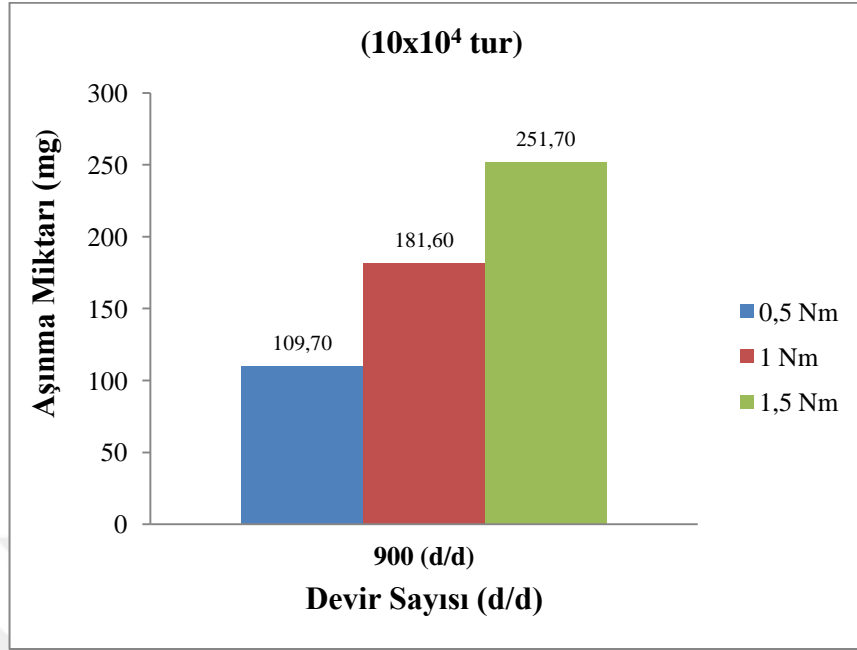


Resim 5.9. 900 d/d devir, 1,5 Nm moment yükleme şartları helisel dişli aşınması

3D baskı sonrası dişli çarka ait ağırlık değeri 96 gram olup, 900 d/d devir, 1,5 Nm moment ve 5×10^4 dönme tekrarı sonuncunda parça ağırlığı 95,8686 grama düşerek 131,4 mg aşınma meydana gelmiştir. Yine aynı pinyon dişlinin ağırlığı 900 d/d devir, 1,5 Nm moment ve 10×10^4 dönme tekrarı sonunda 95,7483 grama düşmüş ve 251,7 mg aşınmaya maruz kalarak 5×10^4 dönme tekrarına göre % 91,55 oranında daha fazla aşınmıştır.



Şekil 5.5. 900 d/d, 0,5 - 1 - 1,5 Nm moment yüklemelerine göre 5×10^4 dönme tekrarında pinyon helis dişlide meydana gelen aşınma



Şekil 5.6. 900 d/d, 0,5 -1 - 1,5 Nm moment yüklemelerine göre 10×10^4 dönme tekrarında pinyon helis dişlide meydana gelen aşınma

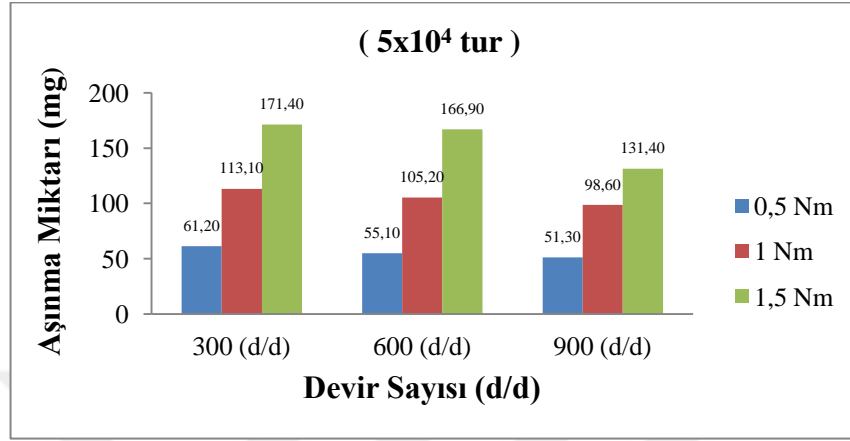
5.1.10. Elektronik tartı ile pinyon dişli çarktaki aşınmanın değerlendirilmesi

Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de 300, 600, 900 d/d devir, 0,5-1-1,5 Nm moment yüklemelerinde 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarlarında pinyon helis dişli çarkta meydana gelen aşınmalar grafik halinde verilmiştir.

Şekil 5.7 ve Şekil 5.8 incelendiğinde; aynı devir sayısı değerlerinde, aynı dönme tekrarlarında, dönme momentinin artırılması sonucu aşınma değerinin arttığı görülmektedir. Örneğin 600 d/d devir değerinde, 10×10^4 dönme tekrarında, 0,5 Nm momentini aşınması 121,1 mg, 1 Nm momentini aşınması 203,2 mg, 1,5 Nm momentini aşınması 301,1 mg olarak ölçülmüştür.

Şekil 5.7. ve Şekil 5.8. incelendiğinde; devir sayısı artırıldığında aynı yük değeri ve aynı dönme tekrarında yapılan yüklemelerde aşınma miktarının azaldığı görülmektedir. Örneğin Şekil 5.7.'de 300 d/d devirde 0,5 Nm moment yüklemesinde, 5×10^4 dönme tekrarında aşınma miktarı 61,2 mg iken, bu değer 600 d/d devirde aynı

yük ve dönme tekrarında 55,1 mg, 900 d/d devirde aynı yük ve dönme tekrarında ise 51,3 mg olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.7. Tüm devir ve moment değerlerine göre 5×10^4 dönme tekrarına göre aşınma

Şekil 5.7 incelendiğinde 300 d/d devir, 0,5 Nm moment ve 5×10^4 dönme tekrarında yük uygulanan plastik helisel dişlide 61,2 mg aşınma meydana gelmiştir. Devir değeri % 100 oranında artırılarak 600 d/d alındığında meydana gelen aşınma miktarı 61,2 mg'dan 55,1 mg'a düşerek % 9,97 oranında daha az aşınmıştır. Daha sonra 0,5 Nm moment değerinde helisel dişli çarka uygulanan devir değeri % 50 oranında artırılarak 900 d/d alındığında aşınma miktarı 55,1 mg'dan 51,3 mg'a düşerek % 6,9 oranında daha az aşınmaya uğramıştır.

300 d/d devir, 1 Nm moment ve 5×10^4 dönme tekrarında yük uygulanan plastik helisel dişlide 113,1 mg aşınma meydana gelmiştir. Devir değeri % 100 oranında artırılarak 600 d/d alındığında meydana gelen aşınma miktarı 113,1 mg'dan 105,2 mg'a düşerek % 6,99 oranında daha az aşınmıştır. Daha sonra 1 Nm moment değerinde helisel dişli çarka uygulanan devir değeri % 50 oranında artırılarak 900 d/d alındığında aşınma miktarı 105,2 mg'dan 98,6 mg'a düşerek % 6,27 oranında daha az aşınmaya uğramıştır.

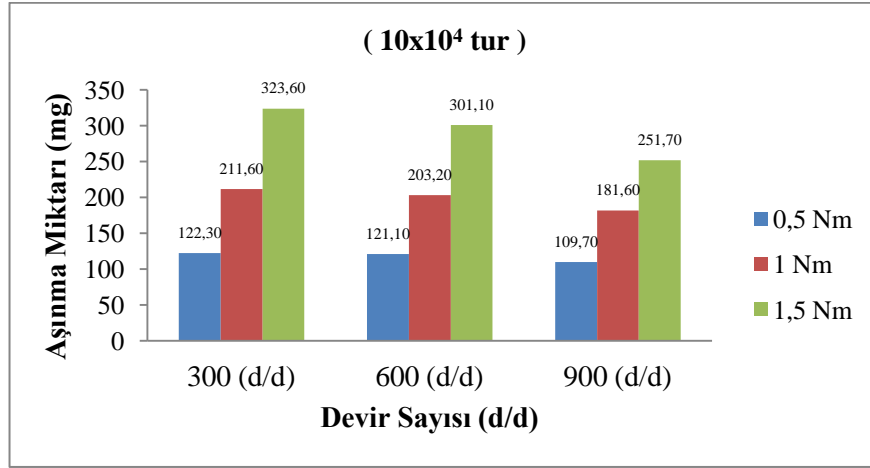
300 d/d devir, 1,5 Nm moment ve 5×10^4 dönme tekrarında yük uygulanan plastik helisel dişlide 171,4 mg aşınma meydana gelmiştir. Devir değeri % 100 oranında artırılarak 600 d/d alındığında meydana gelen aşınma miktarı 171,4 mg'dan 166,9

mg'a düşerek % 2,63 oranında daha az aşınmıştır. Daha sonra 1,5 Nm moment değerinde helisel dişli çarka uygulanan devir değeri % 50 oranında artırılarak 900 d/d alındığında aşınma miktarı 166,9 mg'dan 131,4 mg'a düşerek % 21,27 oranında daha az aşınmaya uğramıştır.

Yine Şekil 5.7. incelendiğinde 300 d/d devir, 0,5 Nm moment ve 5×10^4 dönme tekrarında helisel dişli çarktaki aşınmanın 61,2 mg olduğu, devir ve dönme tekrarı değerlerinin sabit tutulup moment iki katına yani 1 Nm değerine çıkartıldığında aşınma miktarının 113,1 mg'a çıkararak % 84,8 oranında daha fazla aşınmaya maruz kaldığı görülmektedir. Yine devir ve dönme miktarı sabit tutularak moment miktarı 1,5 Nm'ye çıkartıldığında helisel dişli çarkta aşınma miktarının 171,4 mg'a çıkararak 1 Nm moment değerindeki aşınmaya oranla % 51,54 oranında daha fazla aşınmaya uğradığı görülmüştür.

600 d/d devir, 0,5 Nm moment ve 5×10^4 dönme tekrarında helisel dişli çarktaki aşınmanın 55,1 mg olduğu, devir ve dönme tekrarı değerlerinin sabit tutulup moment iki katına yani 1 Nm değerine çıkartıldığında aşınma miktarının 105,2 mg'a çıkararak % 90,93 oranında daha fazla aşınmaya maruz kaldığı görülmektedir. Yine devir ve dönme miktarı sabit tutularak moment miktarı 1,5 Nm'ye çıkartıldığında helisel dişli çarkta aşınma miktarının 166,9 mg'a çıkararak 1 Nm moment değerindeki aşınmaya oranla % 58,65 oranında daha fazla aşınmaya uğradığı görülmüştür.

900 d/d devir, 0,5 Nm moment ve 5×10^4 dönme tekrarında helisel dişli çarktaki aşınmanın 51,3 mg olduğu, devir ve dönme tekrarı değerlerinin sabit tutulup moment iki katına yani 1 Nm değerine çıkartıldığında aşınma miktarının 98,6 mg'a çıkararak % 92,2 oranında daha fazla aşınmaya maruz kaldığı görülmektedir. Yine devir ve dönme miktarı sabit tutularak moment miktarı 1,5 Nm'ye çıkartıldığında helisel dişli çarkta aşınma miktarının 131,4 mg'a çıkararak 1 Nm moment değerindeki aşınmaya oranla % 33,27 oranında daha fazla aşınmaya uğradığı görülmüştür.



Şekil 5.8. Tüm devir ve moment değerlerine göre 10×10^4 dönme tekrarına göre aşınma

Şekil 5.8 incelendiğinde 300 d/d devir, 0,5 Nm moment ve 10×10^4 dönme tekrarında yük uygulanan plastik helisel dişlide 122,3 mg aşınma meydana gelmiştir. Devir değeri % 100 oranında artırılarak 600 d/d alındığında meydana gelen aşınma miktarı 122,3 mg'dan 121,1 mg'a düşerek % 1 oranında daha az aşınmıştır. Daha sonra 0,5 Nm moment değerinde helisel dişli çarka uygulanan devir değeri % 50 oranında artırılarak 900 d/d alındığında aşınma miktarı 122,1 mg'dan 109,7 mg'a düşerek % 10,16 oranında daha az aşınmaya uğramıştır.

300 d/d devir, 1 Nm moment ve 10×10^4 dönme tekrarında yük uygulanan plastik helisel dişlide 211,6 mg aşınma meydana gelmiştir. Devir değeri % 100 oranında artırılarak 600 d/d alındığında meydana gelen aşınma miktarı 211,6 mg'dan 203,2 mg'a düşerek % 3,97 oranında daha az aşınmıştır. Daha sonra 1 Nm moment değerinde helisel dişli çarka uygulanan devir değeri % 50 oranında artırılarak 900 d/d alındığında aşınma miktarı 203,2 mg'dan 181,6 mg'a düşerek % 10,63 oranında daha az aşınmaya uğramıştır.

300 d/d devir, 1,5 Nm moment ve 10×10^4 dönme tekrarında yük uygulanan plastik helisel dişlide 323,6 mg aşınma meydana gelmiştir. Devir değeri % 100 oranında artırılarak 600 d/d alındığında meydana gelen aşınma miktarı 323,6 mg'dan 301,1 mg'a düşerek % 6,95 oranında daha az aşınmıştır. Daha sonra 1,5 Nm moment

değerinde helisel dişli çarka uygulanan devir değeri % 50 oranında artırılarak 900 d/d alındığında aşınma miktarı 301,1 mg'dan 251,7 mg'a düşerek % 16,4 oranında daha az aşınmaya uğramıştır.

Yine Şekil 5.8. incelendiğinde 300 d/d devir, 0,5 Nm moment ve 10×10^4 dönme tekrarında helisel dişli çarktaki aşınmanın 122,3 mg olduğu, devir ve dönme tekrarı değerlerinin sabit tutulup moment iki katına yani 1 Nm değerine çıkartıldığında aşınma miktarının 211,6 mg'a çıkarak % 73 oranında daha fazla aşınmaya maruz kaldığı görülmektedir. Yine devir ve dönme miktarı sabit tutularak moment miktarı 1,5 Nm'ye çıkartıldığında helisel dişli çarkta aşınma miktarının 323,6 mg'a çıkarak 1 Nm moment değerindeki aşınmaya oranla % 52,93 oranında daha fazla aşınmaya uğradığı görülmüştür.

600 d/d devir, 0,5 Nm moment ve 10×10^4 dönme tekrarında helisel dişli çarktaki aşınmanın 121,1 mg olduğu, devir ve dönme tekrarı değerlerinin sabit tutulup moment iki katına yani 1 Nm değerine çıkartıldığında aşınma miktarının 203,2 mg'a çıkarak % 67,8 oranında daha fazla aşınmaya maruz kaldığı görülmektedir. Yine devir ve dönme miktarı sabit tutularak moment miktarı 1,5 Nm'ye çıkartıldığında helisel dişli çarkta aşınma miktarının 301,1 mg'a çıkarak 1 Nm moment değerindeki aşınmaya oranla % 48,18 oranında daha fazla aşınmaya uğradığı görülmüştür.

900 d/d devir, 0,5 Nm moment ve 10×10^4 dönme tekrarında helisel dişli çarktaki aşınmanın 109,7 mg olduğu, devir ve dönme tekrarı değerlerinin sabit tutulup moment iki katına yani 1 Nm değerine çıkartıldığında aşınma miktarının 181,6 mg'a çıkarak % 65,54 oranında daha fazla aşınmaya maruz kaldığı görülmektedir. Yine devir ve dönme miktarı sabit tutularak moment miktarı 1,5 Nm'ye çıkartıldığında helisel dişli çarkta aşınma miktarının 251,7 mg'a çıkarak 1 Nm moment değerindeki aşınmaya oranla % 38,6 oranında daha fazla aşınmaya uğradığı görülmüştür.

5.2. Yüzey pürüzlülük ölçümü ile helisel pinyon dişli çarktaki aşınmanın incelenmesi

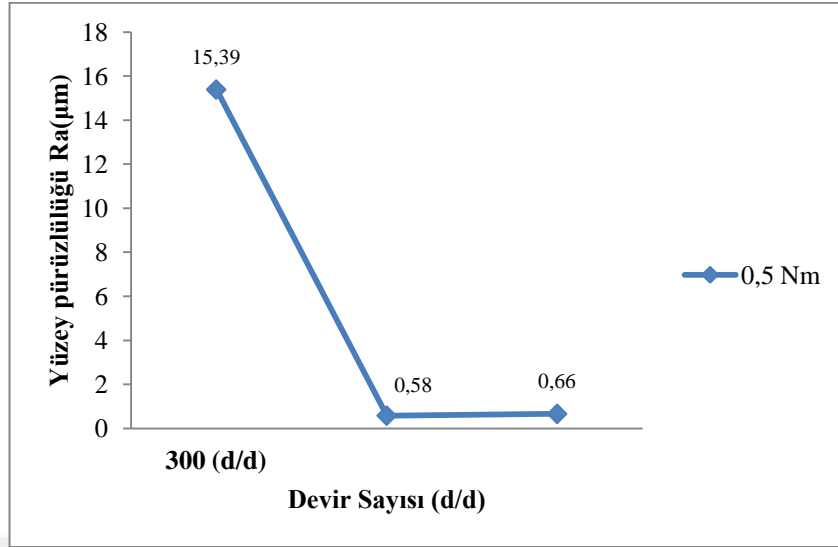
Bölüm 4.4.4'de anlatıldığı üzere, pinyon dişlinin $N= 5 \times 10^4$ ve 10×10^4 dönme tekrarlarında deney düzeneğinden sökülerek, silindikten ve hava tutulduktan sonra teknik özellikleri bölüm 4.4.4.2'de verilen yüzey pürüzlülük ölçüm cihazında yüzey pürüzlülükleri ölçülüş ve Şekil 5.9'den Şekil 5.17'e kadar grafikler halinde verilmiştir. Çizelge 5.2'de ise test esnasında kullanılan devir, dönme momenti ve dönme tekrarına göre pinyon dişli yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.2. Devir , moment ve dönme tekrar değerlerine göre helisel dişli çark diş profillerinde meydana gelen yüzey pürüzlülük değişim 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	15.39	0.58	0.66
1		16.48	0.62	0.72
1,5		14.75	0.68	0.89
0,5	600	16.34	0.47	0.64
1		16.23	0.49	0.66
1,5		15.39	0.58	0.72
0,5	900	14.62	0.45	0.56
1		16.20	0.47	0.63
1,5		16.86	0.51	0.69

5.2.1. 300 d/d devir, 0,5 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında pinyon helisel dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerine bağlı aşınma

Çizelge 5.2'de 300 d/d devir, 0,5 Nm dönme momentinde ve 5×10^4 , 10×10^4 dönme tekrarlarında aşınma testlerine tabi tutulan helisel pinyon dişliye ait yüzey pürüzlülük değerleri, Şekil 5.9'de ise helisel pinyon dişli yüzey profilinde meydana gelen yüzey pürüzlülüğü değişim miktarları grafik olarak verilmiştir.

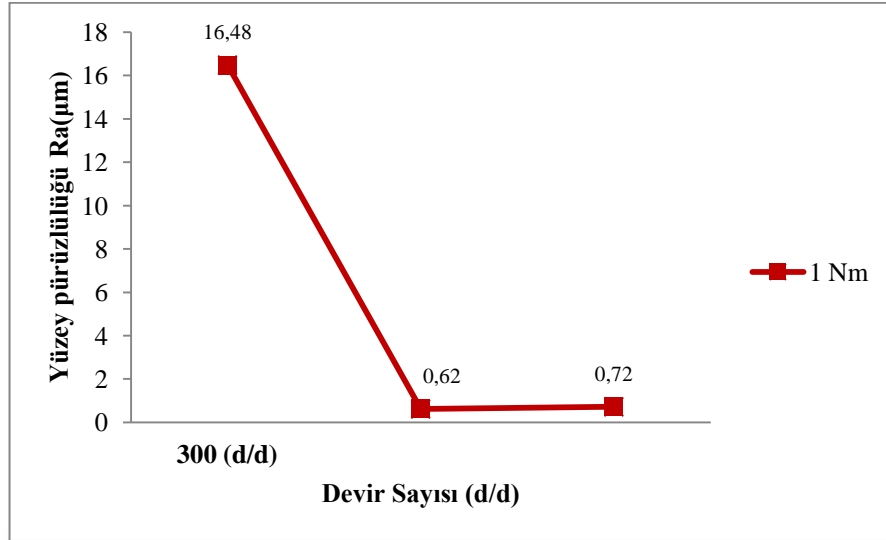


Şekil 5.9. 300 d/d devir, 0,5 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında helisel pinyon dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerleri değişimi

3D baskı sonrası helisel dişli çarka ait diş profili yüzey pürüzlülük değeri (R_a) 15,39 μm olup, 300 d/d devir, 0,5 Nm moment ve 5×10^4 dönme tekrarı sonucunda diş profili yüzey pürüzlülük değeri (R_a) 0,58 μm 'e düşerek, 26,54 kat iyileşme göstermiştir. Yine aynı helisel pinyon dişlinin 300 d/d devir, 0,5 Nm moment ve 10×10^4 dönme tekrarı sonucunda diş profili yüzey pürüzlülük değeri (R_a) 0,66 μm 'e yükselerek 1,14 kat artış göstermiştir.

5.2.2. 300 d/d devir, 1 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında pinyon helisel dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerine bağlı aşınma

Çizelge 5.2'de 300 d/d devir, 1 Nm dönme momentinde ve 5×10^4 , 10×10^4 dönme tekrarlarında aşınma testlerine tabi tutulan helisel pinyon dişliye ait yüzey pürüzlülük değerleri, Şekil 5.10'de ise helisel pinyon dişli yüzey profilinde meydana gelen yüzey pürüzlülüğü değişim miktarları grafik olarak verilmiştir.

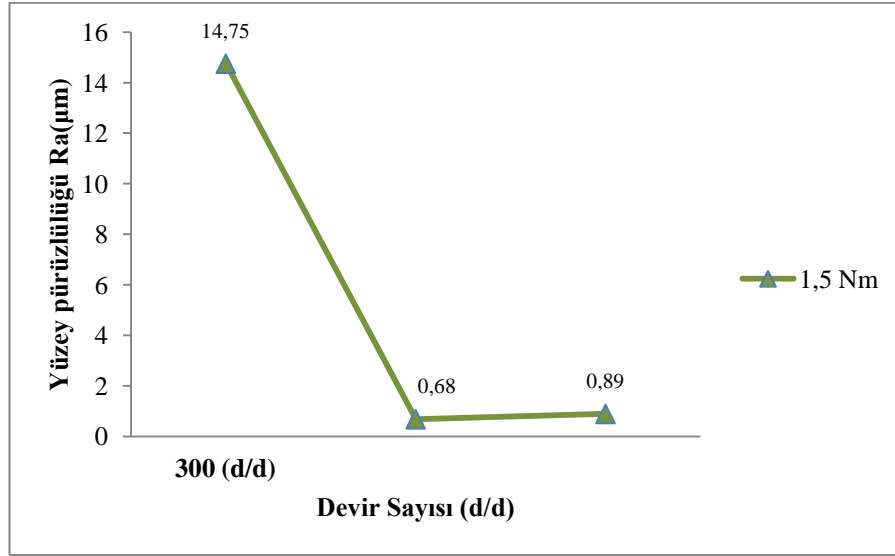


Şekil 5.10. 300 d/d devir, 1 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında helisel pinyon dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerleri değişimi

3D baskı sonrası helisel dişli çarka ait diş profili yüzey pürüzlülük değeri (R_a) 16,48 μm olup, 300 d/d devir, 1 Nm moment ve 5×10^4 dönme tekrarı sonucunda diş profili yüzey pürüzlülük değeri (R_a) 0,62 μm 'e düşerek, 26,58 kat iyileşme göstermiştir. Yine aynı helisel pinyon dişlinin 300 d/d devir, 1 Nm moment ve 10×10^4 dönme tekrarı sonucunda diş profili yüzey pürüzlülük değeri (R_a) 0,72 μm 'e yükselerek 1,16 kat artış göstermiştir.

5.2.3. 300 d/d devir, 1,5 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında pinyon helisel dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerine bağlı aşınma

Çizelge 5.2'de 300 d/d devir, 1,5 Nm dönme momentinde ve 5×10^4 , 10×10^4 dönme tekrarlarında aşınma testlerine tabi tutulan helisel pinyon dişliye ait yüzey pürüzlülük değerleri, Şekil 5.11'de ise helisel pinyon dişli yüzey profilinde meydana gelen yüzey pürüzlülüğü değişim miktarları grafik olarak verilmiştir.

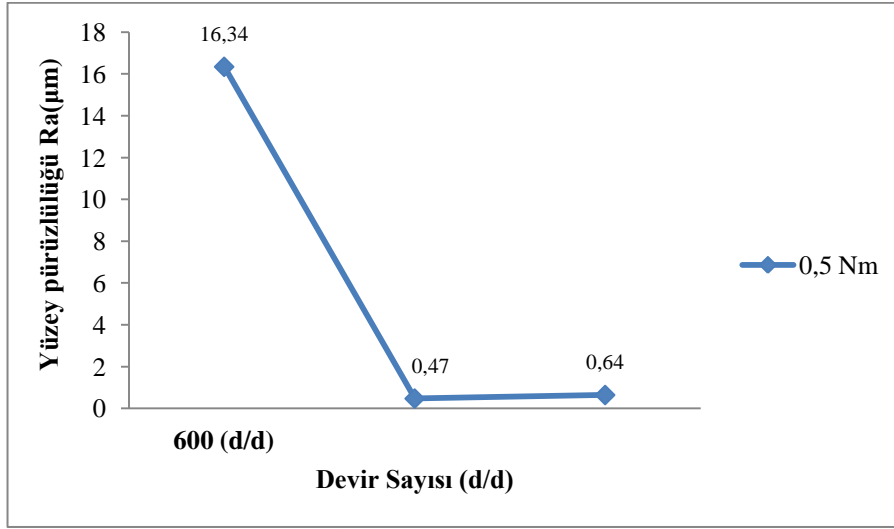


Şekil 5.11. 300 d/d devir, 1,5 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında helisel pinyon dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerleri değişimi

3D baskı sonrası helisel dişli çarka ait diş profili yüzey pürüzlülük değeri (R_a) 14,75 μm olup, 300 d/d devir, 1,5 Nm moment ve 5×10^4 dönme tekrarı sonucunda diş profili yüzey pürüzlülük değeri (R_a) 0,68 μm 'e düşerek, 21,7 kat iyileşme göstermiştir. Yine aynı helisel pinyon dişlinin 300 d/d devir, 1,5 Nm moment ve 10×10^4 dönme tekrarı sonucunda diş profili yüzey pürüzlülük değeri (R_a) 0,89 μm 'e yükselerek 1,31 kat artış göstermiştir.

5.2.4. 600 d/d devir, 0,5 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında pinyon helisel dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerine bağlı aşınma

Çizelge 5.2'de 600 d/d devir, 0,5 Nm dönme momentinde ve 5×10^4 , 10×10^4 dönme tekrarlarında aşınma testlerine tabi tutulan helisel pinyon dişliye ait yüzey pürüzlülük değerleri, Şekil 5.12'de ise helisel pinyon dişli yüzey profilinde meydana gelen yüzey pürüzlülüğü değişim miktarları grafik olarak verilmiştir.

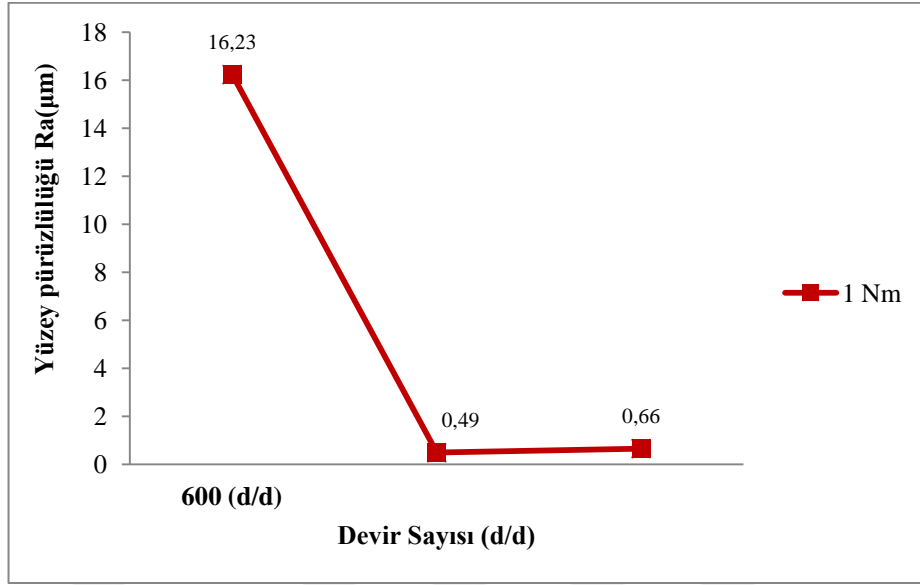


Şekil 5.12. 600 d/d devir, 0,5 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarıda helisel pinyon dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerleri değişimi

3D baskı sonrası helisel dişli çarka ait diş profili yüzey pürüzlülük değeri (R_a) 16,34 μm olup, 600 d/d devir, 0,5 Nm moment ve 5×10^4 dönme tekrarı sonucunda diş profili yüzey pürüzlülük değeri (R_a) 0,47 μm 'e düşerek, 34,77 kat iyileşme göstermiştir. Yine aynı helisel pinyon dişlinin 600 d/d devir, 0,5 Nm moment ve 10×10^4 dönme tekrarı sonucunda diş profili yüzey pürüzlülük değeri (R_a) 0,64 μm 'e yükselerek 1,36 kat artış göstermiştir.

5.2.5. 600 d/d devir, 1 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarıda pinyon helisel dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerine bağlı aşınma

Çizelge 5.2'de 600 d/d devir, 1 Nm dönme momentinde ve 5×10^4 , 10×10^4 dönme tekrarlarında aşınma testlerine tabi tutulan helisel pinyon dişliye ait yüzey pürüzlülük değerleri, Şekil 5.13'de ise helisel pinyon dişli yüzey profilinde meydana gelen yüzey pürüzlülüğü değişim miktarları grafik olarak verilmiştir.

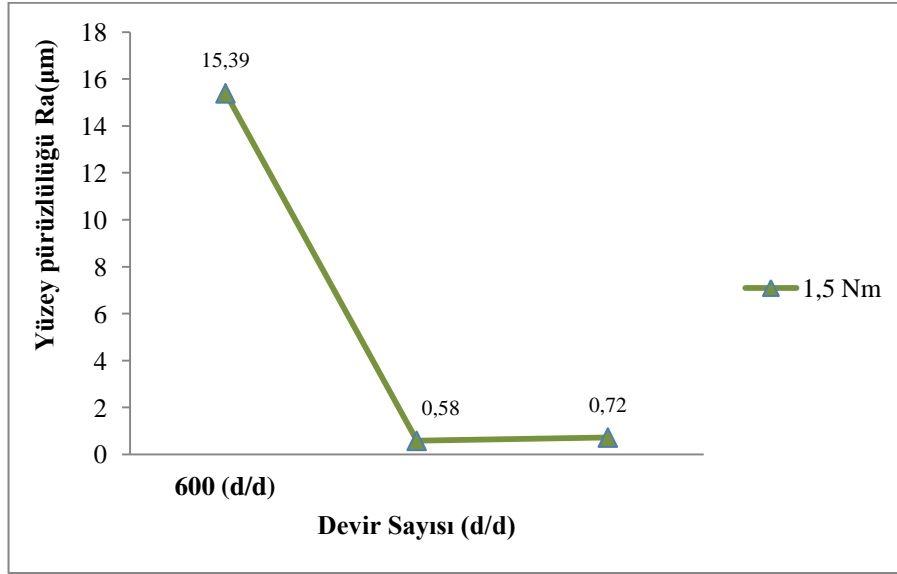


Şekil 5.13. 600 d/d devir, 1 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında helisel pinyon dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerleri değişimi

3D baskı sonrası helisel dişli çarka ait diş profili yüzey pürüzlülük değeri (R_a) 16,23 μm olup, 600 d/d devir, 1 Nm moment ve 5×10^4 dönme tekrarı sonucunda diş profili yüzey pürüzlülük değeri (R_a) 0,49 μm 'e düşerek, 33,13 kat iyileşme göstermiştir. Yine aynı helisel pinyon dişlinin 600 d/d devir, 1 Nm moment ve 10×10^4 dönme tekrarı sonucunda diş profili yüzey pürüzlülük değeri (R_a) 0,66 μm 'e yükselerek 1,35 kat artış göstermiştir.

5.2.6. 600 d/d devir, 1,5 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında pinyon helisel dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerine bağlı aşınma

Çizelge 5.2'de 600 d/d devir, 1,5 Nm dönme momentinde ve 5×10^4 , 10×10^4 dönme tekrarlarında aşınma testlerine tabi tutulan helisel pinyon dişliye ait yüzey pürüzlülük değerleri, Şekil 5.14'de ise helisel pinyon dişli yüzey profilinde meydana gelen yüzey pürüzlülüğü değişim miktarları grafik olarak verilmiştir.

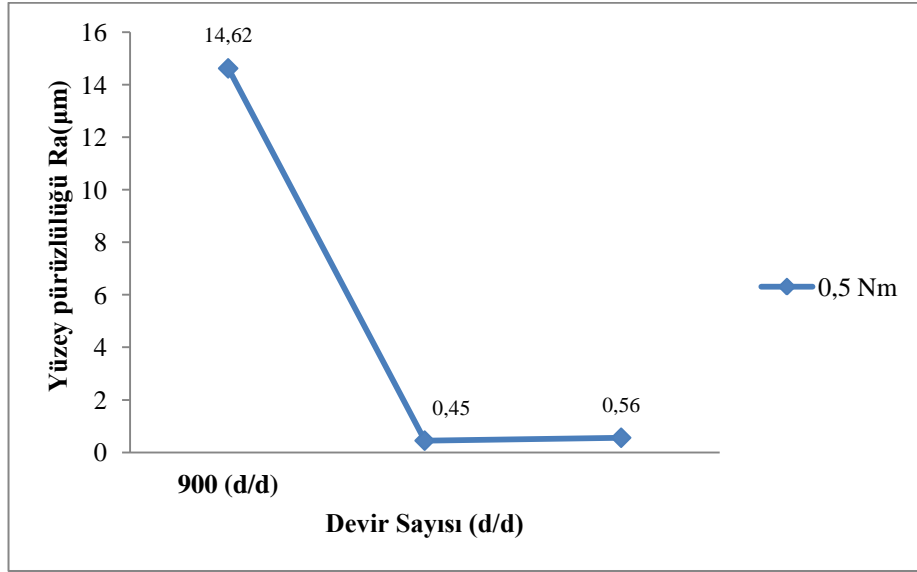


Şekil 5.14. 600 d/d devir, 1,5 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında helisel pinyon dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerleri değişimi

3D baskı sonrası helisel dişli çarka ait diş profili yüzey pürüzlülük değeri (R_a) 15,39 µm olup, 600 d/d devir, 1,5 Nm moment ve 5×10^4 dönme tekrarı sonucunda diş profili yüzey pürüzlülük değeri (R_a) 0,58 µm'e düşerek, 26,54 kat iyileşme göstermiştir. Yine aynı helisel pinyon dişlinin 600 d/d devir, 1,5 Nm moment ve 10×10^4 dönme tekrarı sonucunda diş profili yüzey pürüzlülük değeri (R_a) 0,72 µm'e yükselerek 1,24 kat artış göstermiştir.

5.2.7. 900 d/d devir, 0,5 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında pinyon helisel dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerine bağlı aşınma

Çizelge 5.2'de 900 d/d devir, 0,5 Nm dönme momentinde ve 5×10^4 , 10×10^4 dönme tekrarlarında aşınma testlerine tabi tutulan helisel pinyon dişliye ait yüzey pürüzlülük değerleri, Şekil 5.15'de ise helisel pinyon dişli yüzey profilinde meydana gelen yüzey pürüzlülüğü değişim miktarları grafik olarak verilmiştir.

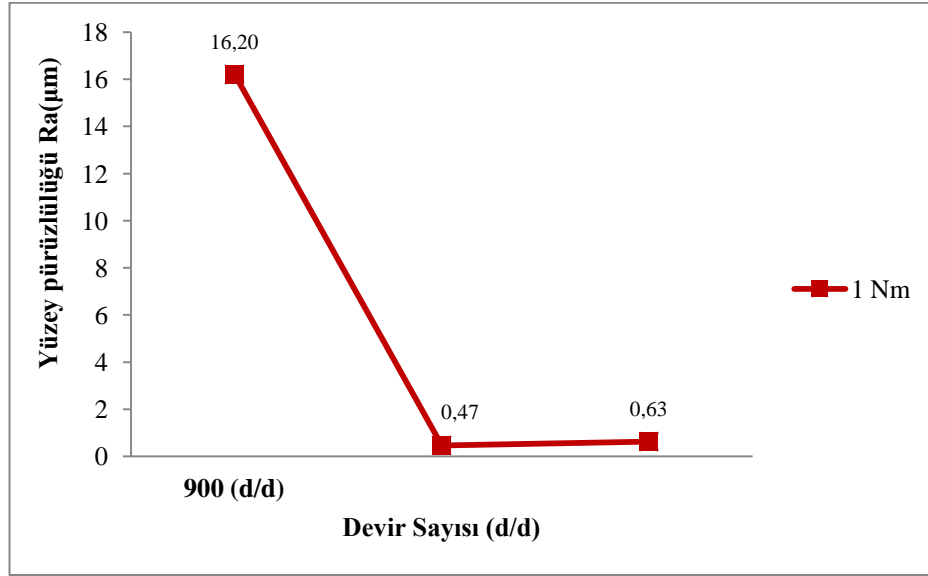


Şekil 5.15. 900 d/d devir, 0,5 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında helisel pinyon dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerleri değişimi

3D baskı sonrası helisel dişli çarka ait diş profili yüzey pürüzlülük değeri (R_a) 14,62 μm olup, 900 d/d devir, 0,5 Nm moment ve 5×10^4 dönme tekrarı sonucunda diş profili yüzey pürüzlülük değeri (R_a) 0,45 μm 'e düşerek, 32,49 kat iyileşme göstermiştir. Yine aynı helisel pinyon dişlinin 900 d/d devir, 0,5 Nm moment ve 10×10^4 dönme tekrarı sonucunda diş profili yüzey pürüzlülük değeri (R_a) 0,56 μm 'e yükselerek 1,24 kat artış göstermiştir.

5.2.8. 900 d/d devir, 1 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında pinyon helisel dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerine bağlı aşınma

Çizelge 5.2'de 900 d/d devir, 1 Nm dönme momentinde ve 5×10^4 , 10×10^4 dönme tekrarlarında aşınma testlerine tabi tutulan helisel pinyon dişliye ait yüzey pürüzlülük değerleri, Şekil 5.16'de ise helisel pinyon dişli yüzey profilinde meydana gelen yüzey pürüzlülüğü değişim miktarları grafik olarak verilmiştir.



Şekil 5.16. 900 d/d devir, 1 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında helisel pinyon dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerleri değişimi

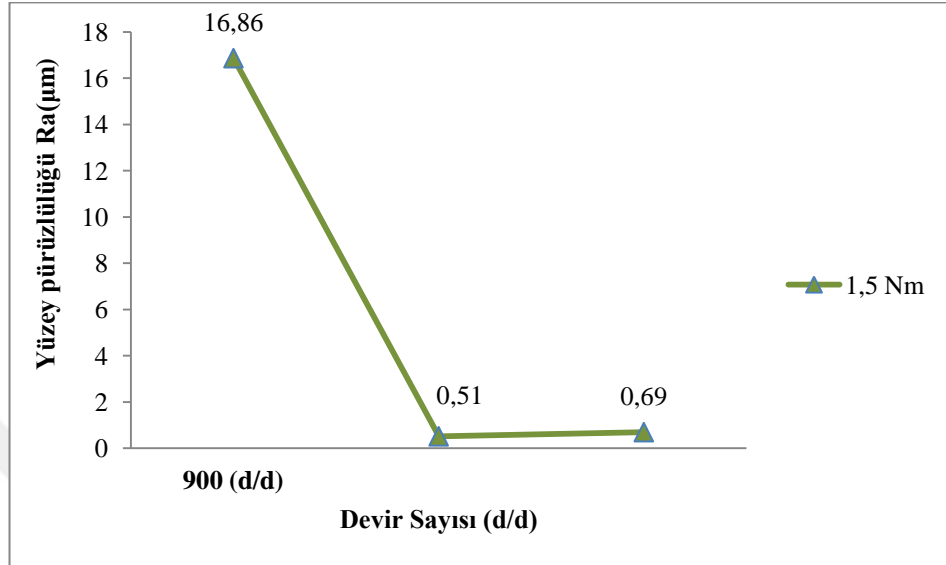
3D baskı sonrası helisel dişli çarka ait diş profili yüzey pürüzlülük değeri (R_a) 16,20 μm olup, 900 d/d devir, 1 Nm moment ve 5×10^4 dönme tekrarı sonucunda diş profili yüzey pürüzlülük değeri (R_a) 0,47 μm 'e düşerek, 34,47 kat iyileşme göstermiştir. Yine aynı helisel pinyon dişlinin 900 d/d devir, 1 Nm moment ve 10×10^4 dönme tekrarı sonucunda diş profili yüzey pürüzlülük değeri (R_a) 0,63 μm 'e yükselerek 1,34 kat artış göstermiştir.

5.2.9. 900 d/d devir, 1,5 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında pinyon helisel dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerine bağlı aşınma

Çizelge 5.2'de 900 d/d devir, 1,5 Nm dönme momentinde ve 5×10^4 , 10×10^4 dönme tekrarlarında aşınma testlerine tabi tutulan helisel pinyon dişliye ait yüzey pürüzlülük değerleri, Şekil 5.17'de ise helisel pinyon dişli yüzey profilinde meydana gelen yüzey pürüzlülüğü değişim miktarları grafik olarak verilmiştir.

3D baskı sonrası helisel dişli çarka ait diş profili yüzey pürüzlülük değeri (R_a) 16,86 μm olup, 900 d/d devir, 1,5 Nm moment ve 5×10^4 dönme tekrarı sonucunda diş profili yüzey pürüzlülük değeri (R_a) 0,51 μm 'e düşerek, 33,06 kat iyileşme göstermiştir. Yine aynı helisel pinyon dişlinin 900 d/d devir, 1,5 Nm moment ve

10×10^4 dönme tekrarı sonucunda diş profili yüzey pürüzlülük değeri (R_a) $0,69 \mu\text{m}$ 'e yükselerek 1,35 kat artış göstermiştir.



Şekil 5.17. 900 d/d devir, 1,5 Nm moment, 5×10^4 ve 10×10^4 dönme tekrarında helisel pinyon dişli çarkta yüzey pürüzlülük değerleri değişimi

5.2.10. Yüzey pürüzlülük ölçümü ile helisel pinyon dişli çarktaki aşınmanın değerlendirilmesi

Plastik helisel pinyon dişli çarklar talaşlı imalat yöntemi ile üretilmemiş ve dişli profilleri 3D baskı sonrası herhangi bir ek talaşlı imalat yöntemine tabi tutulmamıştır. İmalat FDM, yani plastik filamentin bir nozulda belli bir sıcaklık aralığında eritilerek birbiri üzerine yığılma yöntemi ile imal edilmişlerdir. Bu imalat yöntemine bağlı olarak tüm dişli yüzeyinde olduğu gibi diş profillerinde de yüzey pürüzlülükleri $14,62$ - $16,68 \mu\text{m}$ aralığında değişim göstermiştir.

3D baskı sonrası helisel pinyon dişli çarklar St 37-2 çelik malzemeden imal edilen çelik dişli çark ile FZG test düzeneğinde yüklenerek çalıştırılmıştır. Şekil 5.9 - Şekil 5.17 incelendiğinde; 300, 600, 900 d/d devir, 0,5-1-1,5 Nm moment değerlerinde ilk olarak 5×10^4 dönme tekrarı sonrası yüzey pürüzlülüklerinin $0,45$ - $0,68 \mu\text{m}$ aralığına kadar $21,7$ - $34,77$ kat aralığında iyileşme göstererek pürüzlülük değerlerinin azaldığı görülmektedir. Daha sonra yine helisel pinyon dişli çarkların St

37-2 malzemedan imal çelik dişli ile 10×10^4 dönme tekrarında yapılan yüklemeler neticesinde yüzey pürüzlülüklerinin 0,56-0,89 μm arası pürüzlülük değerlerine gerilediği ve pürüzlüklerin 1,14-1,35 kat aralığında arttığı görülmektedir. Buradan da şu sonuca ulaşılmaktadır ki dönme tekrarının artması sonucu dişli profil yüzey pürüzlülükleri aşınmalar neticesinde artmakta ve plastik malzemelerde Bölüm 2.15.'de anlatılan aşırı ısınma ve yorulmaya dayalı hasar mekanizmalarının başlamasına sebep olmaktadır.

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 50.000 dönme tekrarı, yine 1000 d/dak devir, 2 Nm moment ve 20.000 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.

Singh ve ark (2018), çalışmalarında polimer esaslı düz dişlilerin ısıl ve aşınma davranışları üzerine yaptıkları çalışmada, ABS, POM ve HDPE plastik malzemelerini kullanmışlardır. Yapılan testlerde, devir değerleri olarak 600,800,100 ve 1200 d/dak, yük değerleri olarak 0,8-1,2-1,6 ve 2 Nm, dönme tekrarı olarak da $1,2 \times 10^5$ değerlerini kullanarak aşınma testleri yapmışlardır. Aşınma testleri sonrası Singh ve arkadaşları, aynı tur ve moment değerlerinde devir sayısının artması sonucu aşınmanın azaldığı sonucuna ulaşmışlardır. Singh ve arkadaşları tarafından yapılan çalışma sonuçları, bu çalışmada alınan sonuçlara paraleldir.

Yapılan bu çalışmada, aynı yük değeri ve aynı dönme tekrarında yapılan yüklemelerde devir sayısı artırıldığında yani dişlilerin daha hızlı dönmesi sonrası dişli çark yanaklarındaki sürtünmenin azalması ve birbirleri ile daha az temas etmeleri neticesinde aşınma miktarının azaldığı görülmüştür. Örneğin 300 d/d devirde 0,5 Nm moment yüklemesinde, 5×10^4 dönme tekrarında aşınma miktarı 61,2 mg iken, bu değer 600 d/d devirde aynı yük ve dönme tekrarında 55,1 mg, 900 d/d devirde aynı yük ve dönme tekrarında ise 51,3 mg olarak ölçülmüştür.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışmasında 3 boyutlu yazıcı ile imalatı yapılan helisel dişli çarkların aşınma dayanımları deneysel olarak incelenmiştir. Hammadde olarak plastik malzeme olan PLA filament, imalat yöntemi olarak 3D baskı yöntemi olan FDM Fused Deposition Modelling (Eriyik Yığıma Teknolojisi) teknolojisi kullanılmıştır. Deneysel düzeneği olarak FZG (Kapalı devre deney düzeneği) kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar 3 farklı devir, 3 farklı moment ve 2 farklı dönme tekrarında yapılmıştır.

T/M (Toz Metalurjisi) ve plastik enjeksiyon yöntemleri ile imal edilen dişli çarklarda öne çıkan en büyük dezavantaj; kalıp maliyetinin yüksek olması ve baskılar sonrası tekrardan ek bir imalat yöntemi kullanılarak son ölçü değerlerine getirilmesidir. Üretim adetleri fazla olmayan plastik dişli çarklar, talaşlı imalat, T/M (Toz Metalurjisi) ve plastik enjeksiyon yöntemlerine alternatif olarak 3D baskı yöntemi ile CAD programlarında kısa sürede tasarlanarak, ek talaşlı imalat, proses ve kalıp maliyeti olmadan imal edilerek yük iletim mekanizmalarında kullanılabilir.

Yapılan testler sonucunda helisel dişli çarkın diş profillerinde oluşan aşınmanın; uygulanan devir , dönme tekrarı ve dönme momentine göre değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Diş profillerindeki aşınma en fazla; düşük devir ve yüksek dönme momentlerinde meydana gelmiştir.

Aynı devir ve dönme momenti değerlerinde testlere tabi tutulan dişlilerde dönme tekrarının artırılması neticesinde aşınma miktarının arttığı görülmüştür. Dönme tekrarı ve dönme momenti sabit tutulmak kaydı ile devrin artırılması neticesinde diş profillerinde daha az aşınma olduğu görülmüştür. Yine aynı devir ve dönme tekrarında çalıştırılan dişli çarklarda dönme momentinin artırılması sonucu diş profillerinde aşınmanın arttığı tespit edilmiştir.

300, 600, 900 d/d devir, 0,5-1-1,5 Nm moment değerlerinde ilk olarak 5×10^4 dönme tekrarı sonrası yüzey pürüzlülüklerinin 0,45-0,68 μm aralığına kadar 21,7-34,77 kat aralığında iyileşme göstererek pürüzlülük değerlerinin azaldığı görülmüştür. Daha sonra yine helisel pinyon dişli çarkların St 37-2 malzemeden imal çelik dişli ile

10×10^4 dönme tekrarında yapılan yüklemeler neticesinde yüzey pürüzlülüklerinin $0,56-0,89 \mu\text{m}$ arası pürüzlülük değerlerine gerilediği ve pürüzlüklerin $1,14-1,35$ kat aralığında arttığı görülmüştür. Dönme tekrarının artması sonucu dişli profil yüzey pürüzlülükleri aşınmalar neticesinde, artmakta ve plastik malzemelerde aşırı ısınma ve yorulmaya dayalı hasar mekanizmalarının başlamasına sebep olmaktadır.

Yapılan testler neticesinde öneriler altta verilmiştir.

- 1- Plastik malzeme esaslı dişli çarkların 3D baskı yöntemi ile yapılan imalatlarında ısınmadan dolayı meydana gelebilecek çarpılmaların önüne geçilmesi için uygun malzeme, uygun baskı tekniği ve uygun et kalınlığı seçilmesi gerekir.
- 2- Plastik dişli çarklarda diş profilindeki oluşan ısıyı dağıtmak için ısı iletim katsayısı yüksek farklı malzemedan imal edilen karşı dişli çark ile çalıştırılması plastik dişli malzemeye ait dişlerin ömrünün daha uzun olmasına katkı sağlayacaktır.
- 3- 3D baskı yöntemi ile dişliler, farklı doluluk hacim oranlarında imal edilerek, aşınma sonuçları incelenebilir.
- 4- 3D baskı yöntemi ile dişliler, farklı doluluk hacim oranlarında ve farklı hammaddeler kullanılarak imal edilerek aşınma sonuçları incelenebilir.
- 5- 3D baskı yöntemi ile imal edilen dişli çarkların diş profillerinde aşırı ısınma ve yorulmaya dayalı hasar mekanizmaları incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Akkurt, M., 2005. Makine Elemanları. Birsen Yayınevi, İstanbul, Sayfa 15.
- Anonim, 2016. Nylon filament nedir?, <https://www.3bfab.com/bilgi-merkezi/konu/nylon-filamenti-nedir/>, (07.09.2017).
- 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).
- Avcı, M., 2009. Helisel Açılı Dişli Çarklarda Statik Gerilme Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Başara, G., 2017. 3 Boyutlu Yazıcılarda Üretilmiş Nesnelerin Mekanik Dayanımı: Deneysel ve Numerik İnceleme. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Başaran, B., 2001. Helisel Dişli Çarklarda Pitting Oluşumunun Deneysel İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Can, H., Mendi, F., Bozdemir, M. 2004. Yay Takviyesinin Plastik Dişlilerin Statik Kopma Dayanımlarına Etkisi. Teknoloji, 7, 401-405.
- Çaycı, N.O., 2012. Profil Kaydırmalı Helisel Alın Dişli Çark Mekanizmalarının Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çelik, D., 2011. Üç Boyutlu Yazıcı Tasarımı, Prototipi ve Tersine Mühendislik Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Çelik, D, Çetinkaya, K., 2015. Üç Boyutlu Yazıcı Tasarımları, Prototipleri ve Ürün Yazdırma Karşılaştırılmaları. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Karabük.
- Dindar, B., 2012. Yay Takviyeli Polietilen Kremayer Dişlinin Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Duhovnik, J., Zorko, D., Sedej, L., 2016. The Effect of the Teeth Shape on Polymer Gear Pair Properties. Tehnički Vjesnik 23, 1, 199 – 207.

- Duman, A., 2015. Silindirik Helisel Dişli Çarklarda Gerilmelerin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çorum.
- Düzcükoğlu, H., Demirci, M.T., Yakut, R., Ekinci, Ş., 2009. Plastik Dişli Çark Diş Yüzeyinde Oluşan Temas Sıcaklığının Diş Hasarı Üzerine Etkisi. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük.
- Eren, O., 2017. FDM 3B Yazıcı ile Kompozit Parça Tasarımı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Fetvacı, M.C., 2016. Dişli Çarklar Ders Notları, 29.
- Güllü, E., Yılmaz, T.G., 2017. İç ve Dış Dişli Çarklarda Meydana Gelen Yüzey Basınçlarının ve Deformasyonların İncelenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32:2,585 – 591.
- 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 Genel, www.guven-kutay.ch (20.08.2010).
- Kutay, M.G., 2010. Dişli Çarklar Silindirik Dişliler, www.guven-kutay.ch (20.10.2010)
- 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.
- Nogay, F., 2010. Helisel Dişli Çark Mekanizmalarında Tasarım Parametrelerinin Performansa Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Özdemir, M.A., 2017. FDM Teknolojisi Kullanan Kartezyen Tip 3 Boyutlu Yazıcı ve Baskı Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çorum.
- Rende, H., 1997. Makina Elemanları. Seç Yayın Dağıtım, İstanbul, İkinci Cilt, 1. Baskı, 11- 1, 11- 54.
- Senthilvelan, S., Gnanamoorthy, R., 2006. Damping Characteristics of Unreinforced, Glass and Carbon Fiber Reinforced Nylon 6/6 Spur Gears. Polymer Testing 25 : 56-62.

- Singh, P.K., Singh, A.K., 2018. An investigation on the thermal and wear behavior of polymer based spur gears . Tribology International, 118 (2018), 264-272.
- Solmaz, Y.S., Topkaya, T., Adim. H., 2011. Helisel Dişli Çarklarda Farklı Diş Taban Geometrisinin Dişli Çark Ağırlığına ve Gerilme Analizine Etkisi. e-Journal of New World Sciences Academy, 6,1.
- Tunalıoğlu, M.Ş., Tuç, B. 2012. İç Dişli Çarklarda Aşınmanın Deneysel Olarak İncelenmesi. TMMOB MMO Mühendis ve Makine, 53 (632), 49-54.
- Tunalıoğlu, M.Ş., Tuç, B. 2014. Theoretical and experimental investigation of wear in internal gears. Wear, 309, 208-215.
- Uçar, V.,Çilingir, A.Ç., Yıldız, R.A., Makina Elemanları II Ders Notları, 47.
- Uzun,M., Gür, Y., Usca, Ü.A. 2018. Yeni Tip Eğrisel Diş Profilli Dişlilerin 3 Boyutlu Baskı Metoduyla Üretimi. BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi, 20 (1), 278-286.
- Ünal, H., Mimaroglu A., 2006, Friction and Wear Characteristics of PEEK and Its Composite Under Water Lubrication, Journal of Reinforced Plastics and Composites 25 : 16.
- 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. Helisel dişli takımı evolvent profile dönüştürme raporu

Guide

Design Guide - Center Distance

Unit Corrections Guide - User

Type of Load Calculation - Torque calculation for the specified power and speed

Type of Strength Calculation - Check Calculation

Method of Strength Calculation - ISO 6336:1996

E.1.1. Ortak Parametreler

Common Parameters

Gear Ratio	i	0,7727 ul
Desired Gear Ratio	i_n	0,7727 ul
Module	m	5,796 mm
Helix Angle	β	15,0000 deg
Pressure Angle	α	20,0000 deg
Center Distance	a_w	117,000 mm
Product Center Distance	a	117,000 mm
Total Unit Correction	Σx	0,0000 ul
Circular Pitch	p	18,207 mm
Base Circular Pitch	p_b	17,639 mm
Operating Pressure Angle	α_w	20,0000 deg
Tangential Pressure Angle	α_t	20,6469 deg
Tangential Operating Pressure Angle	α_{wt}	20,6469 deg
Base Helix Angle	β_b	14,0761 deg
Tangential Module	m_t	6,000 mm
Tangential Circular Pitch	p_t	18,850 mm
Contact Ratio	ϵ	1,6244 ul
Transverse Contact Ratio	ϵ_α	1,4822 ul
Overlap Ratio	ϵ_β	0,1422 ul
Limit Deviation of Axis Parallelity	f_x	0,0100 mm
Limit Deviation of Axis Parallelity	f_y	0,0050 mm

EK-1 (devam). Helisel dişli takımı evolvent profile dönüştürme raporu

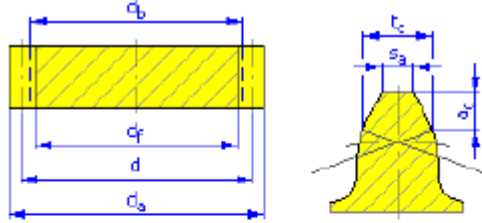
E.1.2. Dişliler

El Gears

		Gear 1	Gear 2
Type of model		Component	Component
Number of Teeth	z	22 ul	17 ul
Unit Correction	x	0,0000 ul	0,0000 ul
Pitch Diameter	d	132,000 mm	102,000 mm
Outside Diameter	d _a	143,591 mm	113,591 mm
Root Diameter	d _r	117,511 mm	87,511 mm
Base Circle Diameter	d _b	123,521 mm	95,448 mm
Work Pitch Diameter	d _w	132,000 mm	102,000 mm
Facewidth	b	10,000 mm	10,000 mm
Facewidth Ratio	b _r	0,0758 ul	0,0980 ul
Addendum	a*	1,0000 ul	1,0000 ul
Clearance	c*	0,2500 ul	0,2500 ul
Root Fillet	r _r *	0,3500 ul	0,3500 ul
Tooth Thickness	s	9,104 mm	9,104 mm
Tangential Tooth Thickness	s _t	9,425 mm	9,425 mm
Chordal Thickness	t _c	8,039 mm	8,039 mm
Chordal Addendum	a _c	4,333 mm	4,333 mm
Chordal Dimension	W	44,744 mm	44,296 mm
Chordal Dimension Teeth	z _w	3,000 ul	3,000 ul
Dimension Over (Between) Wires	M	145,862 mm	115,783 mm
Wire Diameter	d _w	10,000 mm	10,000 mm
Limit Deviation of Helix Angle	F _β	0,0100 mm	0,0095 mm
Limit Circumferential Run-out	F _r	0,0290 mm	0,0220 mm
Limit Deviation of Axial Pitch	f _{pa}	0,0100 mm	0,0090 mm
Limit Deviation of Basic Pitch	f _{pb}	0,0095 mm	0,0085 mm
Virtual Number of Teeth	z _v	24,208 ul	18,706 ul
Virtual Pitch Diameter	d _v	140,298 mm	108,412 mm
Virtual Outside Diameter	d _{va}	151,890 mm	120,004 mm
Virtual Base Circle Diameter	d _{vb}	131,837 mm	101,874 mm
Unit Correction without Tapering	x _t	0,3729 ul	0,5368 ul
Unit Correction without Undercut	x _o	-0,3962 ul	-0,0744 ul
Unit Correction Allowed Undercut	x _u	-0,5661 ul	-0,2443 ul
Addendum Truncation	k	0,0000 ul	0,0000 ul
Unit Outside Tooth Thickness	s _a	0,7099 ul	0,6787 ul
Tip Pressure Angle	α _a	30,2497 deg	32,4560 deg

EK-1 (devam). Helisel dişli takımı evolvent profile dönüştürme raporu

E.1.3. Yükler ve Malzemeler



⊞ Loads

		Gear 1	Gear 2
Power	P	0,628 kW	0,616 kW
Speed	n	600,00 rpm	776,47 rpm
Torque	T	10,000 N m	7,573 N m
Efficiency	η	0,980 ul	
Radial Force	F_r	57,091 N	
Tanqential Force	F_t	151,511 N	
Axial Force	F_a	40,597 N	
Normal Force	F_n	166,922 N	
Circumferential Speed	v	4,147 mps	
Resonance Speed	n_{res}	12552,116 rpm	

⊞ Material

		Gear 1	Gear 2
		User material	User material
Ultimate Tensile Strength	S_u	700 MPa	700 MPa
Yield Strength	S_y	340 MPa	340 MPa
Modulus of Elasticity	E	206000 MPa	206000 MPa
Poisson's Ratio	μ	0,300 ul	0,300 ul
Bending Fatigue Limit	σ_{lim}	120,0 MPa	120,0 MPa
Contact Fatigue Limit	σ_{lim}	520,0 MPa	550,0 MPa
Hardness in Tooth Core	JHV	210 ul	210 ul
Hardness in Tooth Side	VHV	600 ul	600 ul
Base Number of Load Cycles in Bending	N_{lim}	3000000 ul	3000000 ul
Base Number of Load Cycles in Contact	N_{lim}	100000000 ul	100000000 ul
Wöhler Curve Exponent for Bending	q_B	6,0 ul	6,0 ul
Wöhler Curve Exponent for Contact	q_H	10,0 ul	10,0 ul
Type of Treatment	type	2 ul	2 ul

EK-1 (devam). Helisel dişli takımı evolvent profile dönüştürme raporu

E.1.4. Gerilme Hesabı, Ek Yükleme Faktörleri ve Temas Faktörleri

Strength Calculation

Factors of Additional Load

Application Factor	K_A	1,200 ul	
Dynamic Factor	K_{Hv}	1,092 ul	1,092 ul
Face Load Factor	$K_{H\beta}$	1,927 ul	1,575 ul
Transverse Load Factor	$K_{H\alpha}$	1,343 ul	1,473 ul
One-time Overloading Factor	K_{ASt}	1,000 ul	

Factors for Contact

Elasticity Factor	Z_E	189,812 ul	
Zone Factor	Z_H	2,425 ul	
Contact Ratio Factor	Z_ϵ	0,903 ul	
Single Pair Tooth Contact Factor	Z_B	1,000 ul	1,055 ul
Life Factor	Z_N	1,000 ul	1,000 ul
Lubricant Factor	Z_L	0,937 ul	
Roughness Factor	Z_R	1,000 ul	
Speed Factor	Z_V	0,953 ul	
Helix Angle Factor	Z_β	0,983 ul	

EK-1 (devam). Helisel dişli takımı evolvent profile dönüştürme raporu

E1.5. Bükme Faktörleri, Sonuçlar ve Özet Mesajı

Size Factor	Z _x	1,000 ul	1,000 ul
Work Hardening Factor	Z _w	1,000 ul	

Factors for Bending

Form Factor	Y _{fa}	2,674 ul	2,886 ul
Stress Correction Factor	Y _{sa}	1,600 ul	1,551 ul
Teeth with Grinding Notches Factor	Y _{sqa}	1,000 ul	1,000 ul
Helix Angle Factor	Y _β	0,982 ul	
Contact Ratio Factor	Y _ε	0,726 ul	
Alternating Load Factor	Y _A	1,000 ul	1,000 ul
Production Technology Factor	Y _T	1,000 ul	1,000 ul
Life Factor	Y _N	1,000 ul	1,000 ul
Notch Sensitivity Factor	Y _s	1,116 ul	1,115 ul
Size Factor	Y _x	1,000 ul	1,000 ul
Tooth Root Surface Factor	Y _R	1,000 ul	

Results

Factor of Safety from Pitting	S _{HI}	1,203 ul	1,206 ul
Factor of Safety from Tooth Breakage	S _{FT}	5,530 ul	5,277 ul
Static Safety in Contact	S _{HEC}	2,424 ul	2,297 ul
Static Safety in Bending	S _{HBT}	12,383 ul	11,834 ul
Check Calculation		Positive	

Summary of Messages

22:21:52 Calculation: Calculation indicates design compliance!

EK-2. St 37-2 Malzemeden İmal Çark dişlinin spektral analiz raporu ve St 37-2 Çeliği Mekanik Özellikleri

E.2.1. 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							

E.2.2. 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

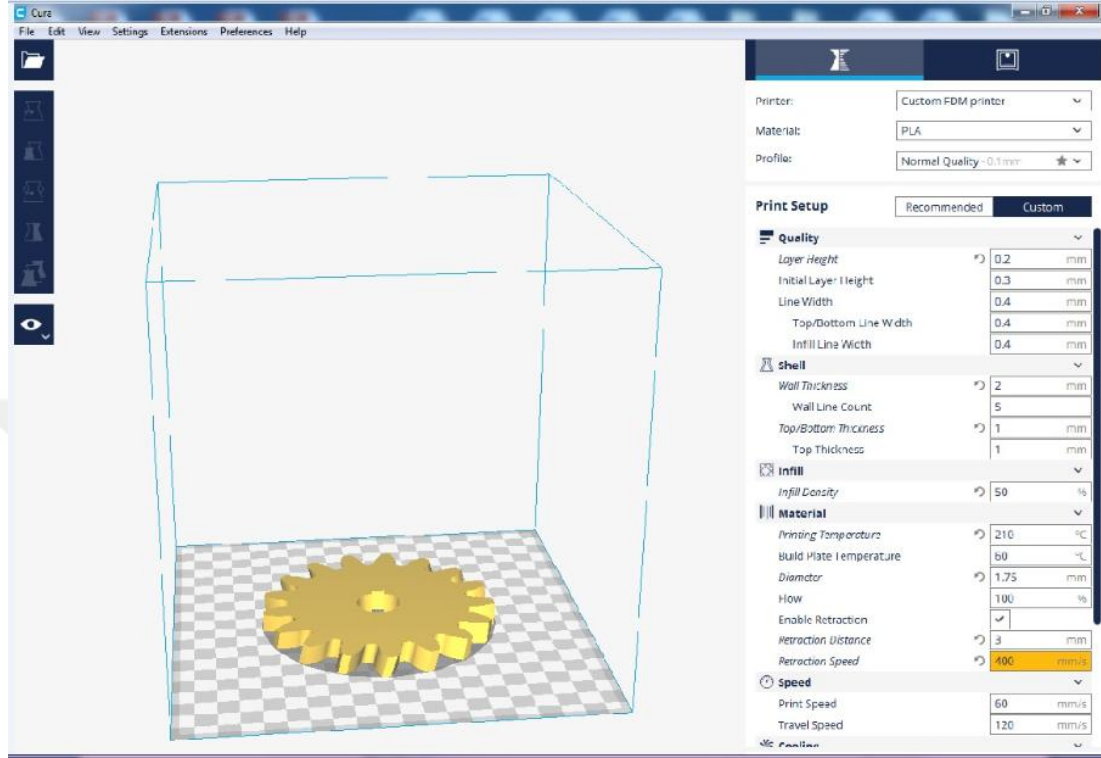
EK-3. Helis Pinyon Dişli G Kodu

```

:FLAVOR:Repetic
:TIME:30846
:Generated with Cura_SteamEngine
2.3.1
M190 S60
M104 S210
M109 S210
G28 ;Home
G1 Z15.0 F6000 ;Move the platform
down 15mm
:Prime the extruder
G92 E0
G1 F200 E3
G92 E0
:LAYER_COUNT:50
:LAYER:0
M107
G1 F24000 E-3
G0 F3600 X59.16 Y56.263 Z.299
:TYPE:SKIRT
G1 F24000 E0
G1 F1800 X59.545 Y55.935 E0.02515
G1 X59.761 Y55.791 E0.03806
G1 X64.719 Y52.775 E0.32662
G1 X69.215 Y49.671 E0.59828
G1 X73.263 Y46.543 E0.85266
G1 X73.857 Y46.18 E0.88727
G1 X75.934 Y45.202 E1.00142
G1 X76.076 Y45.139 E1.00915
G1 X77.832 Y44.414 E1.10361
G1 X78.534 Y44.214 E1.13991
G1 X81.485 Y43.729 E1.28861
G1 X86.862 Y42.605 E1.56176
G1 X89.468 Y41.945 E1.69543
G1 X94.438 Y40.471 E1.95319
G1 X95.128 Y40.347 E1.98805
G1 X97.475 Y40.185 E2.10503
G1 X97.627 Y40.178 E2.1126
G1 X99.464 Y40.139 E2.20396
G1 X100.189 Y40.206 E2.24017
G1 X103.117 Y40.82 E2.38892
G1 X108.518 Y41.711 E2.66111
.
.
G1 F1800 X77.716 Y142.334
E32294.77308
G0 X77.786 Y142.264
G0 F7200 X142.568 Y82.574
G1 F1800 X149.249 Y75.893
E32295.08733
G0 X149.319 Y75.823
G0 F7200 X149.432 Y76.276
G1 F1800 X143.786 Y81.921
E32295.35288
G0 X143.716 Y81.991
G0 F7200 X145.044 Y81.229
G1 F1800 X148.953 Y77.32
E32295.53674
G0 X149.023 Y77.25
:TIME_ELAPSED:30846.749853
G1 F24000 E32292.53674
M107
M104 S0
M140 S0
:Retract the filament
G92 E1
G1 E-1 F300
G28 X0 Y0
M84
M104 S0
:End of Gcode
;SETTING_3 {"global_quality":
"[general]\\version = 2\\name =
empty\\ndefiniti
;SETTING_3 on =
custom\\n\\n[metadata]\\quality_type
= normal\\ntype = quality_
;SETTING_3
changes\\n\\n[values]\\nmaterial_diam
eter = 1.75\\nlayer_height = 0.2
;SETTING_3 \\nretraction_amount =
3\\nadhension_type
=
skirt\\nrim_width = 0\\nr
;SETTING_3 etraction_speed =
400\\ntop_bottom_thickness =
1\\nwall_thickness = 2
;SETTING_3
\\nmaterial_print_temperature =
210\\ninfill_sparse_density = 100\\n
;SETTING_3\\n"}

```

EK-4. Cura 2.3.1 programında plastik pinyon dişilinin programlanması ekran görüntüsü



EK-5. PLA - ABS malzemeleri Isıl ve Mekanik Özellikleri

E.5.1. 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

E.5.2. 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

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

SOYADI, Adı : ŞİRİN, Lütfullah
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : İskenderun / 05.06.1977
Medeni Hali : Evli
Telefon : 0 (505) 894 44 81
e – mail : lutfullah.sirin@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Pamukkale Üniversitesi / Makine Müh.	1999
Lise	Özel Muradiye Erkek Fen Lisesi	1995

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2015 -	Çorum Belediyesi	Ulaşım Hizmetleri Müdür V.
2011 - 2015	Çorum Belediyesi	Atölye Mühendisi
2001 – 2011	Çorum Yağmaksan	Kalite Müdürü
1999 – 2000	Ankara Makim Makine	Üretim Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce