

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAĞ POMPALARINDA KULLANILAN SİKLOİDAL DİŞLİLERİN CNC
FREZE TEZGAHLARINDA İMALATLARININ ARAŞTIRILMASI**

Mak. Müh. Yunus ORTAÇ

Yüksek Lisans Tezi

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Cihan ÖZEL

ELAĞIĞ-2006

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YAĞ POMPALARINDA KULLANILAN SİKLOİDAL DİŞLİLERİN CNC FREZE TEZGAHLARINDA İMALATLARININ ARAŞTIRILMASI

Mak. Müh. Yunus ORTAÇ

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

2006, Sayfa 78

Günümüzde yağ pompalarında kullanılan Sikloidal dişli çarkların imalatlarında karşılaşılan güçlükler önemli bir sorun oluşturmaktadır. Özellikle bu dişlilerin diş profilleri birbirinden farklı iki eğriden oluştuğundan, Sikloidal dişli çarklarda hatasız bir diş profili açmak çok güçtür. Bu çalışmada, son yıllarda imalat sektöründe Bilgisayar Destekli Nümerik Kontrollü (CNC) freze tezgahlarının yaygınlaşması göz önünde bulundurularak, piyasalardaki Sikloidal dişli çark imalatlarına bir katkı sağlamak için bu tezgahlardan yararlanabilme olanaklarının araştırılması ve bu dişliler için genel bir CAM programının geliştirilmesi amaçlandı.

Bu amaç için, ilk önce geleneksel Sikloidal dişli çark imalat yöntemleri incelendi. Bu yöntemlerin incelenmesinden sonra, CNC freze tezgahlarında Sikloidal dişli imalatı için eksenel ve radyal olmak üzere iki imalat yöntemi belirlendi. Bu yöntemlerden radyal işleme yöntemine

göre, Sikloidal dişliler için genel amaçlı bir imalat programı hazırlandı. Bu program ile Sikloidal dişli çarkların CNC freze tezgahında düz alınlı parmak freze çakıları ile imalatları gerçekleştirildi. Daha sonra, imal edilen dişlilerin hata analizlerini yapmak için MATLAB programlama ile bir bilgisayar programı geliştirildi. Geliştirilen bu program yardımıyla imal edilen dişli çarkların diş profilindeki sapmaların değişim grafikleri çizdirildi. Ayrıca, CNC freze tezgahında Sikloidal dişli çarkların imalat süresinin önceden tahmin edilebilmesi için çoklu regresyon yöntemi kullanılarak uygun bir model geliştirildi. Geliştirilen bu modele göre imalat süreleri deneysel ve teorik olarak karşılaştırıldı.

Sonuç olarak; CNC freze tezgahlarında parmak freze çakıları ile imal edilen Sikloidal dişlilerin, diş profillerinin üzerinden yapılan ölçüm sonuçlarına göre sanayide kullanılmaya elverişli olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Sikloidal dişli çark, CNC freze tezgahı, CAM programı, Diş profili hatası, İşlenme süreleri, Sikloidal yağ pompası.

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF MANUFACTURING IN THE CNC MILLING MACHINE OF THE CYCLOIDAL GEARS USED IN THE OIL PUMPS

Mak. Müh. Yunus ORTAÇ

Firat University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

2006, Page 78

Today, the accuracy production of cycloidal gears which is used in the oil pumps is a great problem. The tooth profile of these gears consists of two different curves. Because of this, machining of these gears accurately is so difficult. Recently, the CNC milling machines have become widespread in the workshop. In this study, a general CAM programme was developed corresponding to the tool path equations for cutting in the CNC milling machine of cycloidal gears differently from the conventional methods.

Firstly, the conventional production methods of cycloidal gears have been investigated for this aim, then two methods which are axial and radial processing have been determined for the production of cycloidal gears in the CNC milling machine. A general CAM programme was prepared for radial machining method. The production of cycloidal gears was performed with this program in the CNC milling machine by using end mill. Then, a computer program was

developed in MATLAB for error analysis of manufactured gears. Deviation variation graphics of the tooth profile of the cycloidal gears have been drawn by using the developed program. Also, a model that used regression method was developed for the prediction of the production time of these gears in the CNC milling machine. By the developed model, the production times have been compared as experimental and theoretical.

In conclusion; the cycloidal gears machined by using end mill in the CNC milling machine were found to be suitable for industry as the results of measurement of manufactured teeth.

Keywords: Cycloidal gears, CNC milling machine, CAM program, Tooth profile errors, Product time, Cycloidal gearing pump.

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında maddi ve manevi desteğini esirgemeyen başta ailem ve danışman hocam sayın Yrd. Doç. Dr Cihan ÖZEL'e teşekkürlerimi sunarım. Teknik Eğitim Fakültesi CNC Laboratuarından faydalanmamıza yardımcı olan Teknik Eğitim Fakültesi Dekanı sayın Prof. Dr. Ali İNAN'a teşekkür ederim. Ayrıca Makine Mühendisliği bölümü imkanlarından faydalanmamıza yardımcı olan Makine Mühendisliği bölüm başkanı sayın Prof. Dr. Cengiz YILDIZ'a teşekkür ederim.

Yunus ORTAÇ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1 Sikloidal Dişliler ve Özellikleri	3
2.2. Tek Ruletli Sikloidal Dişli Çarkların Genel İfade ve Özellikleri	4
2.3. Çift Ruletli Sikloidal Dişli Çarkların Genel İfade ve Özellikleri	8
2.4. Saat Teknolojisinde Kullanılan Sikloidal Dişliler	14
2.5. Pimli Dişli Çark Sisteminde Kullanılan Sikloidal Dişliler	14
3. SIKLOİDAL DİŞLİLERİN GELENEKSEL İMALAT YÖNTEMİ	15
4. CNC FREZE TEZGAHLARINDA SIKLOİDAL DİŞLİ İMALATININ ARAŞTIRILMASI	16
4.1. CNC Freze Tezgahları ve Kontrol Sistemleri	16
4.2. CNC Freze Tezgahlarında Sikloidal Dişli İmalatı İçin Uygun Yöntemin Belirlenmesi	18
4.2.1. Sikloidal Dişlilerin Dik İşlem Merkezli CNC Freze Tezgahında Radyal Olarak İşlenmesi	19
4.2.2. Sikloidal Dişlilerin Dik İşlem Merkezli CNC Freze Tezgahında Eksenel Olarak İşlenmesi	20
4.2.3. Sikloidal Dişlilerin Dik İşlem Merkezli CNC Freze Tezgahlarında İmalatı İçin Uygun Yöntemin Seçilmesi	21
4.3. Sikloidal Dişli Çarkın CNC Freze Tezgahında İmalatı İçin Uygun Programın Hazırlanması	21
4.3.1. Sikloidal Dişli Çarkın Diş Üstü Profili İçin Parametrik Eğri Denklemlerinin Çıkarılması	21
4.3.2. Sikloidal Dişli Çarkın Diş Dibi Profili İçin Parametrik Eğri Denklemlerinin Çıkarılması	23
4.3.3. Diş Üstü Profili İçin Takım Yolu Denklemlerinin Çıkarılması	25
4.3.4. Diş Dibi Profili İçin Takım Yolu Denklemlerinin Çıkarılması	28
4.3.5. CNC Programında Sikloidal Dişlinin Diş Profillerinin Döndürülmesi	31
4.3.6. CNC Frezede Sikloidal Dişli İmalatı İçin Parmak Freze Çakısının Seçimi	32
4.4. Sikloidal Dişli Çarkın İmalatı İçin Hazırlanan Programın Algoritması	33
4.5. Dişli Taslağının Hazırlanması ve CNC Freze Tezgah Tablasına Bağlanması	36
4.6. Sikloidal Dişli Çarkın CAD Modelinin Oluşturulması ve CNC Frezede İmalatı	37

4.7. CNC Programı İle Sikloidal Dişli İmalatında Diş Profil Hassasiyetinin Belirlenmesi	40
4.7.1. Diş Üstü Profilinin İşlenme Hatası	41
4.7.2. Diş Dibi Profilinin İşlenme Hatası	43
4.7.3. CNC Programı İle Sikloidal Dişli Profilinin İşlenmesi ve Diş Profilindeki Sapmaların Değişimi	45
4.8. İmalat Süresinin Tahmini ve İrdelenmesi	53
4.8.1. İmalat Süresini Etkileyen Parametrelerin Tespiti ve Deneyler	53
4.8.2. Deney Sonuçlarının Regresyon Analiz Yöntemi ile Modellenmesi	60
4.8.2.1. Çoklu Regresyon Metodu İle İmalat Süresinin Tahmini	61
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR	72
5.1. Genel Sonuçlar	74
5.2. Öneriler	74
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	78

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1	Sikloidal dişlili pompanın şematik gösterimi	3
Şekil 2.2	Sikloidal dişli ve oluşum geometrisi	4
Şekil 2.3	Ruletin yuvarlanma dairesi üzerindeki hareketleri	5
Şekil 2.4	Tek ruletli sikloidal dişli çark	6
Şekil 2.5	Diş dibi profilinin oluşumu	9
Şekil 2.6	Diş üstü profilinin oluşumu	10
Şekil 2.7	Çift ruletli sikloidal çark	11
Şekil 2.8	Sikloidal profilli dişin baş yüksekliği	14
Şekil 2.9	Pimli dişli çark	14
Şekil 3.1	Kremayer kesici takım	15
Şekil 3.2	Kremayer kesici ile sikloidal dişlinin açılması	15
Şekil 4.1	Noktasal kontrol tipi	17
Şekil 4.2	Doğrusal kontrol tipleri	17
Şekil 4.3	Eğrisel kontrol tipleri	18
Şekil 4.4	CNC frezede sikloidal dişli çarkın radyal olarak işlenmesi	19
Şekil 4.5	Radyal işleme için takım yolları	19
Şekil 4.6	CNC frezede sikloidal dişli çarkın eksenel olarak işlenmesi	20
Şekil 4.7	Diş profili üzerinde çakıların konumu	20
Şekil 4.8	Eksenel işleme için takım yolları	21
Şekil 4.9	Diş üstü profilinin eğrisi	22
Şekil 4.10	Diş dibi profilinin eğrisi	23
Şekil 4.11	Parmak freze çakısının diş üstü profili üzerindeki konumu (üst görünüş)	25
Şekil 4.12	Parmak freze çakısının diş dibi profili üzerindeki konumu (üst görünüş)	28
Şekil 4.13	Diş dibi profili ile çakının teması (üst görünüş)	32
Şekil 4.14	Maksimum çakı yarıçapının türetilmesi	32
Şekil 4.15	Sikloidal dişli çarkın imalatı için algoritma	35
Şekil 4.16	Sikloidal dişli taslağı ve ölçüleri	36
Şekil 4.17	Dişli taslağının CNC freze tezgahına bağlanması	37
Şekil 4.18	Sikloidal dişli çarkın CAD modeli (üst görünüş)	37
Şekil 4.19	Sikloidal dişli çarkın Dyna 4M CNC programında simülasyonu	38
Şekil 4.20	İmalatı gerçekleştirilen Sikloidal dişli	38
Şekil 4.21	Diş profili üzerindeki ölçüm noktaları	39

Şekil 4.22 Hazırlanan CAM programı ile imal edilen çeşitli sikloidal dişli çarklar	40
Şekil 4.23 Diş profilindeki sapma	41
Şekil 4.24 Diş üstü profilinin işlenme hatası	41
Şekil 4.25 Diş dibi profilinin işlenme hassasiyeti	43
Şekil 4.26 CAM programında $Z=2$, $r_e=2.1$, $r_h=1.65$, $\beta_s=0.1^\circ$, $\psi_s=0.1^\circ$ değerlerinin alınarak dişlinin işlenmesi durumunda profilden sapma miktarlarının değişimleri	46
Şekil 4.27 CAM programında $Z=4$, $r_e=2.1$, $r_h=1.65$, $\beta_s=0.1^\circ$, $\psi_s=0.1^\circ$ değerlerinin alınarak dişlinin işlenmesi durumunda profilden sapma miktarlarının değişimleri	46
Şekil 4.28 CAM programında $Z=6$, $r_e=2.1$, $r_h=1.65$, $\beta_s=0.1^\circ$, $\psi_s=0.1^\circ$ değerlerinin alınarak dişlinin işlenmesi durumunda profilden sapma miktarlarının değişimleri	47
Şekil 4.29 CAM programında $Z=10$, $r_e=2.1$, $r_h=1.65$, $\beta_s=0.1^\circ$, $\psi_s=0.1^\circ$ değerlerinin alınarak dişlinin işlenmesi durumunda profilden sapma miktarlarının değişimleri	47
Şekil 4.30 CAM programında $Z=5$, $r_e=2.1$, $r_h=1.65$, $\beta_s=1.5^\circ$, $\psi_s=1.5^\circ$ değerlerinin alınarak dişlinin işlenmesi durumunda profilden sapma miktarlarının değişimleri	48
Şekil 4.31 CAM programında $Z=5$, $r_e=2.1$, $r_h=1.65$, $\beta_s=1^\circ$, $\psi_s=1^\circ$ değerlerinin alınarak dişlinin işlenmesi durumunda profilden sapma miktarlarının değişimleri	48
Şekil 4.32 CAM programında $Z=5$, $r_e=2.1$, $r_h=1.65$, $\beta_s=0.25^\circ$, $\psi_s=0.25^\circ$ değerlerinin alınarak dişlinin işlenmesi durumunda profilden sapma miktarlarının değişimleri	49
Şekil 4.33 CAM programında $Z=5$, $r_e=2.1$, $r_h=1.65$, $\beta_s=0.1^\circ$, $\psi_s=0.1^\circ$ değerlerinin alınarak dişlinin işlenmesi durumunda profilden sapma miktarlarının değişimleri	49
Şekil 4.34 CAM programında $Z=5$, $r_e=2.1$, $r_h=1.65$, $\beta_s=0.01^\circ$, $\psi_s=0.01^\circ$ değerlerinin alınarak dişlinin işlenmesi durumunda profilden sapma miktarlarının değişimleri	50
Şekil 4.35 CAM programında $Z=5$, $r_e=2.5$, $r_h=3$, $\beta_s=0.1^\circ$, $\psi_s=0.1^\circ$ değerlerinin alınarak dişlinin işlenmesi durumunda profilden sapma miktarlarının değişimleri	50
Şekil 4.36 CAM programında $Z=5$, $r_e=2.5$, $r_h=3.2$, $\beta_s=0.1^\circ$, $\psi_s=0.1^\circ$ değerlerinin alınarak dişlinin işlenmesi durumunda profilden sapma miktarlarının değişimleri	51
Şekil 4.37 CAM programında $Z=5$, $r_e=3$, $r_h=2.5$, $\beta_s=0.1^\circ$, $\psi_s=0.1^\circ$ değerlerinin alınarak dişlinin işlenmesi durumunda profilden sapma miktarlarının değişimleri	51
Şekil 4.38 CAM programında $Z=5$, $r_e=3.2$, $r_h=2.5$, $\beta_s=0.1^\circ$, $\psi_s=0.1^\circ$ değerlerinin alınarak dişlinin işlenmesi durumunda profilden sapma miktarlarının değişimleri	52
Şekil 4.39 $Z=4$ olan sikloidal dişli çarkın, rulet yarıçaplarına, işlenme hassasiyetine ve parmak freze çıkışının ilerleme hızına bağlı olarak deneysel imalat süresinin değişimi	59
Şekil 4.40 $Z=8$ olan sikloidal dişli çarkın, rulet yarıçaplarına, işlenme hassasiyetine ve parmak freze çıkışının ilerleme hızına bağlı olarak deneysel imalat süresinin değişimi	59

Şekil 4.41 $Z=10$ olan sikloidal dişli çarkın, rulet yarıçaplarına, işlenme hassasiyetine ve parmak freze çakısının ilerleme hızına bağlı olarak deneysel imalat süresinin değişimi	60
Şekil 4.42 Deneysel ve Teorik imalat süresi arasındaki hataların dağılımı	69
Şekil 4.43 $Z=4$ olan sikloidal dişli çarkın, rulet yarıçaplarına, işlenme hassasiyetine ve parmak freze çakısının ilerleme hızına bağlı olarak tahmini imalat süresinin değişimi	70
Şekil 4.44 $Z=8$ olan sikloidal dişli çarkın, rulet yarıçaplarına, işlenme hassasiyetine ve parmak freze çakısının ilerleme hızına bağlı olarak tahmini imalat süresinin değişimi	70
Şekil 4.45 $Z=10$ olan sikloidal dişli çarkın, rulet yarıçaplarına, işlenme hassasiyetine ve parmak freze çakısının ilerleme hızına bağlı olarak tahmini imalat süresinin değişimi	71

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1 Tek ruletli sikloidal dişli çarkların boyutlandırılması	8
Tablo 2.2 Çift ruletli sikloidal dişli çarkların boyutlandırılması	13
Tablo 4.1 Tasarım ve imalat parametreleri	36
Tablo 4.2 İmal edilen sikloidal dişli çark üzerinden ölçülen değerler ile teorik ölçü değerleri	39
Tablo 4.3 $H_{\max}=1$ ve $h_n=1$ için, tasarım ve imalat parametrelerine bağlı olarak imalat süresinin değişimi	53
Tablo 4.4 İmalat parametrelerine göre tahmini imalat süresi	64

SEMBOLLER LİSTESİ

	Birim
Z: Sikloidal dişli çarkın diş sayısı,	-
r: Tek ruletli sikloidal dişli çark için rulet yarıçapı	(mm)
R: Tek ruletli sikloidal dişli çark için yuvarlanma dairesi yarıçapı	(mm)
r_h : Çift ruletli sikloidal dişli çark için diş dibi rulet yarıçapı	(mm)
r_e : Çift ruletli sikloidal dişli çark için diş üstü rulet yarıçapı	(mm)
R_c : Çift ruletli sikloidal dişli çark için yuvarlanma dairesi yarıçapı	(mm)
d_e : Diş üstü yüksekliği	(mm)
d_h : Diş dibi yüksekliği	(mm)
p_e : Yuvarlanma dairesi üzerindeki diş üstü genişliği	(mm)
p_h : Yuvarlanma dairesi üzerindeki diş dibi genişliği	(mm)
p: Hatve	(mm)
x_{e_n}, y_{e_n} : Diş üstü profili için parametrik ifadeler	(mm)
x_{h_n}, y_{h_n} : Diş dibi profili için parametrik ifadeler	(mm)
dx_{e_n}, dy_{e_n} : Diş üstü profilinin parametrik ifadelerinin açısal hassasiyete göre türevleri	(mm)
dx_{h_n}, dy_{h_n} : Diş dibi profilinin parametrik ifadelerinin açısal hassasiyete göre türevleri	(mm)
r_c : Çakı yarıçapı	(mm)
$X_{e_n}, Y_{e_n}, Z_{e_n}$: Diş üstü profili için imalat denklemleri	(mm)
$X_{h_n}, Y_{h_n}, Z_{h_n}$: Diş dibi profili için imalat denklemleri	(mm)
X_E, Y_E, Z_E : Diş üstü profilinin imalat denklemlerinin diş dayısı dikkate alınarak döndürülmesi	(mm)
X_H, Y_H, Z_H : Diş dibi profilinin imalat denklemlerinin diş dayısı dikkate alınarak döndürülmesi	(mm)
ϕ : Diş profilinin döndürme açısı	(mm)
h_n : Talaş kesme derinliği	(mm)
H_{max} : Dişli kalınlığı	(mm)
ΔL : Diş profilinin işleme hatası	(mm)
$KB, \Delta L_e$: Diş üstü profilinden sapma miktarı	(mm)
$KF, \Delta L_h$: Diş dibi profilinden sapma miktarı	(mm)
α_n : Ruletin yuvarlanma dairesi üzerindeki anlık yuvarlanma açısı	(°)
α_{max} : Ruletin maksimum yuvarlanma açısı	(°)
χ_{max} : Tek ruletli sikloidal dişli çark için, diş üstü ve diş dibi profillerinin oluşum açısı	(°)
χ_n : Tek ruletli sikloidal dişli çark için, diş üstü ve diş dibi profillerinin anlık oluşum açısı	(°)

β_n : Çift ruletli sikloidal dişli çarkın diş dibi profilinin anlık oluşum açısı	(°)
β_{max} : Çift ruletli sikloidal dişli çarkın diş dibi profilinin oluşum açısı	(°)
ψ_n : Çift ruletli sikloidal dişli çarkın diş üstü profilinin anlık oluşum açısı	(°)
ψ_{max} : Çift ruletli sikloidal dişli çarkın diş üstü profilinin oluşum açısı	(°)
μ : Çift ruletli sikloidal dişli çarkın bir diş profilinin oluşum açısı	(°)
λ_n : Normalin eğim açısı	(°)
γ_n : Teğetin eğim açısı	(°)
m_{te} : Teğetin eğimi	(°)
m_{no} : Normalin eğimi	(°)
ψ_s : Diş üstü profilinin işlenme hassasiyeti	(°)
β_s : Diş dibi profilinin işlenme hassasiyeti	(°)
T: Sikloidal dişli çarkın bir tabakasının imalat süresi	(Sn)
T_{top} : Sikloidal dişli çarkın toplam imalat süresi	(Sn)
F: Takımın ilerleme hızı	(m/dak)
S: İş mili devir sayısı	(dev/dak)
M03: İş milinin dönme yönü	(CW)
G01: Doğrusal enterpolasyon	-
G21: Metrik sistem kodu	-
G90: Mutlak ölçülendirme	-
G40: Takım çap telafisinin iptali	-
G54: İş parçasının referans noktası	-
G17: X-Y referans düzlemi	-
M30: Program sonu	-

1. GİRİŞ

Günümüzde Sikloidal dişlili pompalarda kullanılan Sikloidal dişli çarkların imalatında karşılaşılan güçlükler önemli bir sorun oluşturmaktadır. Özellikle diş profilleri birbirinden farklı iki eğriden oluştuğundan, Sikloidal dişli çarklarda hatasız bir dişli profili açmak güçtür.

Sikloidal dişli çarklar yüzey basıncı bakımından daha büyük bir yük taşıma kabiliyetine sahiptirler. Profil boyunca adhezyon aşınmasının yayılışı evolvent profiline göre çok daha düzgündür ve çok küçük diş sayılarında bile alt kesilme olayı meydana gelmez. Yine bilindiği gibi Yüksek tahvil oranına ihtiyaç duyulan çoğu makinelerde yüksek hız redüktörleri kullanılmaktadır. Buna bağlı olarak en küçük dişli mekanizması olarak Sikloidal planet dişli mekanizmasının olduğu bilinir. Bu tür dişli sistemlerinin avantajı şöyle sıralanabilir; bir turda yüksek tahvil oranı, yüksek kavrama oranı, millerin eş eksenli olması ve kafes içerisinde yuvarlanma sürtünmesi meydana geldiğinden enerji kaybı düşüktür [1-4]. Bütün bu üstün özelliklere sahip olan Sikloidal dişlilerin imalatının karmaşık olması ve çok çeşitli takımlara gereksinim duyulması, imalat sektörünün başlıca sorunudur [5]. Bu sorunun çözümü için bir çok araştırmalar yapılmaktadır. Sikloidal bir pompanın rotor profillerinin geometrisinde değişiklikler yapılarak diş temas noktasının analizi incelenmiştir [6]. Başka bir çalışmada, otomobillerde kullanılan Sikloid yağ pompalarının PM rotorlarındaki aşınmalar incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar ile malzeme özellikleri optimize edilerek yüksek dirençli PM rotorları ekonomik olarak üretilmiştir [7]. Molhatra ve arkadaşı, bir Sikloidal hız redüktörünün teorik verimini ve redüktörün güç iletimi ile ilgili analizlerini incelemişlerdir. Ayrıca bu tip hız redüktörlerinin optimum tasarımını yapmışlardır [8]. Jordan ve arkadaşı, yapmış oldukları çalışmada, Hiposikloidal iç ve dış Polihedral yüzeylerin torna tezgahında, matkap tezgahında ve freze tezgahında işlenebilmesi için yeni bir takım geliştirmiş ve bu takımın geometrisini sunmuşlardır [9, 10]. Faydor ve arkadaşları, Sikloidal pompa ve sonsuz vida çarkı için diş yüzeylerinin zarf oluşumlarını analitik olarak inceleyip sonuçları grafiksel olarak göstermişlerdir [11]. Zhang-Hua ve arkadaşları, yapmış oldukları çalışmada, düz dişli çarkın diş profili için parametrik ifadelerin türetilmesinde kavrama doğrusunun dikkate alınmasını önermişlerdir [12]. S. Omirou, serbest bir kalıp profilinin yüzey taşıma yöntemi ile NC makinelerde işlenmesi için gerekli olan takım yolunun CAD modelini b zier eğrileri ile elde etmiştir. Elde edilen bu takım yolu, uygun bir algoritma yardımıyla NC koduna dönüştürülmüş ve serbest kalıp profilini NC frezede işlemiştir [13]. Manfred Chmurawa ve arkadaşı, planet mekanizmalarındaki Sikloidal dişli çarkların gerilme analizlerini sonlu elemanlar yöntemini kullanarak incelemişlerdir [14]. S. S-Yeh ve arkadaşı, parametrik eğrilere sahip yüzeylerin işlenmesi için çakı kesme hızının kontrol edildiği yeni bir algoritma geliştirmişlerdir.

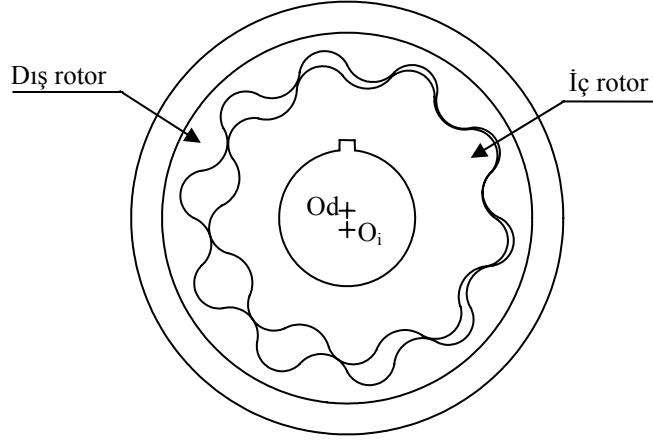
Geliştirmiş oldukları bu algoritma ile gerçek işleme sırasında çakının pozisyonu ve hızı uygun bir şekilde belirlenmiş ve en ideal işleme şartlarını gerçekleştirmişlerdir [15]. Hon–yuen Tam ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, implicit yüzeylerin işlenebilmesinde takım yollarını, eş düzlem enterpolasyonu ile hesaplamışlardır [16]. R. Batista ve arkadaşı, frezeleme parametrelerinin son işleme üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada, 3 ve 5 eksenli frezeleme işlemlerinde farklı işleme şartları test edilmiş ve deney sonuçlarına göre en iyi yüzey kalitesinin 5 eksenli frezede elde edildiği sonucuna varılmıştır. [17]. M. Akkurt ve arkadaşının yaptığı çalışmada, bir helisel dişlinin tel erozyonu tezgahında CAD-CAM-NC entegrasyonu ile imalatı yapılmıştır [18]. S. M. Shraibman tarafından yapılan çalışmalarda, çeşitli üretim tarzlarında diş kesme operasyonlarının istatistiki planı araştırılmıştır [19]. G. Elber ve E. Cohen, tarafından yapılan çalışmalarda, serbest eğrilerle şekillendirilmiş yüzey modelleri için, takım yollarını oluşturmaya yönelik bir algoritma geliştirmişlerdir [20]. L. P. Zhang ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, kalıp yüzeyini mevcut uygulamalardan farklı bir şekilde modifiye ederek 3 eksenli CNC freze tezgahında küresel uçlu freze çakısını esas alarak takım yolunun yeniden türetilmesi için bir algoritma önermişlerdir. Önermiş oldukları bu algoritmayı çeşitli parçaların imalatlarında denemiler ve algoritmanın güvenilir olduğunu göstermişlerdir [21]. C. Özel yapmış olduğu çalışmada, düz konik dişli çarkların CNC freze tezgahında imalatını araştırmış. Ayrıca geliştirmiş olduğu CNC imalat programı ile CNC freze tezgahında düz konik dişli çarkların imalatlarını gerçekleştirmiştir [22]. C. Özek ise CNC freze tezgahlarında dişleri değiştirilebilir düz dişli çarkların imalatını gerçekleştirmiştir [23].

Yapılan bu çalışmada da, son yıllarda imalat sektöründe CNC freze tezgahlarının yaygınlaşması göz önünde bulundurularak, piyasalardaki Sikloidal dişli imalatlarına bir katkı sağlamak için bu tezgahlardan yararlanabilme olanakları araştırıldı ve bu dişliler için genel bir imalat programı geliştirildi. Bu program sayesinde piyasalardaki mevcut Sikloidal dişli imalatlarından farklı olarak, bu dişlilerin düz alınlı parmak freze çakısı ile CNC freze tezgahlarında imalatları yapıldı. Böylece bu tür dişlilerin açılmasında kullanılan özel takımlara ve tezgahlara gerek kalmadan, her ölçü değerleri için hassas olarak imal edilmesi olanaklı hale getirildi. Daha sonra, imal edilen dişlilerin hata analizlerini yapmak için MATLAB programlama ile bir bilgisayar programı geliştirildi. Geliştirilen bu program yardımıyla imal edilen dişli çarkların diş profilinden sapma miktarlarının değişim grafikleri çizdirildi. Ayrıca, CNC freze tezgahında Sikloidal dişli çarkların imalat süresinin önceden tahmin edilebilmesi için çoklu regresyon yöntemi kullanılarak uygun bir model geliştirildi. Geliştirilen bu modele göre imalat süreleri deneysel ve teorik olarak karşılaştırıldı.

2. GENEL BİLGİLER

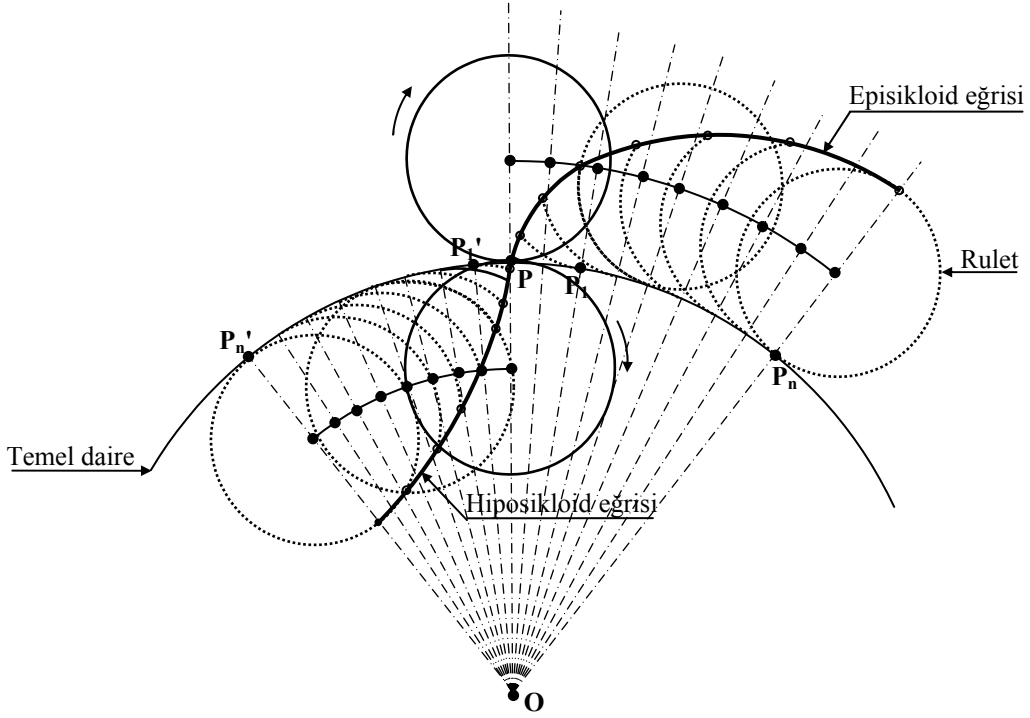
2.1 Sikloidal Dişliler ve Özellikleri

Sikloidal bir pompa iç ve dış rotor olmak üzere iki Sikloidal dişli çarktan oluşur (Şekil 2.1). Bu dişlilerin dış üstü profili Episikloid, dış dibi profili ise Hiposikloid eğrisi şeklindedir.



Şekil 2.1 Sikloidal dişlili pompanın şematik gösterimi

Episikloid, bir daire üzerinde kaymadan yuvarlanan bir başka dairenin üzerindeki herhangi bir noktanın meydana getirdiği eğridir. Burada sabit daireye temel daire ve yuvarlanan daireye ise Rulet denir. Ruletin temel dairesine dıştan temas ederek yuvarlanması sonucu Episikloid eğrisi, Ruletin temel dairesine içten temas ederek ve ters yönde yuvarlanması sonucu Hiposikloid eğrisi oluşur. Sikloidal dişli çarklarda bir dişlinin dış başına ait profili meydana getiren Rulet, diğer dişlinin taban kısmını oluşturur [5]. Yani Şekil 2.2’den de görüldüğü gibi bir dişin baş kısmının profili Episikloid, taban kısmının profili ise Hiposikloittir.



Şekil 2.2 Sikloidal dişli ve oluşum geometrisi

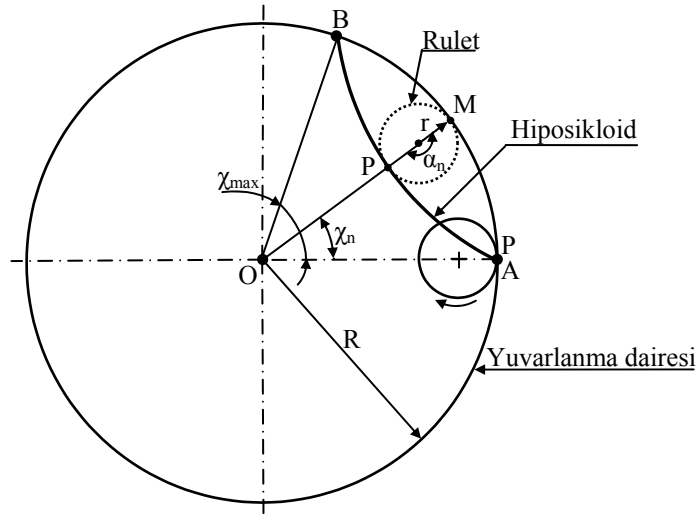
Buradan sikloidal dişliler için aşağıdaki özellikler yazılabilir:

- Dişlerin şekli ve boyutları rulet dairesinin çapına bağlıdır,
- Dişlerin temel daireleri aynı zamanda yuvarlanma daireleridir,
- Sikloidal dişli çarklara ait kremayerin dış yan yüzey profilleri birer eğri şeklindedir.

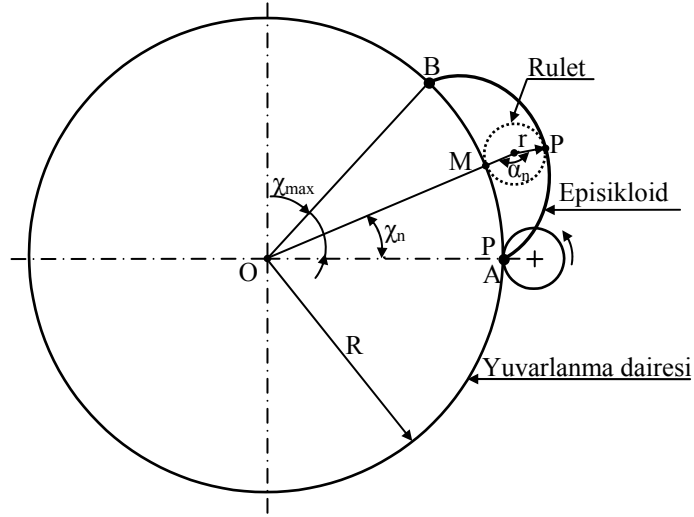
Yukarıda sayılan bu özelliklerden dolayı ve özellikle diş profilleri bir birinden farklı iki eğriden oluştuğundan, Sikloidal dişli çarklarda hatasız bir diş profili açmak oldukça güçtür. Ayrıca bu dişlilerin eksenler arası mesafeleri değiştirilemezler [24].

2.2. Tek Ruletli Sikloidal Dişli Çarkların Genel İfade ve Özellikleri

Tek ruletli Sikloidal dişli çark, adından da anlaşılacağı gibi diş üstü ve diş dibi profili aynı yarıçaplı ruletten elde edilir. Dolayısı ile dişlerin şekli ve boyutları Rulet dairesinin yarıçapına bağlıdır.



(a) Diş dibi profilinin oluşumu



(b) Diş üstü profilinin oluşumu

Şekil 2.3 Ruletin yuvarlanma dairesi üzerindeki hareketleri

Rulet üzerindeki P noktası Rulet yuvarlanmaya başlamadan önce A noktasındadır. Rulet anlık α_n açısına bağlı olarak yuvarlanmaya başlayıp Şekil 2.3a ve 2.3b’de ki konumuna geldiğinde P noktası,

$$\widehat{AP} = r.\alpha_n \quad (2.1)$$

kadarlık bir yer değiştirme yapar. Yine bu yer değiştirme sırasında Rulet yuvarlanma dairesi üzerinde,

Şekil 2.4'den de görüldüğü gibi Sikloidal dişli çarklarda diş dibi ve diş üstü profilinin elde edilmesi için Ruletin yuvarlanma dairesi üzerinde $2\chi_{\max}$ 'lık bir açısal değişim yapması gerekir. Bu durumda, diş sayısı Z olan bir Sikloidal dişli çark için aşağıdaki ifade yazılabilir.

$$360 = 2Z.\chi_{\max} \quad (2.6)$$

(2.6) ifadesinde gerekli düzenlemeler yapılırsa $\chi_{\max}$ açısı için (2.7) ifadesi yazılabilir.

$$\chi_{\max} = \frac{180}{Z} \quad (2.7)$$

Daha sonra (2.7) ifadesi (2.5) ifadesinde yerine yazılırsa yuvarlanma dairesinin yarıçapı için aşağıdaki ifade türetilebilir.

$$R = 2.r.Z \quad (2.8)$$

Şekil 2.4'den de görüldüğü gibi tek Rulete sahip Sikloidal bir dişli için taksimat dairesi üzerindeki diş genişlikleri birbirlerine eşit olduğundan aşağıdaki ifade yazılabilir.

$$p_e = p_h = R.\chi_{\max} \quad (2.9)$$

(2.7) ve (2.8) ifadeleri (2.9) ifadesinde yerlerine yazılır ve gerekli düzenlemeler yapılırsa, dişlerin taksimat dairesi üzerindeki diş üstü ve diş dibi genişliklerini veren ifade aşağıdaki gibi türetilir.

$$p_e = p_h = 2.r.\pi \quad (2.10)$$

Bu durum karşısında, tek Ruletli Sikloidal dişli çarklarda hatve aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$p = p_e + p_h \quad (2.11)$$

(2.10) ifadesi (2.11) denkleminde yerine yazılırsa, hatve için aşağıdaki ifade yazılabilir.

$$p = 4.r.\pi \quad (2.12)$$

Yine tek Ruletli bir Sikloidal dişlide, diş başı yüksekliği ile diş dibi yükseklikleri eşittir (Şekil 2.4). Bu yükseklikler için de, aşağıdaki ifade yazılabilir.

$$d_e = d_h = 2.r \quad (2.13)$$

Tek Ruletli Sikloidal dişli çark için yukarıda belirtilen tüm bu büyüklükler dikkate alınarak Tablo 2.1 hazırlanabilir.

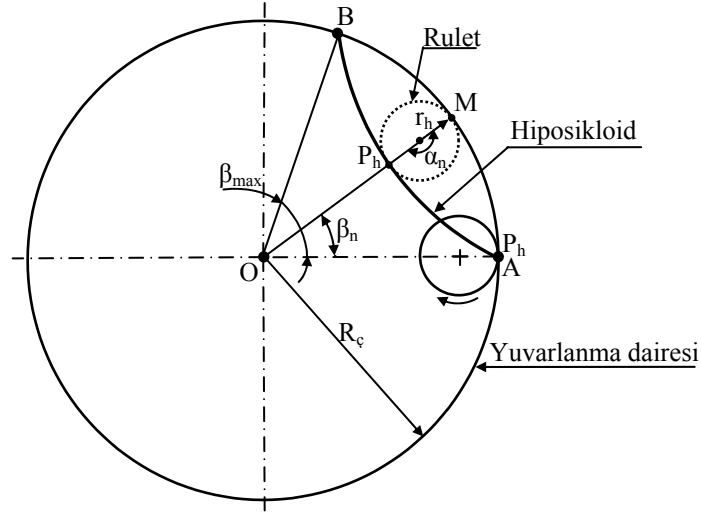
Tablo 2.1 Tek ruletli sikloidal dişli çarkların boyutlandırılması

Tasarım Parametreleri	Semboller	Formüller
Rulet yarı çapı	r	$\frac{p}{4\pi} = \frac{R}{2Z}$
Diş sayısı	Z	$\frac{R}{2r}$
Hatve	p	$4r\pi$
Yuvarlanma dairesi yarıçapı	R	$2rZ$
Diş dibi yarıçapı	R_h	$R - 2r$
Diş üstü yarıçapı	R_e	$R + 2r$
Diş dibi yüksekliği	d_h	$2r$
Diş üstü yüksekliği	d_e	$2r$

2.3. Çift Ruletli Sikloidal Dişli Çarkların Genel İfade ve Özellileri

Çift Ruletli Sikloidal dişli çarkın diş üstü ve diş dibi profilleri farklı yarıçaplı Ruletlerden elde edilir. Buna karşın dişlerin şekli ve boyutları tek Ruletli Sikloidal dişli çarklarda olduğu gibi Rulet dairelerinin yarıçaplarına bağlıdır.

Bu bölümde Ruletin yuvarlanma dairesi üzerindeki hareketleri göz önünde bulundurularak çift Ruletli Sikloidal dişli çarkın genel ifade ve özellikleri aşağıdaki şekiller yardımıyla türetilir (Şekil 2.5, 2.6 ve 2.7).



Şekil 2.5 Diş dibi profilinin oluşumu

Şekil 2.5’de Rulet yuvarlanma dairesi üzerinde α_n açısı kadar bir yuvarlanma yaparsa başlangıçta A noktası ile çakışık olan P_h noktası,

$$\widehat{AP_h} = r_h \cdot \alpha_n \quad (2.14)$$

kadarlık bir yer değiştirme yapar. Yine bu yer değiştirme sırasında Rulet yuvarlanma dairesi üzerinde,

$$\widehat{AM} = R_\varphi \cdot \beta_n \quad (2.15)$$

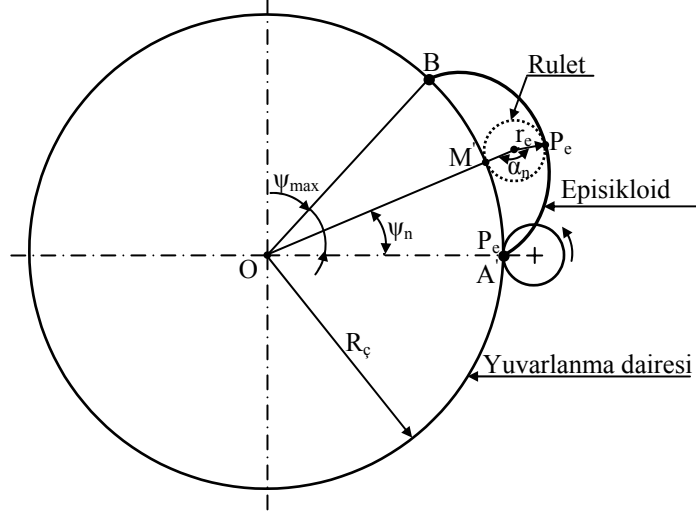
kadarlık bir yol alır. Bu durumda (2.14) ve (2.15) ifadelerinden aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$R_\varphi \cdot \beta_n = r_h \cdot \alpha_n \quad (2.16)$$

(2.16) denklemin de β_n ifadesi yalnız bırakılır ise, diş dibi profilinin oluşması için gerekli açısal ifade aşağıdaki gibi türetilmiş olur.

$$\beta_n = \frac{r_h}{R_\zeta} \cdot \alpha_n \quad (2.17)$$

Benzer şekilde diş üstü profilinin oluşması için gerekli olan açısıl ifade aşağıda verilen Şekil 2.6 yardımıyla türetilebilir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Diş üstü profilinin oluşumu

Şekil 2.6'dan da görüldüğü gibi Rulet üzerindeki P_e noktası yuvarlanmaya başlamadan önce A' noktasındadır. Yine Şekil 2.6'da Rulet yuvarlanma dairesi üzerinde α_n açısı kadar bir yuvarlanma yaparsa başlangıçta A' noktası ile çakışık olan P_e noktası,

$$\widehat{A'P_e} = r_e \cdot \alpha_n \quad (2.18)$$

kadarlık bir yer değiştirme yapar. Bu yer değiştirme sırasında Rulet yuvarlanma dairesi üzerinde,

$$\widehat{A'M'} = R_\zeta \cdot \psi_n \quad (2.19)$$

kadarlık bir yol alır. Bu durumda (2.18) ve (2.19) ifadelerinden aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

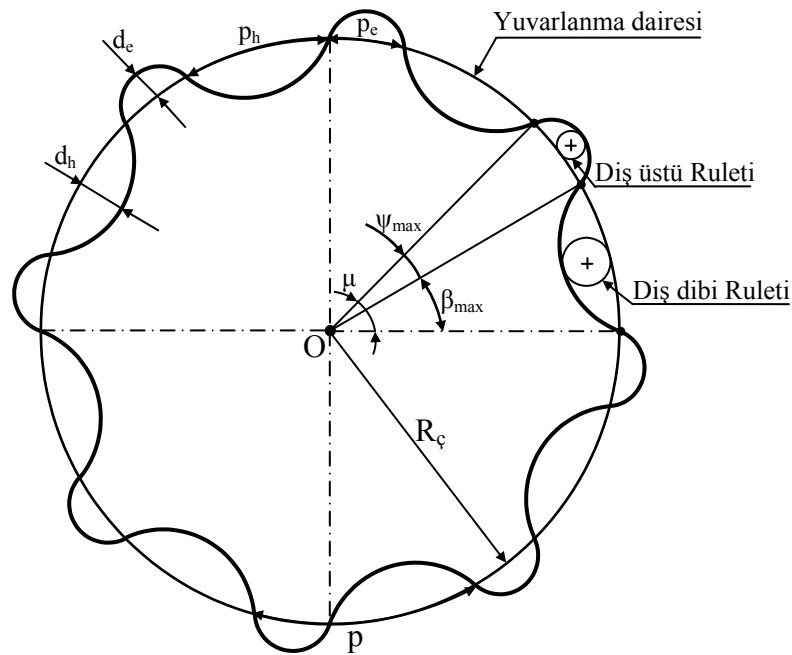
$$R_\zeta \cdot \psi_n = r_e \cdot \alpha_n \quad (2.20)$$

(2.20) denklemin de ψ_n yalnız bırakılır ise diş üstü profilinin oluşması için gerekli açısıl ifade aşağıdaki gibi türetilmiş olur.

$$\psi_n = \frac{r_e}{R_\zeta} \alpha_n \quad (2.21)$$

Yukarıdaki ifadelerde Ruletin anlık yuvarlanma açısı olan α_n 'nin değişim aralığı için aşağıdaki ifade yazılabilir.

$$0 \leq \alpha_n \leq 360^\circ \quad (2.22)$$



Şekil 2.7 Çift ruletli sikloidal çark

Şekil 2.7’den de görüldüğü gibi çift Ruletli Sikloidal dişli çarklarda diş üstü ve diş dibi profillerinin elde edilmesi için Ruletlerin yuvarlanma dairesi üzerinde μ açısı kadar bir yer değiştirmesi gerekmektedir. Bu durumda μ açısı için aşağıdaki ifade yazılabilir.

$$\mu = \beta_{\max} + \psi_{\max} \quad (2.23)$$

Diş sayısı Z olan çift Ruletli bir Sikloidal dişli çark için aşağıdaki ifade yazılabilir.

$$Z_{,\mu} = 360 \quad (2.24)$$

(2.17) ve (2.21) ifadeleri (2.24) ifadesinde yerine yazılır ve gerekli düzenlemeler yapılır ise, çift Ruletli Sikloidal bir dişli çark için yuvarlanma dairesinin yarıçapı için aşağıdaki ifade türetilir.

$$R_{\zeta} = (r_e + r_h).Z \quad (2.25)$$

Şekil 2.7'den de görüldüğü gibi çift Ruletli bir Sikloidal dişlinin diş dibi genişliği için aşağıdaki ifade yazılabilir.

$$p_e = R_{\zeta} \cdot \beta_{\max} \quad (2.26)$$

(2.17) ifadesi (2.26) ifadesinde yerine yazılır ve gerekli düzenleme yapılırsa, yuvarlanma dairesi üzerindeki diş dibi genişliğini veren ifade aşağıdaki gibi elde edilir.

$$p_e = 2.r_h \cdot \pi \quad (2.27)$$

Yine Şekil'2.7 den yuvarlanma dairesi üzerindeki diş üstü genişliği için aşağıdaki ifade yazılabilir.

$$p_h = R_{\zeta} \cdot \psi_{\max} \quad (2.28)$$

(2.21) ifadesi (2.28) ifadesinde yerine yazılırsa, diş üstü genişliği için aşağıdaki ifade bulunur.

$$p_h = 2.r_e \cdot \pi \quad (2.29)$$

Şekil 2.7'den de görüldüğü gibi, çift Ruletli Sikloidal dişli çarklarda hatve aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$p = p_e + p_h \quad (2.30)$$

(2.27) ve (2.29) ifadeleri (2.30) denkleminde yerine yazılırsa, hatve için aşağıdaki ifade türetilir.

$$p = 2.\pi.(r_e + r_h) \quad (2.31)$$

Çift Ruletli Sikloidal dişli çarklarda diş başı yüksekliği için aşağıdaki ifade yazılabilir (Şekil 2.7).

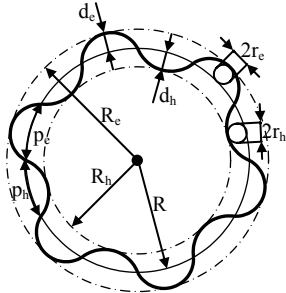
$$de = 2.r_e \quad (2.32)$$

Yine benzer şekilde diş dibi derinliği içinde (2.33) ifadesi yazılabilir.

$$dh = 2.r_h \quad (2.33)$$

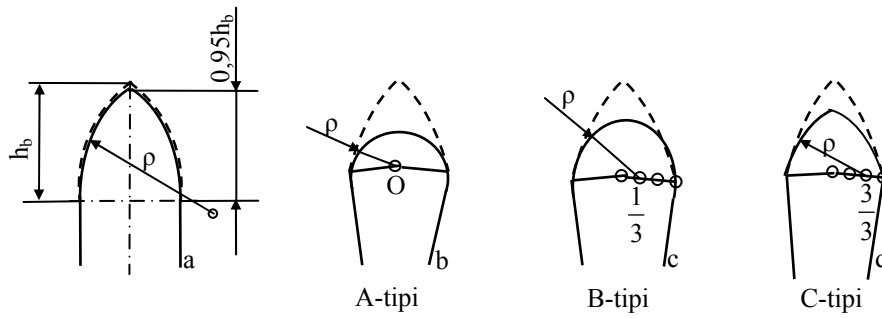
Çift Ruletli Sikloidal dişli çarklar için de yukarıda belirtilen tüm bu büyüklükler dikkate alınarak Tablo 2.2 hazırlanabilir.

Tablo 2.2 Çift ruletli sikloidal dişli çarkların boyutlandırılması

		
Tasarım Parametreleri	Semboller	Formüller
Diş sayısı	Z	$\frac{R_\zeta}{r_e + r_h}$
Hatve	p	$2\pi(r_e + r_h)$
Yuvarlanma dairesi yarıçapı	R_ζ	$z(r_e + r_h)$
Diş dibi yarıçapı	R_h	$R_\zeta - 2r_h$
Diş üstü yarıçapı	R_e	$R_\zeta + 2r_e$
Diş dibi yüksekliği	d_h	$2r_h$
Diş üstü yüksekliği	d_e	$2r_e$

2.4. Saat Teknolojisinde Kullanılan Sikloidal Dişliler

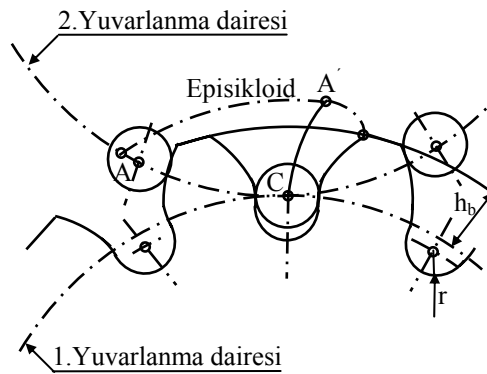
Yine Sikloid dişlilerin değiştirilmiş bir tarzı ise saat mekanizmalarında kullanılmaktadır. Daha çok İsviçre’de geliştirilen bu dişlilerde, taban profilleri birer radyal doğru olmakla beraber baş profilleri değiştirilmiştir. NHS* standartlarına göre, çarkın baş profilleri, diş başı yüksekliği tam sikloid profilli dişin baş yüksekliği h_b nin %95’i olmak üzere (Şekil 2.8 a), ρ yarıçaplı iki dairesel yaydan oluşmaktadır. Küçük dişlinin baş profilleri, merkezi taksimat dairesi üzerinde bulunan ρ yarıçaplı iki dairesel yaydan oluşmuş olup A (Şekil 2.8 b), B (Şekil 2.8 c) ve C (Şekil 2.8 d) ile gösterilen tarzda olabilirler.



Şekil 2.8 Sikloid profilli dişin baş yüksekliği

2.5. Pimli Dişli Çark Sisteminde Kullanılan Sikloidal Dişliler

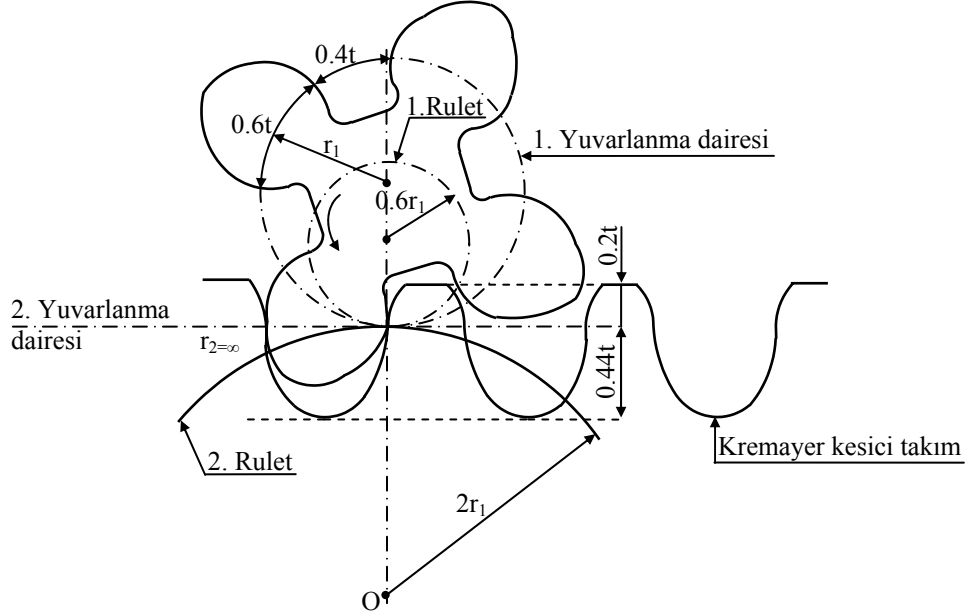
Sikloid dişli çarkların bir başka tarzı ise pimli dişli çark sistemidir. Doğruluğunun önemli olmadığı yerlerde [5], örneğin oyuncak sanayinde kullanılan bu mekanizmalarda çarkın dişleri, taksimat dairesi üzerinde silindirik pim şeklindedir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 Pimli dişli çark

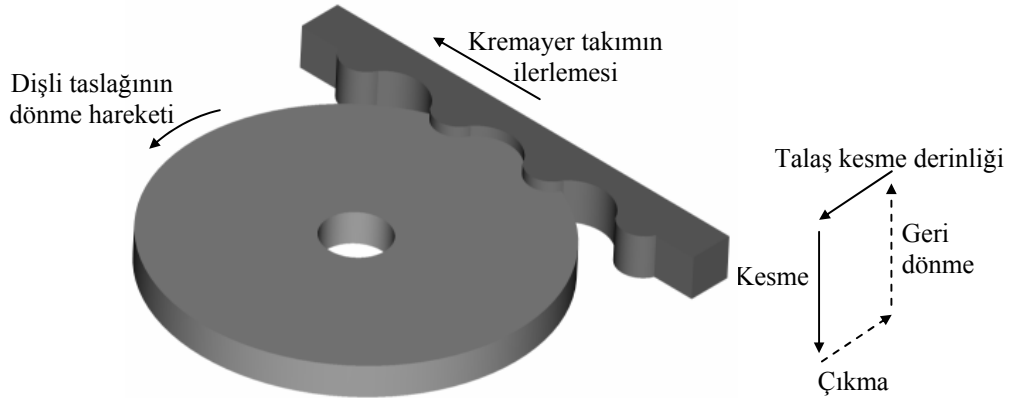
3. SIKLOİDAL DİŞLİLERİN GELENEKSEL İMALAT YÖNTEMİ

Endüstride Sikloidal dişli çarklar yuvarlanma yöntemine göre imal edilirler. Yuvarlanma yöntemi uygulamada dişli çark ile kremayerin kavrama esasına dayanmaktadır. Burada kullanılan kremayerin diş yan profilleri Şekil 3.1'den de görüldüğü gibi birer eğri şeklindedir [5].



Şekil 3.1 Kremayer kesici takım

Kremayer kesici ile diş açma işleminde dişli taslağı kendi eksenini etrafında dönerken kremayer kesici takım aşağı yukarı ve aksel olarak da ilerleme hareketi yaparak dişli taslağını keser (Şekil 3.1). Bu yöntemde kullanılan kremayer kesicinin imal edilecek dişlinin tasarım parametrelerine uygun olması gerekir.



Şekil 3.2 Kremayer kesici ile sikloidal dişlinin açılması

4. CNC FREZE TEZGAHLARINDA SIKLOİDAL DİŞLİ İMALATININ ARAŞTIRILMASI

Sanayide kullanılan dişli çarklar arasında sikloidal dişlilerin önemli bir yeri vardır. Bu dişli çarklar özellikle yüzey basıncı bakımında büyük bir yük taşıma kabiliyetine sahiptirler. Profil boyunca adhezyon aşınmasının yayılımı evolvent profillere çok daha düzgündür ve çok küçük diş sayılarında bile diş dibi kesilmesi meydana gelmez. Ancak diş profillerinin biri birinden farklı iki eğriden oluştuğundan, Sikloidal dişli çarklarda hatasız bir diş profili açmak çok güçtür ve bu dişli çarkların açılması için özel takım tezgahlarına ve çok çeşitli özel kesici takımlara gereksinim vardır [5]. Bu durum ise sanayide önemli bir problem oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, son yıllarda sanayide genel amaçlı CNC freze tezgahlarının yaygınlaşması dikkate alınarak Şekil 2.1 den de görüldüğü gibi yağ pompalarında kullanılan iç rotorun bu tezgahlarda düz alınlı parmak freze çakısı ile imalatı amaçlanmıştır. Sikloidal dişlilerin bu tezgahlarda imalatına geçmeden önce bu tezgahların kontrol özelliklerini bilmek gerekir.

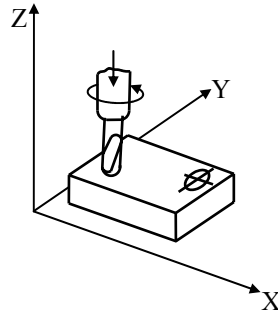
4.1. CNC Freze Tezgahları ve Kontrol Sistemleri

CNC tezgahlarını konvansiyonel tezgahlardan ayıran en önemli özellik, program girişini ve çalışmasını sağlayan bir kontrol ünitesi ve bunu temsil eden bir kontrol panosunun bulunmasıdır. Bu panoda komutların girilmesini sağlayan düğmelerin yanı sıra girilen veya işlenen komutları gösteren ve talaş kaldırma işleminin simülasyonunu yapan, bir ekran vardır. İkinci olarak talaş kaldırmak için kullanılan güç motorunun yanı sıra takım veya parça hareketlerini gerçekleştiren ve eksen adını taşıyan her hareket yönünde birer ilerleme motorları vardır. Program sinyalleri ilk önce bu amplifikatörde bulunan kontrol ünitesine ve sonra da motora gönderilir. Ayrıca kontrol sisteminden alınan program sinyallerini yükselten bir amplifikatör bulunur. Bunun yanı sıra takım veya parça hareketlerini kontrol etmek için her eksen yönünde birer sensör kullanılır. CNC tezgahlarda kontrol panosundan gönderilen program sinyalleri kontrol ünitesine, buradan da amplifikatörden geçerek motora iletilmekte ve bu da, takım veya parçayı harekete geçirmektedir. Bu hareketler sensörler tarafından kontrol edilmekte, gerçek hareket konumları ölçülmekte ve kontrol sisteminde bulunan ve komparatör denilen bir cihaza gönderilmektedir. Buradan konumlarının teorik ve gerçek değerleri karşılaştırılmakta, fark varsa hesaplanmakta, fark sinyali yükseltmek için amplifikatöre ve buradan motora iletilmektedir. Gerçek hareket konumu teorik hareket konumundan küçük ise motor hızlanır, şayet gerçek hareket konumu teorik hareket konumundan büyük ise motor

yavaşlar ve böylece aradaki farkı kapatır. Sensör her an takım veya parça hareketini kontrol eder. Ancak yine de teorik ve gerçek konum arasında bir fark (hata) kalır ve buna tezgahın hassasiyeti denir.

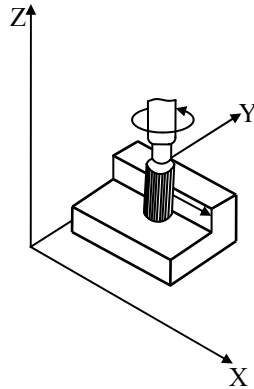
Yine CNC tezgahlarda bir işlemi gerçekleştirmek için tezgahın hareket elemanları çeşitli şekillerde kontrol edilebilir. Kontrol tipleri adını taşıyan kontrol şekilleri; noktasal, doğrusal ve eğrisel olmak üzere üç çeşittir.

a) Noktasal veya konum kontrol tipinde, takım hedef noktası denilen belirli bir noktaya gelinceye kadar kontrol edilmez (Şekil 4.1). Takım noktaya geldiğinde kontrol başlar ve takım kesme işlemini gerçekleştirir. Delme işleminde kullanılan bu kontrol tipinin programlamasında, sadece hedef noktalarının koordinatları verilir [25].



Şekil 4.1 Noktasal kontrol tipi [25].

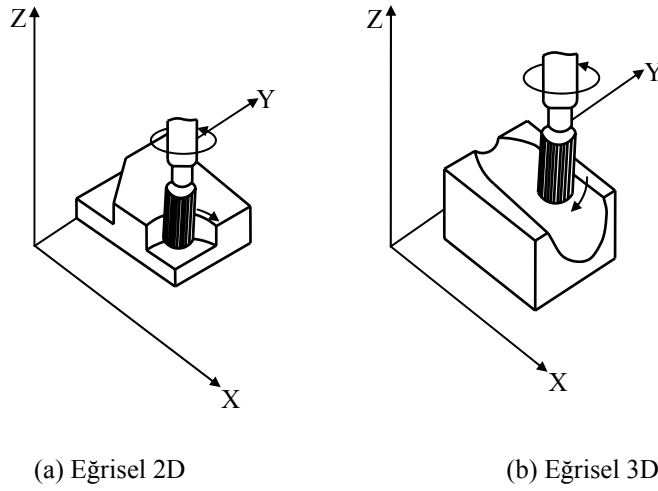
b) Doğrusal kontrol tipinde, takımın koordinat eksenlerine paralel olan hareketleri kontrol edilir ve bu yönlerde kesme işlemleri de gerçekleştirilir (Şekil 4.2). Genellikle kontrol sadece X veya Y, yani tek eksen üzerinde yapılır [25].



Şekil 4.2 Doğrusal kontrol tipleri [25].

Ancak, ilerleme hızlarının oranı v_x / v_y sabit kalmak koşuluyla, takım aynı anda iki eksen üzerinde kontrol edilebilir. Bu durumda takım, eğik bir yolda kesme işlemi gerçekleştirebilir. Doğrusal kontrol tipi frezeleme ve tornalama gibi işlemlerde uygulanır.

c) Eğrisel kontrol tipinde, takımın hareketi aynı anda iki eksen üzerinde (Şekil 4.3 a) veya aynı anda üç eksen üzerinde kontrol edilebilir (Şekil 4.3 b). Bu şekilde çeşitli eğrisel yüzeyler işlenebilir. Esasında bu kontrol tipi doğrusal tipin genişletilmiş tarzıdır. Doğrusal ve eğrisel kontrol tiplerine, takımın hareketleri devamlı kontrol edildiği için buna sürekli temas kontrol tipide denilmektedir [25].



Şekil 4.3 Eğrisel kontrol tipleri [25].

4.2. CNC Freze Tezgahlarında Sikloidal Dişli İmalatı İçin Uygun Yöntemin Belirlenmesi

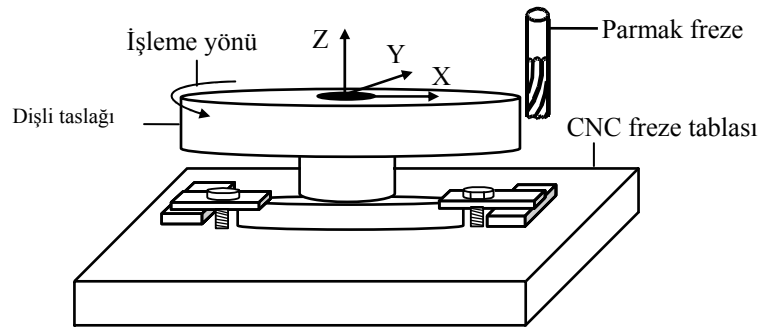
Sikloidal dişlilerin, kesici takımın aynı anda iki ve üç eksen üzerinde hareket edebildiği CNC freze tezgahlarında imal edilebileceği görülmektedir (Şekil 4.3). Ancak kesici takımın aynı anda 3 eksen üzerinde hareket edebildiği CNC freze tezgahların fiyatları, kesici takımın aynı anda 2 eksen üzerinde hareket edebildiği CNC freze tezgahlarına göre oldukça pahalıdır.

Bu çalışmada, sikloidal dişlilerin imalatında F. Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Talaşlı Üretim Laboratuvarında bulunan kesici takımın aynı anda üç eksen üzerinde hareket edebildiği dik işlem merkezli Dyna 4M CNC freze tezgahı kullanılmıştır. Bu tezgahta, Sikloidal dişli çarkın diş profillerinin işlenmesi için, dişli taslağı ile çarkının yuvarlanma yönteminde olduğu gibi döndürülmesine gerek kalmadan, diş profil eğrisi üzerindeki noktalara göre parmak freze çakısının hareket etmesi yeterli olacaktır. Bu şekilde bir imalatın yapılabilmesi için Sikloidal dişli çarkların diş profil denklemleri çıkartılmalı ve parmak freze çakısı bu profil denklemlerine göre hareket ettirilmelidir.

Parmak freze çakısının sikloidal diş profili üzerinde hareketi ise, aşağıdaki bölümlerde verildiği gibi iki şekilde gerçekleştirilebilir.

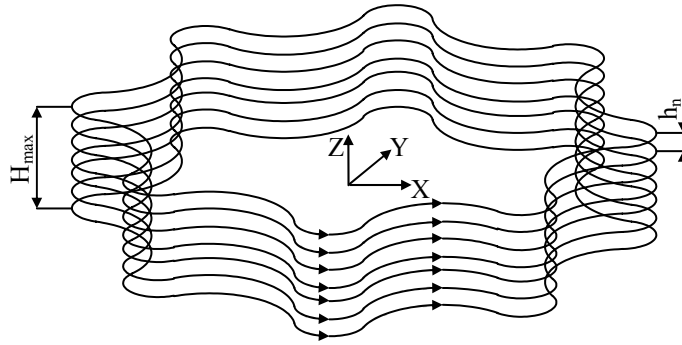
4.2.1. Sikloidal Dişlilerin Dik İşlem Merkezli CNC Freze Tezgahında Radyal Olarak İşlenmesi

Bu şekilde bir imalat için, Sikloidal dişli taslağı CNC freze tezgahının tablasına üniversal bir torna tezgahının aynası, bir mengene veya cıvata ve pabuçlar ile bağlanarak işlenebilir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 CNC frezede sikloidal dişli çarkın radyal olarak işlenmesi

Sikloidal dişli Şekil 4.4’de görüldüğü gibi düz alınlı parmak freze çakısı ile işlenirken parmak freze çakısı diş profil denklemlerine göre dişli taslağını Z eksen boyunca X-Y düzlemine paralel düzlemler boyunca keser (Şekil 4.5).

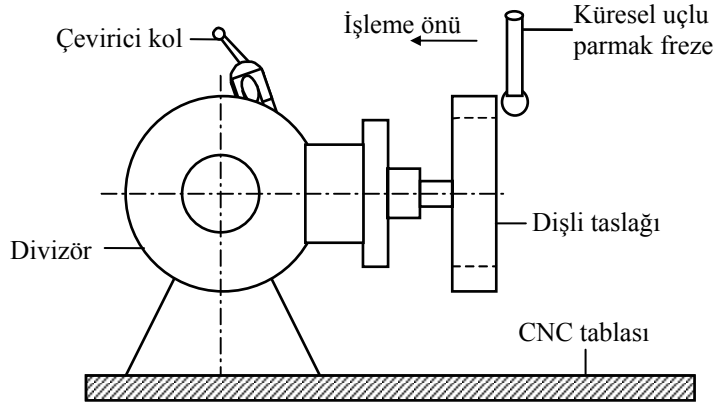


Şekil 4.5 Radyal işleme için takım yolları

Şekil 4.5 deki iki tabaka arasındaki h_n yüksekliği ise bu şekilde bir imalat için parmak freze çakısının kesebileceği maksimum talaş kesme kalınlığı ve H_{max} ise Sikloidal dişlinin diş boyunun uzunluğu olarak tanımlanabilir.

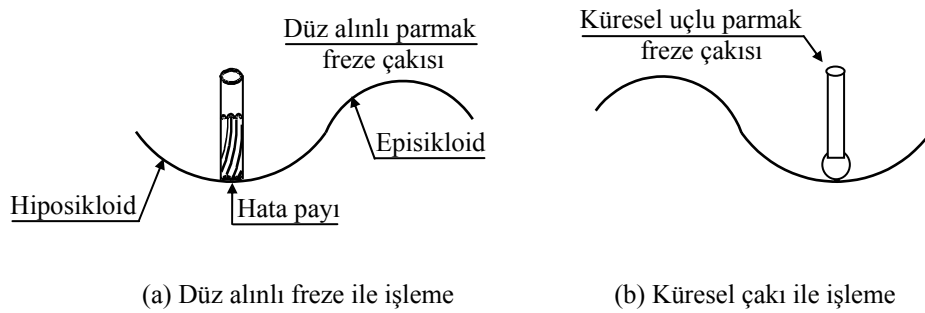
4.2.2. Sikloidal Dişlilerin Dik İşlem Merkezli CNC Freze Tezgahında Eksenel Olarak İşlenmesi

Bu şekilde bir imalat için ise, Sikloidal dişli taslağı CNC freze tezgahına bir divizör ile veya CNC freze tezgahının döner bir tablası var ise şekil 4.6’da görüldüğu gibi bağlanabilir.



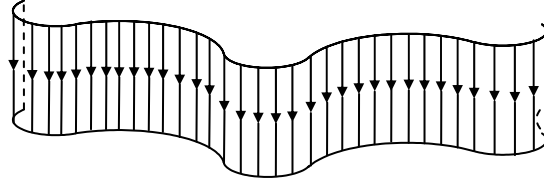
Şekil 4.6 CNC frezede sikloidal dişli çarkın aksel olarak işlenmesi

Sikloidal dişliyi bu şekilde işleyebilmek için, düz alınlı parmak freze çakısı yerine küresel uçlu parmak freze çakısına ihtiyaç duyulacağı görülmektedir. Çünkü Sikloidal dişlilerin diş dibi profilleri Hiposikloid eğrisi şeklindeyir. Dişlinin bu özelliğinden dolayı düz alınlı parmak freze çakısının diş dibi profilinde hatalı bir imalata sebep olacağı görülmektedir (Şekil 4.7a ve 4.7b).



Şekil 4.7 Diş profili üzerinde çakıların konumu

Sikloidal dişliyi Şekil 4.6’da görüldüğu gibi küresel uçlu parmak freze ile işleyebilmek için dişli taslağının konumu dikkate alınarak eksen takımlarının veya diş profil denklemlerinin yeniden düzenlenmesi gerekir. Çünkü bu yöntemde dişlinin diş boyu uzunluğu, tezgahın X ekseninde olup çakı X ekseninde doğrular boyunca hareket edecektir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 Eksenel işleme için takım yolları

Yine bu şekilde bir imalat için Sikloidal dişli üzerindeki tek bir diş profili için profil denklemlerinin çıkartılması yeterli olacaktır. Çünkü diş profilleri işlenirken dişli taslağı döner tabla veya divizör ile döndürülecektir.

4.2.3. Sikloidal Dişlilerin Dik İşlem Merkezli CNC Freze Tezgahlarında İmalatı İçin Uygun Yöntemin Seçilmesi

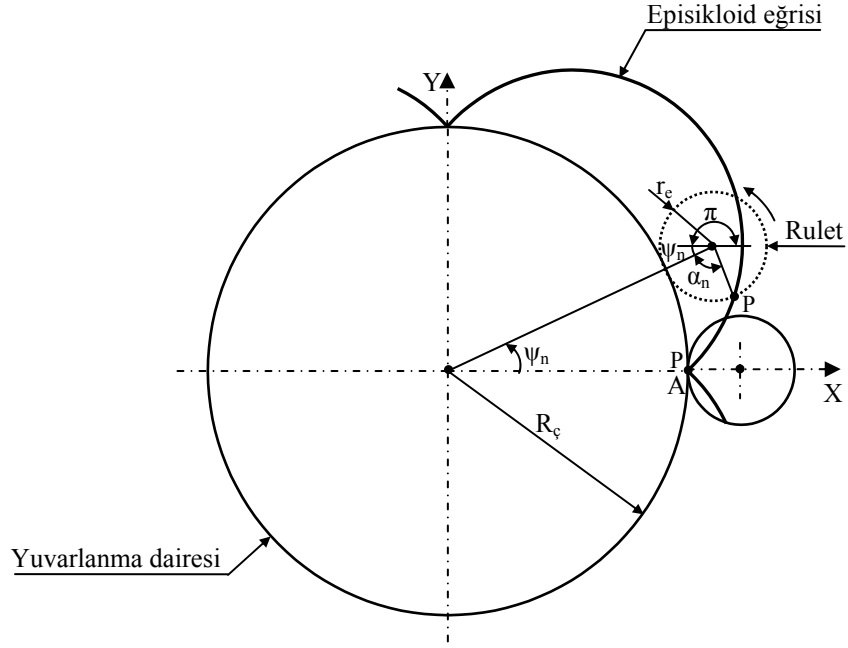
Yapılan bu tez çalışmasında, yağ pompalarında kullanılan Sikloidal dişli çarkın CNC freze tezgahında radyal olarak işlenmesi esas alınmıştır. Bu yöntemin seçilmesinin nedenleri ise; Sikloidal dişli çarkın diş profilleri işlenirken, dişli taslağını tezgah tablasına bağlamak için divizör gibi yardımcı aperlara gerek kalmayacaktır. Çünkü kullanılacak her aparat işlenecek olan Sikloidal dişli çarkın işlenme hassasiyetini etkileyebilir. Yine Sikloidal dişli çarkı işlemek için radyal yöntemin esas alınmasının bir başka nedeni ise, piyasalarda düz alınlı parmak freze çıkışının küresel uçlu parmak freze çıkışına göre ucuz ve bol miktarda bulunmasıdır.

4.3. Sikloidal Dişli Çarkın CNC Freze Tezgahında İmalatı İçin Uygun Programın Hazırlanması

Bu çalışmada, Sikloidal dişli çarkların CNC freze tezgahlarında imalatı için genel amaçlı bir CAM programı hazırlanırken, Sikloidal dişlinin diş üstü ve diş dibi profillerinin oluşum prensibi dikkate alınmıştır. Bu amaç için aşağıdaki bölümlerde Sikloidal dişlinin parametrik takım yolu denklemlerinin nasıl çıkartıldığı anlatılmıştır.

4.3.1. Sikloidal Dişli Çarkın Diş Üstü Profili İçin Parametrik Eğri Denklemlerinin Çıkarılması

Bilindiği gibi Sikloidal dişli çarkların diş üstü profili Episikloittir. Episikloid bir daire üzerinde kaymadan yuvarlanan bir başka daire üzerindeki bir noktanın meydana getirdiği eğridir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 Diş üstü profilinin eğrisi

Şekil 4.9'dan da görüldüğü gibi Rulet üzerindeki P noktası, Rulet yuvarlanmaya başlamadan önce A noktasındadır. Ruletin yuvarlanma dairesi üzerinde yuvarlanması sırasında P noktasının koordinatları aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$xe_n = (R_ç + r_e) \cdot \cos \psi_n + r_e \cdot \cos(\pi + \psi_n + \alpha_n) \quad (4.1)$$

$$ye_n = (R_ç + r_e) \cdot \sin \psi_n + r_e \cdot \sin(\pi + \psi_n + \alpha_n) \quad (4.2)$$

(4.1) ve (4.2) denklemleri aşağıdaki şekilde düzenlenebilir.

$$xe_n = (R_ç + r_e) \cdot \cos \psi_n - r_e \cdot \cos(\psi_n + \alpha_n) \quad (4.3)$$

$$ye_n = (R_ç + r_e) \cdot \sin \psi_n - r_e \cdot \sin(\psi_n + \alpha_n) \quad (4.4)$$

Yine Şekil 4.9'dan aşağıdaki ifade yazılabilir.

$$R_ç \cdot \psi_n = r_e \cdot \alpha_n \quad (4.5)$$

(4.5) eşitliğinden,

$$\alpha_n = \frac{R_\zeta \cdot \psi_n}{r_e} \quad (4.6)$$

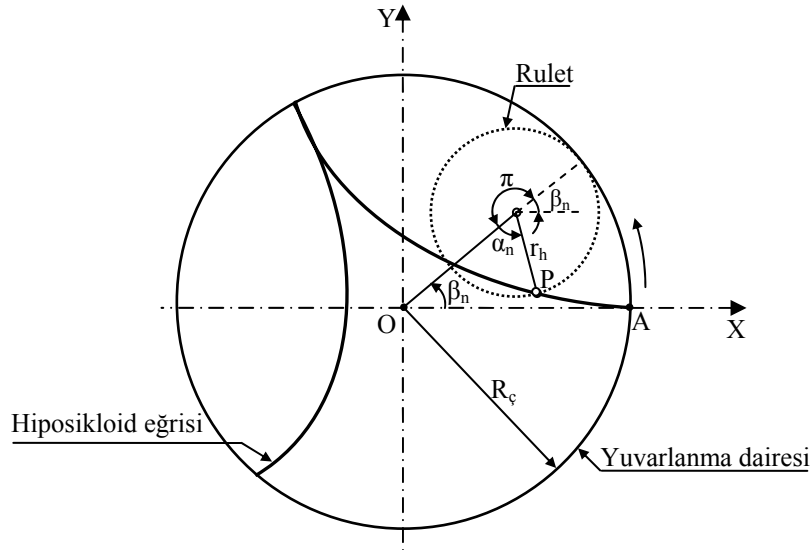
(4.6) ifadesi yazılabilir. Bulunan bu ifadeye göre (4.3 ve 4.4) denklemleri düzenlenirse, diş üstü profili için parametrik ifadeler aşağıdaki gibi elde edilir.

$$xe_n = (R_\zeta + r_e) \cdot \cos \psi_n - r_e \cdot \cos \left[\frac{(R_\zeta + r_e)}{r_e} \cdot \psi_n \right] \quad (4.7)$$

$$ye_n = (R_\zeta + r_e) \cdot \sin \psi_n - r_e \cdot \sin \left[\frac{(R_\zeta + r_e)}{r_e} \cdot \psi_n \right] \quad (4.8)$$

4.3.2. Sikloidal Dişli Çarkın Diş Dibi Profili İçin Parametrik Eğri Denklemlerinin Çıkarılması

Sikloidal dişli çarklarda diş dibi profili Hiposikloiddir. Bilindiği gibi Hiposikloid eğrisi bir dairenin iç kısmında kaymadan yuvarlanan bir başka daire üzerindeki bir noktanın çizdiği eğridir. Şekil 4.10'daki rulet üzerindeki P noktası, yuvarlanmaya başlamadan önce A noktasındadır.



Şekil 4.10 Diş dibi profilinin eğrisi

Ruletin yuvarlanma dairesinin iç kısmında yuvarlanması sırasında, Rulet üzerindeki P noktasının koordinatları aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$xh_n = (R_\zeta - r_h) \cdot \cos \beta_n + r_h \cdot \cos(\beta_n + \pi + \alpha_n) \quad (4.9)$$

$$yh_n = (R_\zeta - r_h) \cdot \sin \beta_n + r_h \cdot \sin(\beta_n + \pi + \alpha_n) \quad (4.10)$$

(4.9) ve (4.10) denklemleri aşağıdaki şekilde düzenlenebilir.

$$xh_n = (R_\zeta - r_h) \cdot \cos \beta_n - r_h \cdot \cos(\beta_n + \alpha_n) \quad (4.11)$$

$$yh_n = (R_\zeta - r_h) \cdot \sin \beta_n - r_h \cdot \sin(\beta_n + \alpha_n) \quad (4.12)$$

Yine Şekil 4.10'dan aşağıdaki ifade yazılabilir.

$$R_\zeta \cdot \beta_n = r_h \cdot (\pi - \alpha_n) \quad (4.13)$$

(4.13) eşitliğinden,

$$\alpha_n = \pi - \frac{R_\zeta \cdot \beta_n}{r_h} \quad (4.14)$$

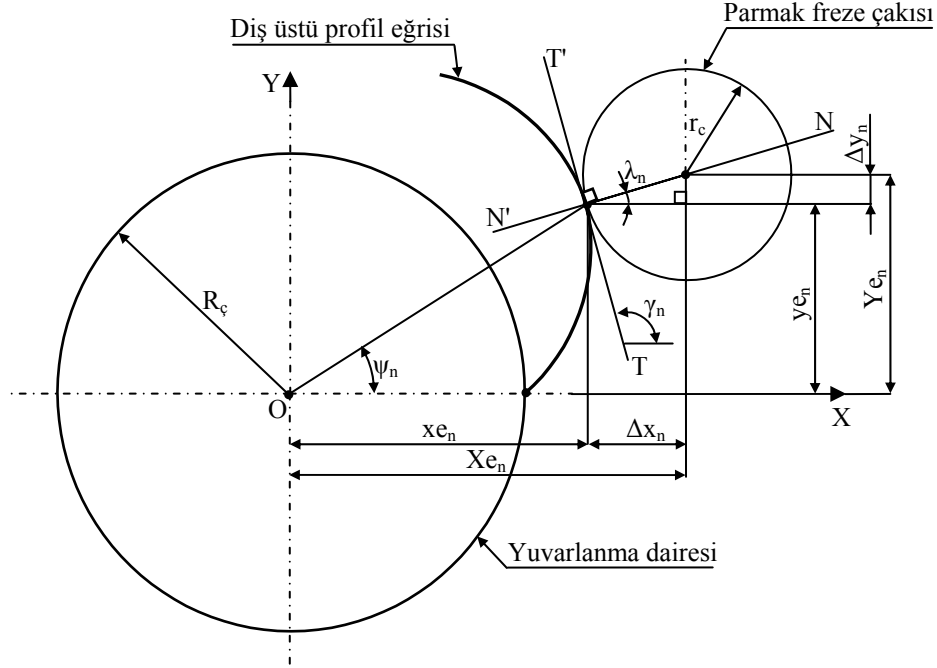
(4.14) yazılabilir. Bulunan bu ifadeye göre (4.11 ve 4.12) denklemleri düzenlenirse, dış dibi profili için parametrik ifadeler aşağıdaki gibi elde edilir.

$$xh_n = (R_\zeta - r_h) \cdot \cos \beta_n + r_h \cdot \cos \left[\frac{(R_\zeta - r_h)}{r_h} \cdot \beta_n \right] \quad (4.15)$$

$$yh_n = (R_\zeta - r_h) \cdot \sin \beta_n - r_h \cdot \sin \left[\frac{(R_\zeta - r_h)}{r_h} \cdot \beta_n \right] \quad (4.16)$$

4.3.3. Diş Üstü Profili İçin Takım Yolu Denklemlerinin Çıkartılması

Yukarıda çıkarılan parametrik diş profili denklemlerine göre Sikloidal dişli çark imal edilir ise, imalatı gerçekleştirilmek istenen Sikloidal dişli çarktan farklı boyutlarda bir Sikloidal dişli çark imal edilir. Çünkü bu denklemlere parmak freze çakısının yarıçapı ile ilgili ifadeler ilave edilmemiştir. Çakı yarıçapı ile ilgili ifadeler, Şekil 4.11 dikkate alınarak aşağıdaki gibi türetilmiştir.



Şekil 4.11 Parmak freze çakısının diş üstü profili üzerindeki konumu (üst görünüş)

Çakı merkezinin konumu ile ilgili ifadeler, Şekil 4.11'den aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$X_{e_n} = x_{e_n} + \Delta x_n \quad (4.17)$$

$$Y_{e_n} = y_{e_n} + \Delta y_n \quad (4.18)$$

Yine Şekil 4.11'den Δx_n ve Δy_n için aşağıdaki ifadeler yazılabilir.

$$\Delta x_n = r_c \cdot \cos \lambda_n \quad (4.19)$$

$$\Delta y_n = r_c \cdot \sin \lambda_n \quad (4.20)$$

(4.19) ve (4.20) denklemlerindeki λ_n açısı; Sikloidal dişlinin diş üstü profili için çıkartılan parametrik ifadelerin ψ_n açısına göre türevleri alınırsa,

$$dxe_n = -(R_\zeta + r_e) \cdot \sin \psi_n + (R_\zeta + r_e) \cdot \sin\left(\frac{R_\zeta + r_e}{r_e} \cdot \psi_n\right) \quad (4.21)$$

$$dye_n = -(R_\zeta + r_e) \cdot \cos \psi_n - (R_\zeta + r_e) \cdot \cos\left(\frac{R_\zeta + r_e}{r_e} \cdot \psi_n\right) \quad (4.22)$$

yukarıdaki ifadeler yazılabilir. Bu ifadeler yardımı ile Şekil 4.11'den Teğetin eğimi için aşağıdaki ifade yazılabilir.

$$m_{te} = \tan \gamma_n = \frac{dye_n}{dxe_n} \quad (4.23)$$

Yine bilindiği gibi Teğetin eğimi ile Normalin eğimi arasında aşağıda yazılan ilişki vardır.

$$m_{te} \cdot m_{no} = -1 \quad (4.24)$$

(4.23) ve (4.24) ifadelerinden Normalin eğimi için aşağıdaki ifade yazılabilir.

$$m_{no} = \tan \lambda_n = -\frac{dxe_n}{dye_n} \quad (4.25)$$

(4.25) ifadesinden λ_n açısı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\lambda_n = \arctan\left(-\frac{dxe_n}{dye_n}\right) \quad (4.26)$$

(4.21) ve (4.22) ifadeleri (4.26) ifadesinde yerine yazılır ise, son halde λ_n aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\lambda_n = \arctan \left(- \frac{-(R_\zeta + r_e) \cdot \sin \psi_n + (R_\zeta + r_e) \cdot \sin\left(\frac{R_\zeta + r_e}{r_e} \cdot \psi_n\right)}{-(R_\zeta + r_e) \cdot \cos \psi_n - (R_\zeta + r_e) \cdot \cos\left(\frac{R_\zeta + r_e}{r_e} \cdot \psi_n\right)} \right) \quad (4.27)$$

(4.27) ifadesi (4.19) ve (4.20) ifadesinde yerine yazılır ise Δ_x ve Δ_y için analitik ifadeler aşağıdaki gibi türetilmiş olur.

$$\Delta x_n = r_c \cdot \cos \left[\arctan \left(- \frac{-(R_\zeta + r_e) \cdot \sin \psi_n + (R_\zeta + r_e) \cdot \sin\left(\frac{R_\zeta + r_e}{r_e} \cdot \psi_n\right)}{-(R_\zeta + r_e) \cdot \cos \psi_n - (R_\zeta + r_e) \cdot \cos\left(\frac{R_\zeta + r_e}{r_e} \cdot \psi_n\right)} \right) \right] \quad (4.28)$$

$$\Delta y_n = r_c \cdot \sin \left[\arctan \left(- \frac{-(R_\zeta + r_e) \cdot \sin \psi_n + (R_\zeta + r_e) \cdot \sin\left(\frac{R_\zeta + r_e}{r_e} \cdot \psi_n\right)}{-(R_\zeta + r_e) \cdot \cos \psi_n - (R_\zeta + r_e) \cdot \cos\left(\frac{R_\zeta + r_e}{r_e} \cdot \psi_n\right)} \right) \right] \quad (4.29)$$

(4.28) ve (4.29) ifadeleri de, (4.17) ve (4.18) ifadelerinde yerine yazılır ise dış üstü profili için takım yolu denklemleri aşağıdaki gibi türetilmiş olur.

$$X e_n = x e_n + r_c \cdot \cos \left[\arctan \left(- \frac{-(R_\zeta + r_e) \cdot \sin \psi_n + (R_\zeta + r_e) \cdot \sin\left(\frac{R_\zeta + r_e}{r_e} \cdot \psi_n\right)}{-(R_\zeta + r_e) \cdot \cos \psi_n - (R_\zeta + r_e) \cdot \cos\left(\frac{R_\zeta + r_e}{r_e} \cdot \psi_n\right)} \right) \right] \quad (4.30)$$

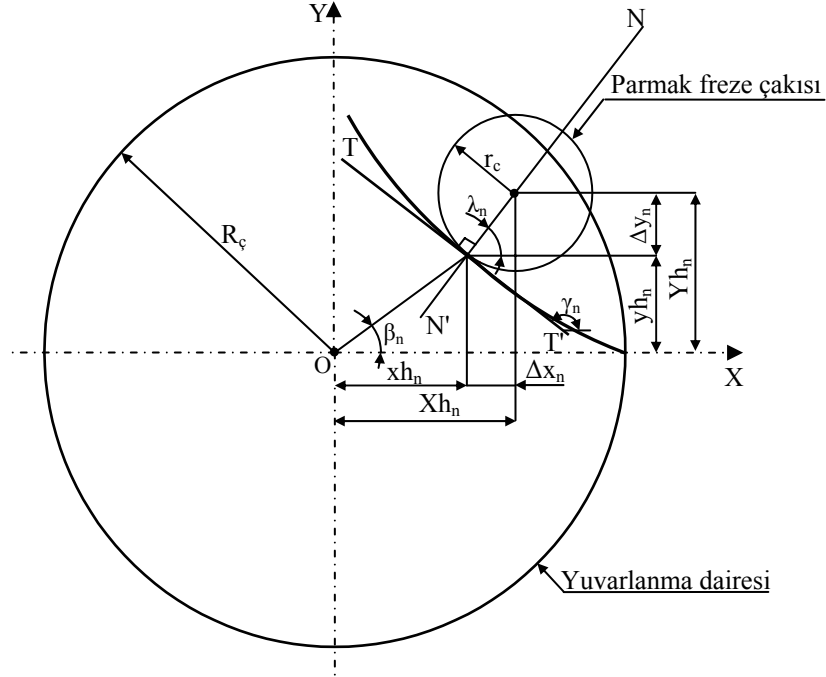
$$Y e_n = y e_n + r_c \cdot \sin \left[\arctan \left(- \frac{-(R_\zeta + r_e) \cdot \sin \psi_n + (R_\zeta + r_e) \cdot \sin\left(\frac{R_\zeta + r_e}{r_e} \cdot \psi_n\right)}{-(R_\zeta + r_e) \cdot \cos \psi_n - (R_\zeta + r_e) \cdot \cos\left(\frac{R_\zeta + r_e}{r_e} \cdot \psi_n\right)} \right) \right] \quad (4.31)$$

Dış üstü profilinin, talaş kesme derinliğine bağlı değişimi aşağıdaki gibidir.

$$Ze_n = h_n \quad (4.32)$$

4.3.4. Diş Dibi Profili İçin Takım Yolu Denklemlerinin Çıkarılması

Diş dibi profili için takım yolu denklemlerinin türetilmesi de, diş üstü profiline benzer şekilde yapılmıştır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12 Parmak freze çakısının diş dibi profili üzerindeki konumu (üst görünüş)

Çakı merkezinin konumu ile ilgili ifadeler, Şekil 4.12'den aşağıdaki gibi türetilir.

$$Xh_n = xh_n + \Delta x_n \quad (4.33)$$

$$Yh_n = yh_n + \Delta y_n \quad (4.34)$$

Yine Şekil 4.12'den Δx_n ve Δy_n için aşağıdaki gibi ifadeler yazılabilir.

$$\Delta x_n = r_c \cdot \cos \lambda_n \quad (4.35)$$

$$\Delta y_n = r_c \cdot \sin \lambda_n \quad (4.36)$$

(4.35) ve (4.36) denklemlerindeki λ_n açısı; Sikloidal dişlinin diş dibi profili için çıkartılan parametrik ifadelerin β_n açısına göre türevleri alınırsa,

$$dxh_n = -(R_\zeta - r_h) \cdot \sin \beta_n - (R_\zeta - r_h) \cdot \sin\left(\frac{R_\zeta - r_h}{r_h} \cdot \beta_n\right) \quad (4.37)$$

$$dyh_n = (R_\zeta - r_h) \cdot \cos \beta_n - (R_\zeta - r_h) \cdot \cos\left(\frac{R_\zeta - r_h}{r_h} \cdot \beta_n\right) \quad (4.38)$$

yukarıdaki ifadeler yazılabilir. Bu ifadeler yardımı ile Şekil 4.12'den Teğetin eğimi için aşağıdaki ifadeler yazılabilir.

$$m_{te} = \tan \gamma_n = \frac{dyh_n}{dxh_n} \quad (4.39)$$

Yine bilindiği gibi Teğetin eğimi ile Normalin eğimi arasında aşağıda yazılan ilişki vardır.

$$m_{te} \cdot m_{no} = -1 \quad (4.40)$$

(4.39) ve (4.40) ifadelerinden Normalin eğimi için aşağıdaki ifade yazılabilir.

$$m_{no} = \tan \lambda_n = -\frac{dxh_n}{dyh_n} \quad (4.41)$$

(4.41) ifadesinden λ_n açısı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\lambda_n = \arctan\left(-\frac{dxh_n}{dyh_n}\right) \quad (4.42)$$

(4.37) ve (4.38) ifadeleri (4.42) ifadesinde yerine yazılır ise, son halde λ_n aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\lambda_n = \arctan \left(- \frac{-(R_\zeta - r_h) \cdot \sin \beta_n - (R_\zeta - r_h) \cdot \sin(\frac{R_\zeta - r_h}{r_h} \cdot \beta_n)}{(R_\zeta - r_h) \cdot \cos \beta_n - (R_\zeta - r_h) \cdot \cos(\frac{R_\zeta - r_h}{r_h} \cdot \beta_n)} \right) \quad (4.43)$$

(4.43) ifadesi (4.35) ve (4.36) ifadesinde yerine yazılır ise, Δ_x ve Δ_y için analitik ifadeler karşılıkları aşağıdaki gibi türetilir.

$$\Delta x_n = r_c \cdot \cos \left[\arctan \left(- \frac{-(R_\zeta - r_h) \cdot \sin \beta_n - (R_\zeta - r_h) \cdot \sin(\frac{R_\zeta - r_h}{r_h} \cdot \beta_n)}{(R_\zeta - r_h) \cdot \cos \beta_n - (R_\zeta - r_h) \cdot \cos(\frac{R_\zeta - r_h}{r_h} \cdot \beta_n)} \right) \right] \quad (4.44)$$

$$\Delta y_n = r_c \cdot \sin \left[\arctan \left(- \frac{-(R_\zeta - r_h) \cdot \sin \beta_n - (R_\zeta - r_h) \cdot \sin(\frac{R_\zeta - r_h}{r_h} \cdot \beta_n)}{(R_\zeta - r_h) \cdot \cos \beta_n - (R_\zeta - r_h) \cdot \cos(\frac{R_\zeta - r_h}{r_h} \cdot \beta_n)} \right) \right] \quad (4.45)$$

(4.44) ve (4.45) ifadeleri de, (4.33) ve (4.34) ifadelerinde yerine yazılır ise, dış dibi profili için takım yolu denklemleri aşağıdaki gibi türetilir.

$$Xh_n = xh_n + r_c \cdot \cos \left[\arctan \left(- \frac{-(R_\zeta - r_h) \cdot \sin \beta_n - (R_\zeta - r_h) \cdot \sin(\frac{R_\zeta - r_h}{r_h} \cdot \beta_n)}{(R_\zeta - r_h) \cdot \cos \beta_n - (R_\zeta - r_h) \cdot \cos(\frac{R_\zeta - r_h}{r_h} \cdot \beta_n)} \right) \right] \quad (4.46)$$

$$Yh_n = yh_n + r_c \cdot \sin \left[\arctan \left(- \frac{-(R_\zeta - r_h) \cdot \sin \beta_n - (R_\zeta - r_h) \cdot \sin(\frac{R_\zeta - r_h}{r_h} \cdot \beta_n)}{(R_\zeta - r_h) \cdot \cos \beta_n - (R_\zeta - r_h) \cdot \cos(\frac{R_\zeta - r_h}{r_h} \cdot \beta_n)} \right) \right] \quad (4.47)$$

Dış dibi profilinin, talaş kesme derinliğine bağlı değişimi aşağıdaki gibidir.

$$Zh_n = h_n \quad (4.48)$$

4.3.5. CNC Programında Sikloidal Dişlinin Diş Profillerinin Döndürülmesi

Parmak freze çakısı, Sikloidal dişli çark için yukarıda çıkartılan parametrik takım yolu denklemlerinin nümerik çözümlerine göre hareket ederse, sadece bir diş profili imal edilir. Bu nedenle Sikloidal dişli çarkın imalatının tamamlanabilmesi için takım yolu denklemlerinin Sikloidal dişlinin, diş sayısı dikkate alınarak döndürülmesi gerekir. Bu döndürme işlemi için gerekli olan matematiksel ifadeler, Sikloidal dişlinin diş dibi ve diş üstü profillerinin oluşum açısı dikkate alınarak matris formunda, sırası ile aşağıdaki gibi yazılmıştır.

$$\begin{bmatrix} X_E \\ Y_E \\ Z_E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \phi & -\sin \phi & 0 \\ \sin \phi & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Xe_n \\ Ye_n \\ Ze_n \end{bmatrix} \quad (4.49)$$

Hazırlanan programda diş üstü profili oluşturulduktan sonra ϕ açısı (4.50) denklemi ile güncellenmelidir.

$$\phi = \phi + \psi_{\max} \quad (4.50)$$

$$\begin{bmatrix} X_H \\ Y_H \\ Z_H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \phi & -\sin \phi & 0 \\ \sin \phi & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Xh_n \\ Yh_n \\ Zh_n \end{bmatrix} \quad (4.51)$$

Yine diş dibi profili oluşturulduktan sonra ϕ açısı (4.52) denklemi ile güncellenmelidir.

$$\phi = \phi + \beta_{\max} \quad (4.52)$$

CNC programında ϕ açısının güncellenmesine, diş sayısı boyunca bu şekilde devam edilerek Sikloidal dişli çarkın imalatı tamamlanır.

$$AM = R_{\phi} \cdot \sin \frac{\beta_{\max}}{2} \quad (4.54)$$

(4.54) ifadesi (4.53) ifadesinde yerine yazılır ve gerekli düzenlemeler yapılır ise, çakı yarıçapı için üst sınır olarak aşağıdaki ifade alınabilir.

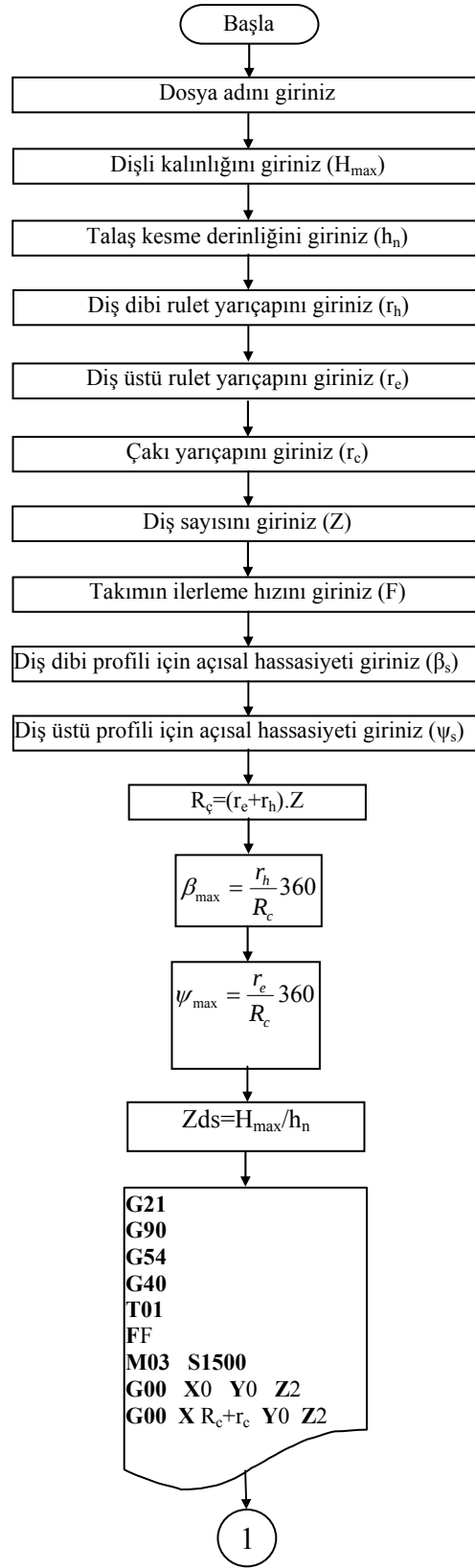
$$r_{c_{\max}} = z \cdot (r_e + r_h) \cdot \left[\sqrt{1 - \left[\sin \frac{r_h \cdot 180}{(r_e + r_h) \cdot z} \right]^2} - 1 \right] + 2 \cdot r_h \quad (4.55)$$

Bunun yanında çakı yarıçapı için alt sınır olarak, piyasada kullanılan en küçük çaplı çakının 2'lik olduğu göz önünde bulundurulur ise, çakı yarıçapı için alt ve üst sınır olarak aşağıdaki ifade yazılabilir.

$$1 \leq r_c \leq r_{c_{\max}} \quad (4.56)$$

4.4. Sikloidal Dişli Çarkın İmalatı İçin Hazırlanan Programın Algoritması

Bu bölümde C++ programlama dilini kullanarak, kullanıcının gireceği tasarım parametrelerine göre Sikloidal dişli çarkın parametrik takım yolu denklemleri dikkate alınarak iki boyutlu CAD modeli oluşturulmuştur. Bu CAD modeline göre, Sikloidal dişli çarkın dik işlem merkezli CNC freze tezgahında imal edilebilmesi için gerekli olan CAM kodları hazırlanan C++ programı içerisinde açılan bir dosyaya yazdırılmıştır. Bu CAM kodlarının türetilmesinde standart ISO (G ve M) kodları kullanılmıştır. Hazırlanan programın algoritması aşağıdaki gibidir (Şekil 4.15).



Hazırlanan bu program h_n , ψ_s ve β_s gibi üç hassasiyet değerine göre çalışmaktadır. Programda h_n için girilen değerler parmak freze çakısının Sikloidal dişliyi işlerken talaş kesme yüksekliğini ifade eder. ψ_s ve β_s için girilen değerler ise Sikloidal diş profillerinin işleme hassasiyetini ifade eder. Her üç değer için tezgah hassasiyetini dikkate alarak 0,001 hassasiyetine kadar çıkabiliriz.

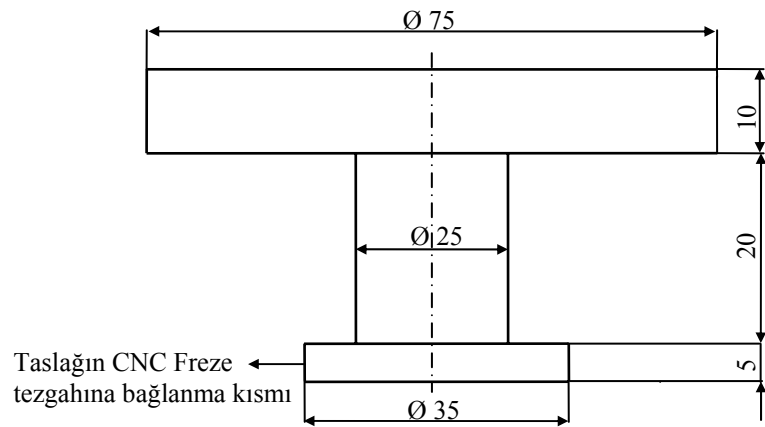
4.5. Dişli Taslağının Hazırlanması ve CNC Freze Tezgah Tablasına Bağlanması

Yapılan bu tez çalışmasında, imalatı düşünülen Sikloidal dişli çarka ait tasarım ve imalat parametreleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1 Tasarım ve imalat parametreleri

Dişlinin kalınlığı (H_{max})	12 mm	Diş dibi için açısal hassasiyet (β_n)	0.1°
Diş sayısı (Z)	6	Diş üstü için açısal hassasiyet (ψ_n)	0.1°
Diş dibi rulet yarıçapı (r_n)	1.65 mm	Çakı yarıçapı (r_c)	2 mm
Diş üstü rulet yarıçapı (r_e)	2.1 mm	Talaş kesme derinliği (h_n)	3 mm

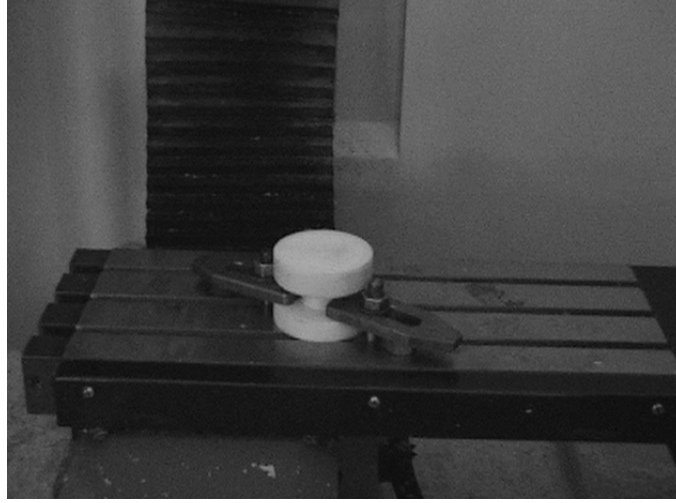
Sikloidal dişli çarkı CNC freze tezgahında işlemek için, dişli malzemesi olarak kolay işlenmesi sebebiyle polyamid türü plastik bir malzeme seçildi. Daha sonra bu malzeme imalatı düşünülen dişli çarkın boyutlarına uygun olarak klasik bir torna tezgahında işlenerek sikloidal dişli taslağı haline getirildi. (Şekil 4.16).



Şekil 4.16 Sikloidal dişli taslağı ve ölçüleri

Yapılan bu çalışmada, Sikloidal dişli çark CNC freze tezgahında imal edilirken dişli taslağı CNC freze tezgahının tablasına cıvata ve pabuçlar ile bağlanmıştır (Şekil 4.17). Dişli

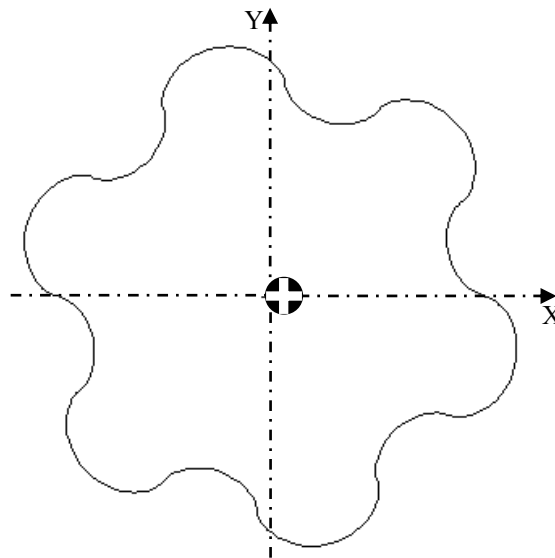
taslağı tezgaha universal bir torna tezgahının aynası veya bir mengene ile de bağlanabilir. Ancak bu durumda dişli taslağında bağlanma şekline göre eksen kaçıklıkları oluşabilir.



Şekil 4.17 Dişli taslağının CNC freze tezgahına bağlanması

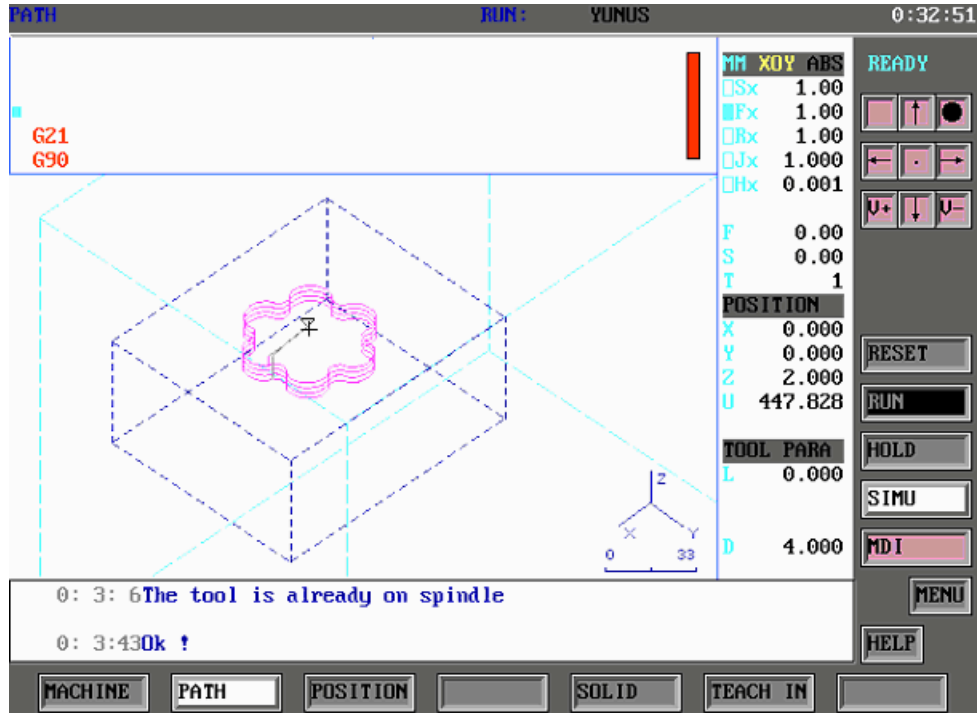
4.6. Sikloidal Dişli Çarkın CAD Modelinin Oluşturulması ve CNC Frezede İmalatı

Bu çalışmada, Sikloidal dişlilerin CNC freze tezgahında imalatı için C++ programlama ile hazırlanan ve Şekil 4.15’de akış diyagramı verilen imalat programı, Tablo 4.1’deki tasarım ve imalat parametrelerine sahip çift Ruletli bir Sikloidal dişli çark için çalıştırılmıştır. Bu tasarım parametrelerine göre Sikloidal dişli çarkın CAD modeli C++ grafik ortamında oluşturulmuştur (Şekil 4.18).



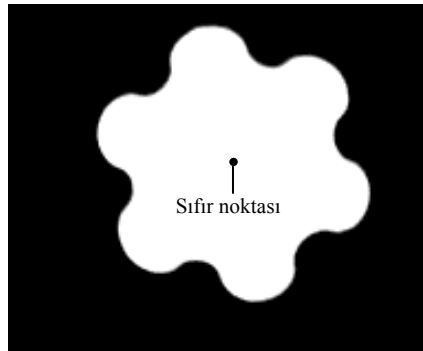
Şekil 4.18 Sikloidal dişli çarkın CAD modeli (üst görünüş)

Hazırlanan program, bir taraftan C++ grafik ortamında Sikloidal dişlinin CAD modelini oluştururken diğer taraftan da bu CAD modeline göre Sikloidal dişlinin CAM kodlarını, arka planda bir dosya içerisine yazmaktadır. Tasarım parametrelerine göre Sikloidal dişlinin modeli yukarıdaki gibi oluşturulduktan sonra, elde edilen CAM kodlarına göre dişlinin Dyna 4M CNC programında simülasyonu yapıldı (Şekil 4.19).



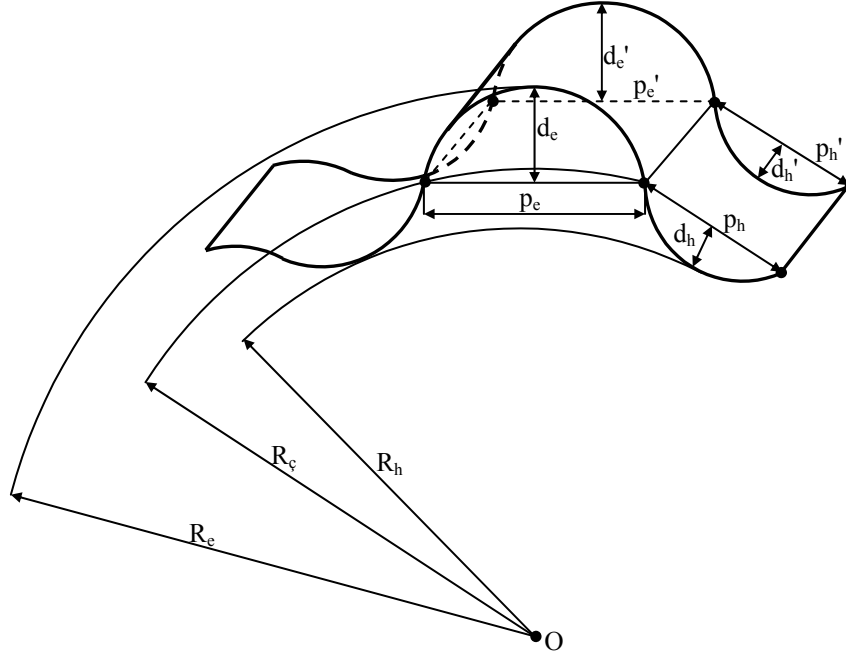
Şekil 4.19 Sikloidal dişli çarkın Dyna 4M CNC programında simülasyonu

Programın doğruluğu bu şekilde test edildikten sonra, hazırlanan dişli taslağı Dyna 4M CNC freze tezgahına Şekil 4.17'deki gibi bağlandı ve hazırlanan program ile çift Ruletli bir Sikloidal dişli çark imal edildi (Şekil 4.20).



Şekil 4.20 İmalatı gerçekleştirilen Sikloidal dişli

Daha sonra imalatı tamamlanan bu Sikloidal dişli çarkın dış profilinin üzerindeki ölçümleri Şekil 4.21 dikkate alınarak 0.01 hassasiyetli CADAR marka bir dijital kumpas ile ölçüldü. Bu ölçüm sonuçları ve teorik olarak hesaplanan değerler Tablo 4.2’de verilmiştir.

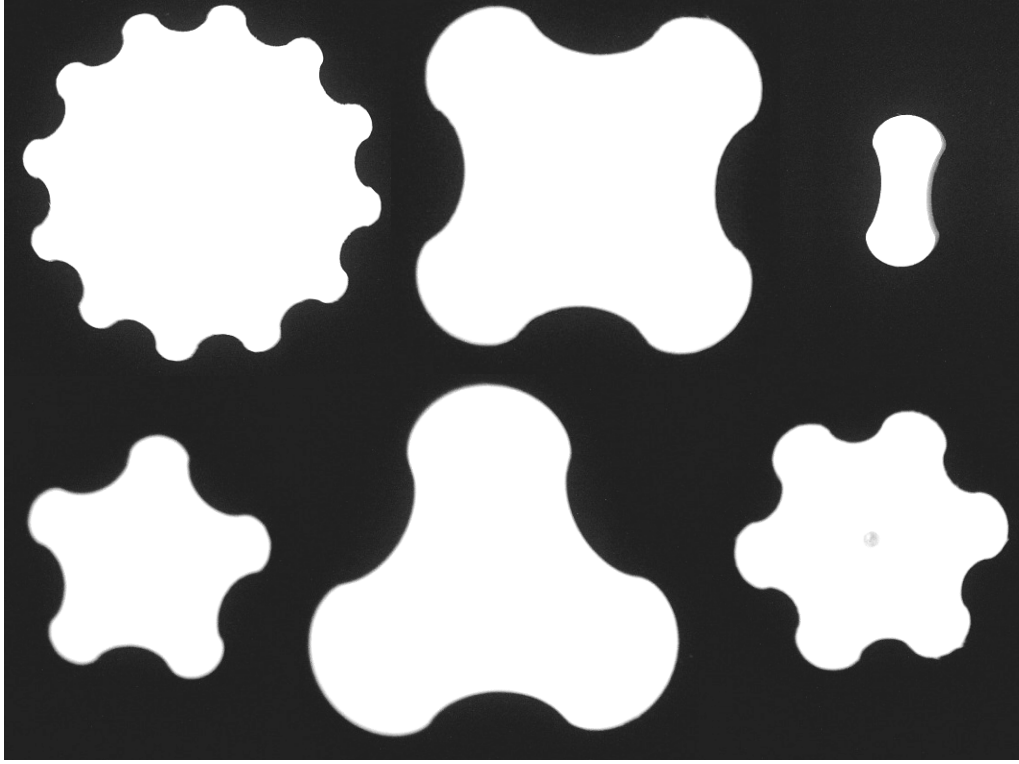


Şekil 4.21 Dış profili üzerindeki ölçüm noktaları

Tablo 4.2 İmal edilen sikloidal dişli çark üzerinden ölçülen değerler ile teorik ölçü değerleri

Sikloidal dişlinin büyüklükleri	Semboller	İmalat sonucu	Teorik değerler
Yuvarlanma daire yarıçapı	$R_{\text{ç}}$	22.45	22.50
Diş dibi yarıçapı (mm)	R_h	19.19	19.20
Diş üstü yarıçapı (mm)	R_e	26.68	26.70
Diş dibi yüksekliği (mm)	d_h	3.26	3.30
Diş üstü yüksekliği (mm)	d_e	4.23	4.20
Diş dibi genişliği (mm)	p_h	10.23	10.36
Diş üstü genişliği (mm)	p_e	13.28	13.18
Hatve (mm)	p	23.51	23.55

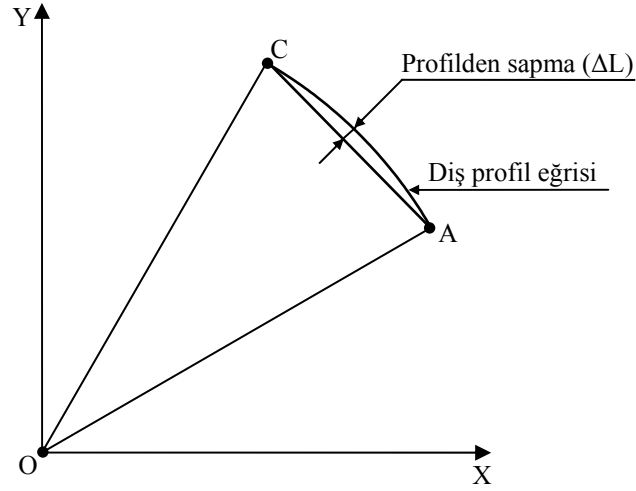
Benzer şekilde Şekil 4.15’deki algoritma kullanılarak farklı tasarım ve imalat parametrelerine sahip Sikloidal dişli çarklar için, CAM kodları elde edilmiş ve bu kodlar yardımıyla Dyna 4M CNC freze tezgahında bazı Sikloidal dişli çarkların imalatı da gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22 Hazırlanan CAM programı ile imal edilen çeşitli sikloidal dişli çarklar

4.7. CNC Programı İle Sikloidal Dişli İmalatında Diş Profil Hassasiyetinin Belirlenmesi

Bu tez çalışmasında, Sikloidal dişli çarkları CNC freze tezgahında imal etmek için hazırlanan CAM programı ile dişler işlenirken çakı iki nokta arasını doğrusal olarak işler. Yani Şekil 4.23’de görülen A ve C noktaları diş profil eğrisi üzerindeki herhangi iki nokta ise bu iki nokta arasını çakı $\overline{AC}$ doğru parçası veya kirişi şeklinde işler. Bu durumda diş profil eğrisinden belirli bir miktar sapma oluşur. Matematiksel olarak bu sapma miktarı, bu çalışmada diş profilinin işlenme hatası olarak ifade edilmiştir.

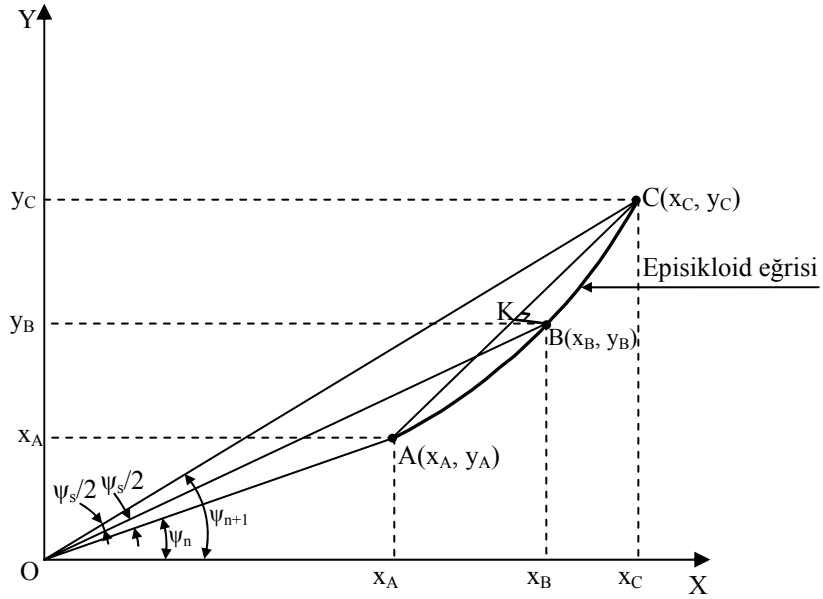


Şekil 4.23 Diş profilindeki sapma

Diş profilindeki bu hata miktarı (ΔL), diş dibi ve diş üstü profili için aşağıdaki bölümlerde hesaplanmıştır.

4.7.1. Diş Üstü Profiline İşlenme Hatası

Hazırlanan CAM programında parmak freze çakısı Episikloid eğrisi üzerindeki herhangi iki nokta arasını ψ_n açısındaki değişime bağlı olarak doğrusal bir şekilde keser. Şekil 4.24'de $A(x_A, y_A)$ ve $C(x_C, y_C)$ noktaları diş üstü profili üzerindeki herhangi iki noktadır. $B(x_B, y_B)$ noktası da, A ve C noktaları arasındaki orta noktadır.



Şekil 4.24 Diş üstü profilinin işlenme hatası

Bu durumda, KB uzunluğu, açısal işlenme hassasiyetine (ψ_s) bağlı olarak dış üstü profilinde meydana gelen sapmayı gösterir. Bu çalışmada, KB uzunluğu dış profilinin işlenme hassasiyeti veya dış profilindeki hata olarak ifade edilmiştir. Dış profilindeki bu sapma miktarı, KB veya ΔL_e aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Şekil 4.24'deki $A(x_A, y_A)$ noktası için,

$$X_A = (R_\zeta + r_e) \cdot \cos \psi_n - r_e \cdot \cos\left(\frac{R_\zeta + r_e}{r_e} \cdot \psi_n\right) \quad (4.57)$$

$$Y_A = (R_\zeta + r_e) \cdot \sin \psi_n - r_e \cdot \sin\left(\frac{R_\zeta + r_e}{r_e} \cdot \psi_n\right) \quad (4.58)$$

$B(x_B, y_B)$ noktası için, ψ_n açısındaki artım dikkate alınır aşağıdaki ifade yazılabilir (Şekil 4.24).

$$X_B = (R_\zeta + r_e) \cdot \cos\left(\psi_n + \frac{\psi_s}{2}\right) - r_e \cdot \cos\left(\frac{R_\zeta + r_e}{r_e} \cdot \left(\psi_n + \frac{\psi_s}{2}\right)\right) \quad (4.59)$$

$$Y_B = (R_\zeta + r_e) \cdot \sin\left(\psi_n + \frac{\psi_s}{2}\right) - r_e \cdot \sin\left(\frac{R_\zeta + r_e}{r_e} \cdot \left(\psi_n + \frac{\psi_s}{2}\right)\right) \quad (4.60)$$

$C(x_C, y_C)$ noktası için de, aşağıdaki ifadeler yazılabilir (Şekil 4.24).

$$X_C = (R_\zeta + r_e) \cdot \cos(\psi_n + \psi_s) - r_e \cdot \cos\left(\frac{R_\zeta + r_e}{r_e} \cdot (\psi_n + \psi_s)\right) \quad (4.61)$$

$$Y_C = (R_\zeta + r_e) \cdot \sin(\psi_n + \psi_s) - r_e \cdot \sin\left(\frac{R_\zeta + r_e}{r_e} \cdot (\psi_n + \psi_s)\right) \quad (4.62)$$

Şekil 4.24'den AC kirişinin denklemi için aşağıdaki eşitlik yazılabilir [26].

$$\frac{y - Y_A}{x - X_A} = \frac{Y_A - Y_C}{X_A - X_C} \quad (4.63)$$

(4.63) ifadesinde gerekli düzenlemeler yapılırsa, AC kirişinin denklemi aşağıdaki gibi elde edilir.

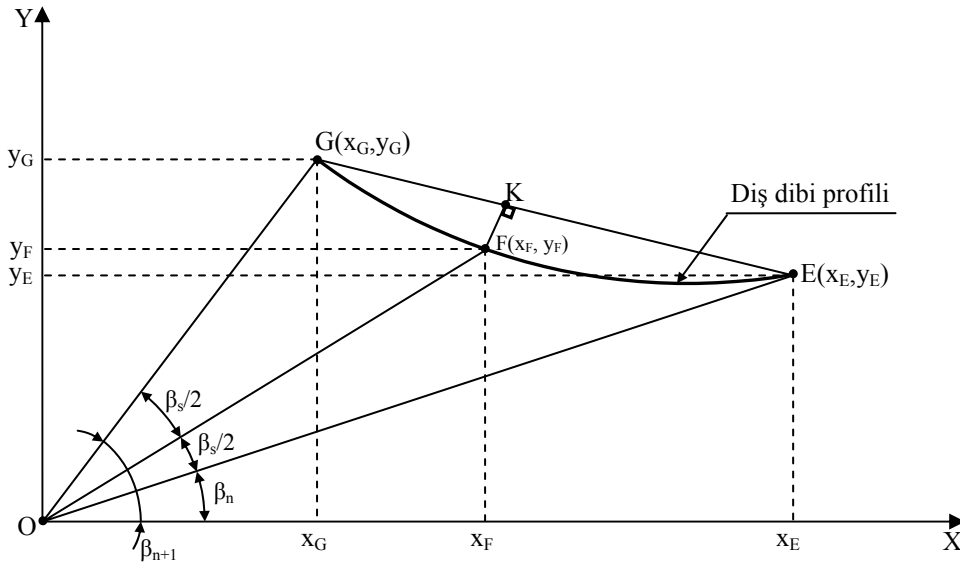
$$y.(X_A - X_C) - x.(Y_A - Y_C) - Y_A.(X_A - X_C) + X_A.(Y_A - Y_C) = 0 \quad (4.64)$$

Diş üstü profilinin parmak freze çakısı ile işlenmesi sırasında, açısal işleme hassasiyetine bağlı olarak diş üstü profilini meydana getiren kiriş uzunluğu bu şekilde belirlendikten sonra profilden sapma miktarı KB , bir noktanın bir kirişe olan uzaklığı formülünden aşağıdaki ifade yazılabilir (Şekil 4.24).

$$KB = \frac{|Y_B.(X_A - X_C) - X_B.(Y_A - Y_C) - Y_A.(X_A - X_C) + X_A.(Y_A - Y_C)|}{\sqrt{(X_A - X_C)^2 + (Y_A - Y_C)^2}} \quad (4.65)$$

4.7.2. Diş Dibi Profilinin İşlenme Hatası

Yine hazırlanan CAM programında parmak freze çakısı Hiposikloid eğrisi üzerindeki herhangi iki nokta arasını β_n açısındaki değişime bağlı olarak doğrusal bir şekilde keser. Şekil 4.25’de $E(x_E, y_E)$ ve $G(x_G, y_G)$ noktaları diş dibi profili üzerindeki herhangi iki noktadır. Yine buradaki $F(x_F, y_F)$ noktası da, E ve G noktaları arasındaki orta noktadır.



Şekil 4.25 Diş dibi profilinin işlenme hassasiyeti

Bu durumda, KF uzunluğu, açılal işlenme hassasiyetine (β_s) bağlı olarak dış dibi profilinde meydana gelen sapmayı gösterir. Dış profilindeki bu sapma miktarı, KF veya ΔL_h aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Şekil 4.25'deki $E(x_E, y_E)$ noktası için,

$$X_E = (R_\zeta - r_h) \cdot \cos \beta_n + r_h \cdot \cos\left(\frac{R_\zeta - r_h}{r_h} \cdot \beta_n\right) \quad (4.66)$$

$$Y_E = (R_\zeta - r_h) \cdot \sin \beta_n - r_h \cdot \sin\left(\frac{R_\zeta - r_h}{r_h} \cdot \beta_n\right) \quad (4.67)$$

parametrik ifadeler yazılabilir. $F(x_F, y_F)$ noktası için, β_n açısındaki artım dikkate alınırsa aşağıdaki ifade yazılabilir (Şekil 4.25).

$$X_F = (R_\zeta - r_h) \cdot \cos\left(\beta_n + \frac{\beta_s}{2}\right) + r_h \cdot \cos\left(\frac{R_\zeta - r_h}{r_h} \cdot \left(\beta_n + \frac{\beta_s}{2}\right)\right) \quad (4.68)$$

$$Y_F = (R_\zeta - r_h) \cdot \sin\left(\beta_n + \frac{\beta_s}{2}\right) - r_h \cdot \sin\left(\frac{R_\zeta - r_h}{r_h} \cdot \left(\beta_n + \frac{\beta_s}{2}\right)\right) \quad (4.69)$$

$G(x_G, y_G)$ noktası için de, aşağıdaki ifadeler yazılabilir (Şekil 4.25).

$$X_G = (R_\zeta - r_h) \cdot \cos(\beta_n + \beta_s) + r_h \cdot \cos\left(\frac{R_\zeta - r_h}{r_h} \cdot (\beta_n + \beta_s)\right) \quad (4.70)$$

$$Y_G = (R_\zeta - r_h) \cdot \sin(\beta_n + \beta_s) - r_h \cdot \sin\left(\frac{R_\zeta - r_h}{r_h} \cdot (\beta_n + \beta_s)\right) \quad (4.71)$$

Şekil 4.25'den KF kirişinin denklemi için aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$\frac{y - Y_E}{x - X_E} = \frac{Y_E - Y_G}{X_E - X_G} \quad (4.72)$$

(4.72) ifadesinde gerekli düzenlemeler yapılırsa, KF kirişinin denklemi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$y.(X_E - X_G) - x.(Y_E - Y_G) - Y_E.(X_E - X_G) + X_E.(Y_E - Y_G) = 0 \quad (4.73)$$

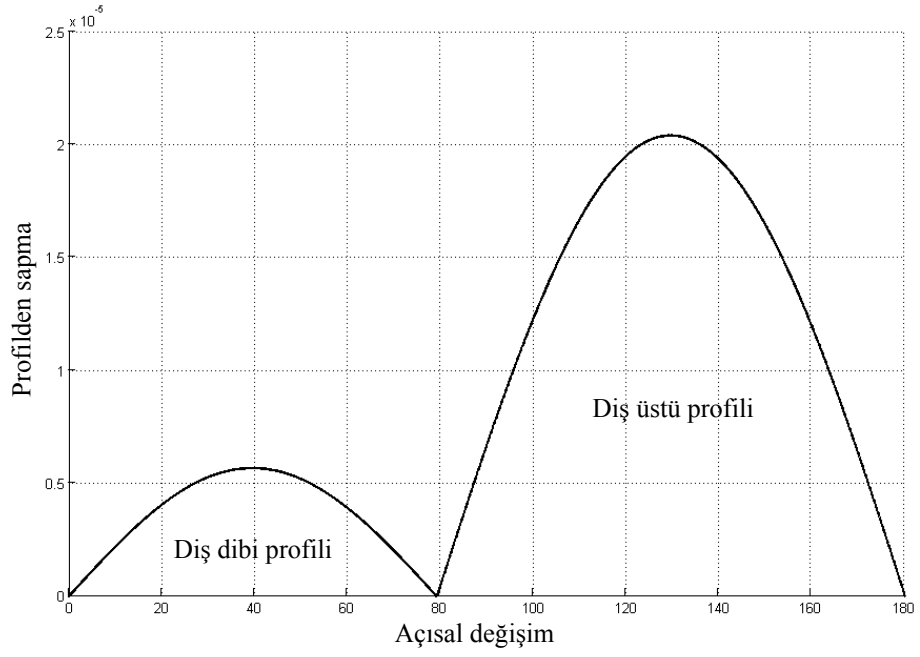
Diş dibi profilinin parmak freze çıkışı ile işlenmesi sırasında, açısal işleme hassasiyetine bağlı olarak diş dibi profilini meydana getiren kiriş uzunluğu bu şekilde belirlendikten sonra profilden sapma miktarı KF , bir noktanın bir kirişe olan uzaklığı formülünden aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$KF = \frac{|Y_F.(X_E - X_G) - X_F.(Y_E - Y_G) - Y_E.(X_E - X_G) + X_E.(Y_E - Y_G)|}{\sqrt{(X_E - X_G)^2 + (Y_E - Y_G)^2}} \quad (4.74)$$

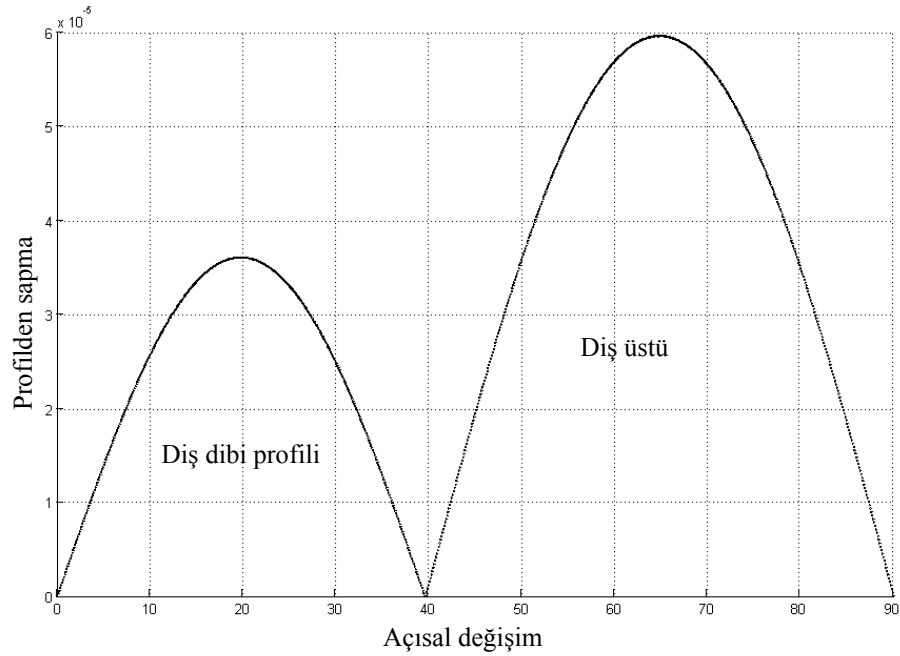
4.7.3. CNC Programı İle Sikloidal Dişli Profilinin İşlenmesi ve Diş Profilindeki Sapmaların Değişimi

Bu bölümde, daha önceden türetmiş olduğumuz diş dibi ve diş üstü profilindeki sapma miktarlarını ifade eden denklemlere göre dişli profilindeki sapmaların değişimleri incelenmiştir. Bu işlem için MATLAB Ver 6.5’da bir program hazırlanmıştır. Hazırlanan bu program, ile diş profilinin açısal işleme hassasiyetine ve sikloidal dişlinin tasarım parametrelerine göre diş üstü ve diş dibi profilindeki sapmaların değişim grafikleri çizdirilmiştir.

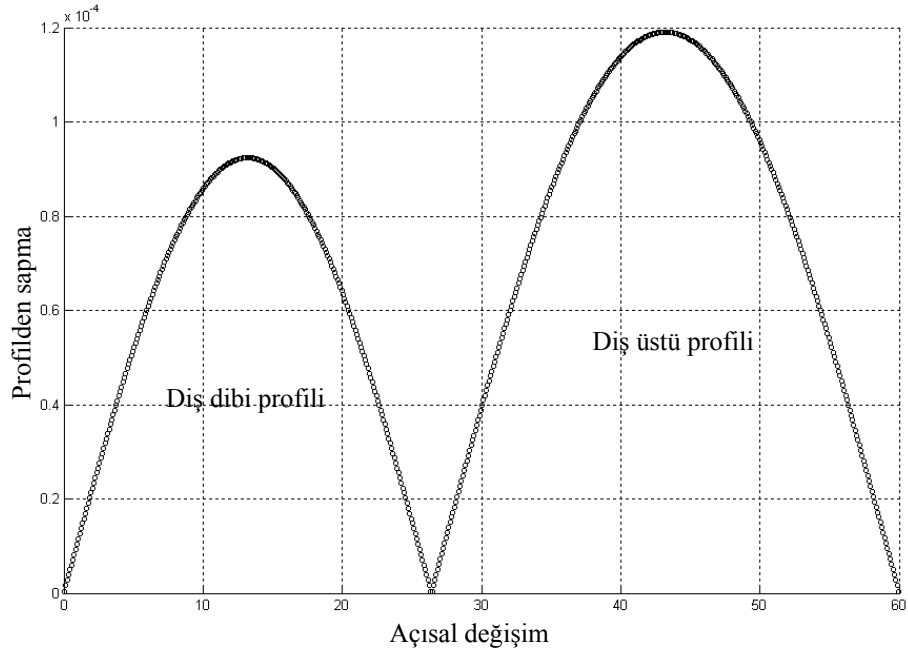
Hazırlanan program ilk önce, 2, 4, 6 ve 10 diş sayısına sahip sikloidal dişlinin diş dibi ve diş üstü profilleri için 0.1° ’lik işleme hassasiyetine göre çalıştırılmış, profildeki sapma miktarlarının değişimleri grafikler halinde verilmiştir (Şekil 4.26, 4.27, 4.28 ve 4.29).



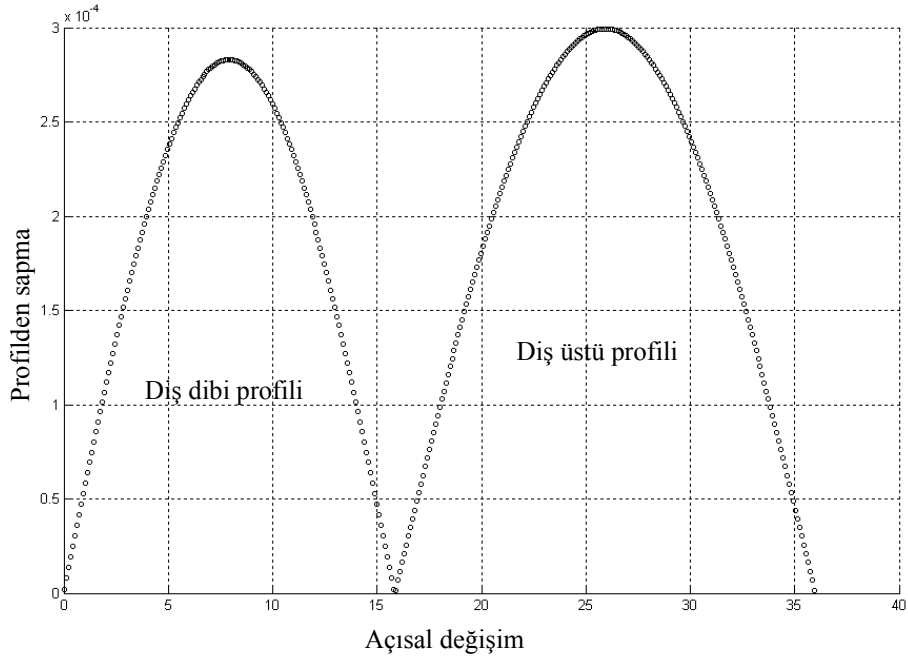
Şekil 4.26 CAM programında $Z=2$, $r_e=2.1$, $r_h=1.65$, $\beta_s=0.1^\circ$, $\psi_s=0.1^\circ$ değerlerinin alınarak dişlinin işlenmesi durumunda profilden sapma miktarlarının değişimleri



Şekil 4.27 CAM programında $Z=4$, $r_e=2.1$, $r_h=1.65$, $\beta_s=0.1^\circ$, $\psi_s=0.1^\circ$ değerlerinin alınarak dişlinin işlenmesi durumunda profilden sapma miktarlarının değişimleri

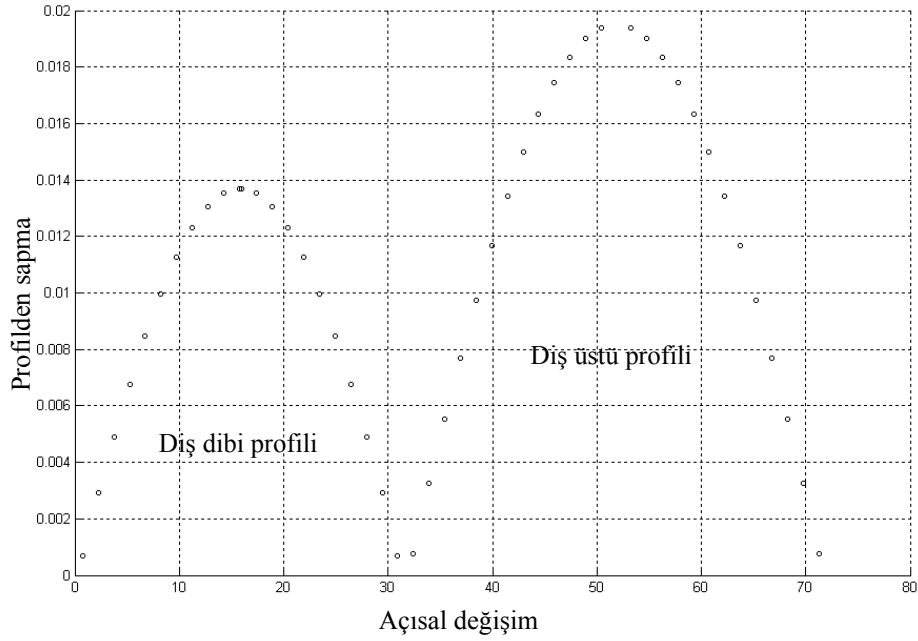


Şekil 4.28 CAM programında $Z=6$, $r_e=2.1$, $r_h=1.65$, $\beta_s=0.1^\circ$, $\psi_s=0.1^\circ$ değerlerinin alınarak dişlinin işlenmesi durumunda profilden sapma miktarlarının değişimleri

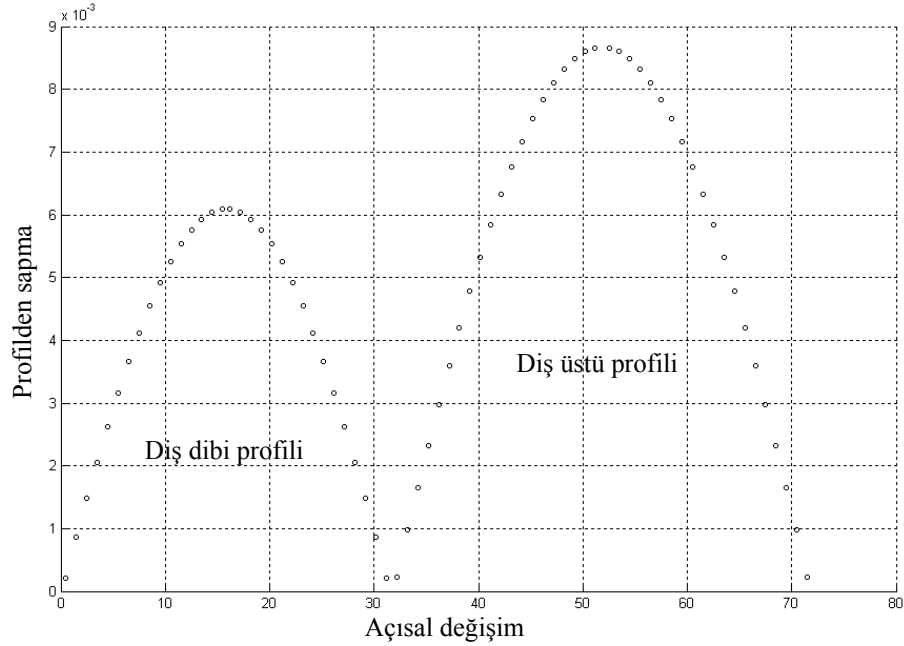


Şekil 4.29 CAM programında $Z=10$, $r_e=2.1$, $r_h=1.65$, $\beta_s=0.1^\circ$, $\psi_s=0.1^\circ$ değerlerinin alınarak dişlinin işlenmesi durumunda profilden sapma miktarlarının değişimleri

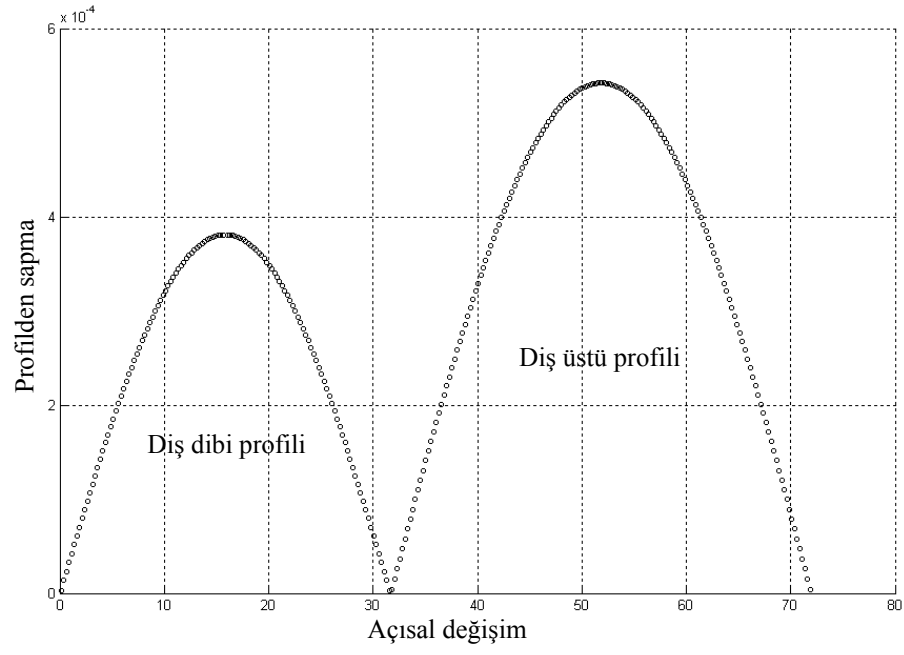
Daha sonra hazırlanan program, 5 diş sayısına sahip Sikloidal dişlinin diş dibi ve diş üstü profilleri için 1.5° , 1° , 0.25° , 0.1° ve $0.01''$ 'lik işleme hassasiyetine göre çalıştırılmış, profildeki sapma miktarlarının değişimleri aşağıdaki gibi elde edilmiştir (Şekil 4.30, 4.31, 4.32, 4.33 ve 4.34).



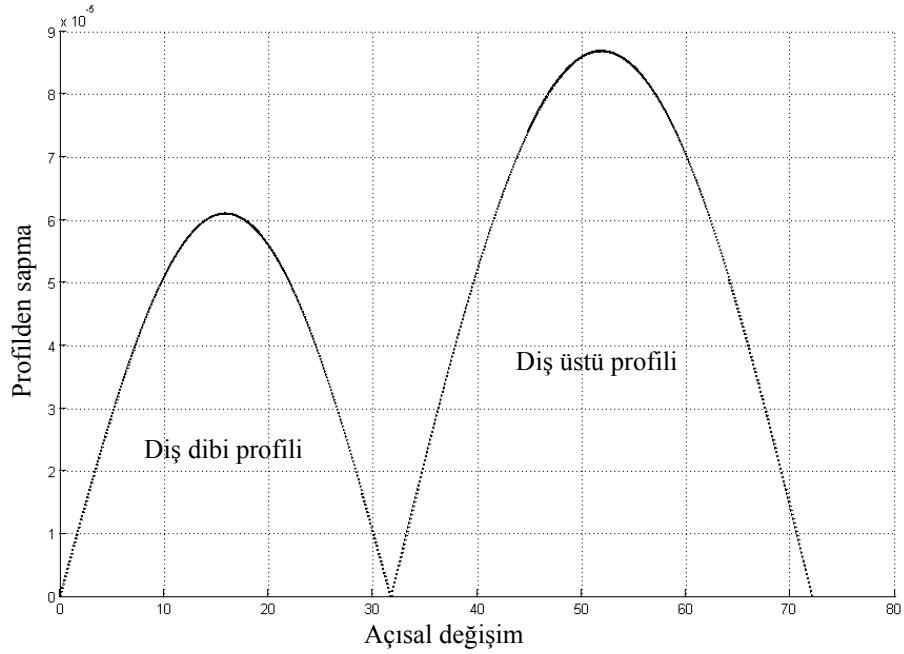
Şekil 4.30 CAM programında $Z=5$, $r_c=2.1$, $r_h=1.65$, $\beta_s=1.5^\circ$, $\psi_s=1.5^\circ$ değerlerinin alınarak dişlinin işlenmesi durumunda profilden sapma miktarlarının değişimleri



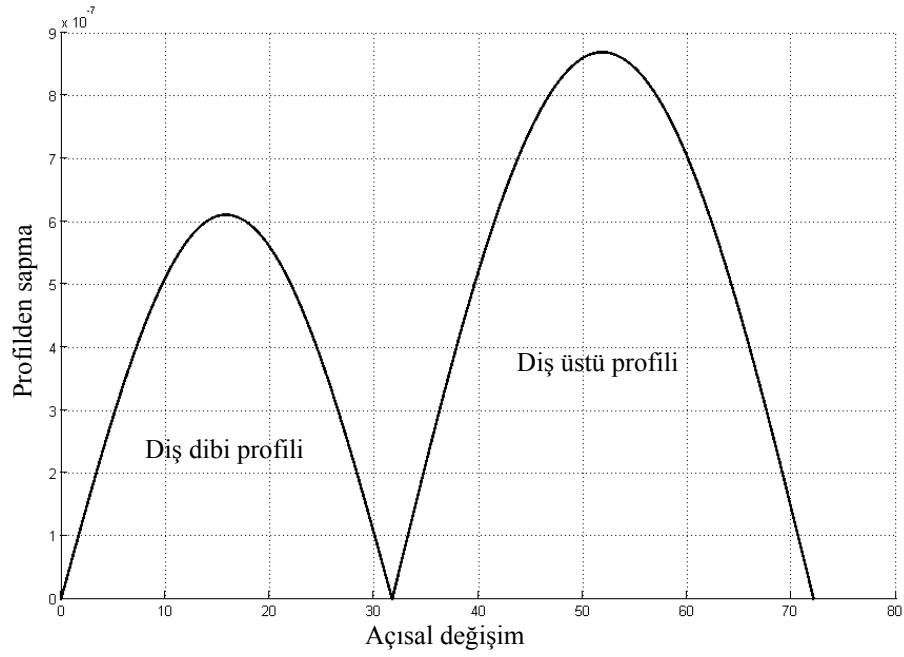
Şekil 4.31 CAM programında $Z=5$, $r_c=2.1$, $r_h=1.65$, $\beta_s=1^\circ$, $\psi_s=1^\circ$ değerlerinin alınarak dişlinin işlenmesi durumunda profilden sapma miktarlarının değişimleri



Şekil 4.32 CAM programında $Z=5$, $r_c=2.1$, $r_h=1.65$, $\beta_s=0.25^\circ$, $\psi_s=0.25^\circ$ değerlerinin alınarak dişlinin işlenmesi durumunda profilden sapma miktarlarının değişimleri

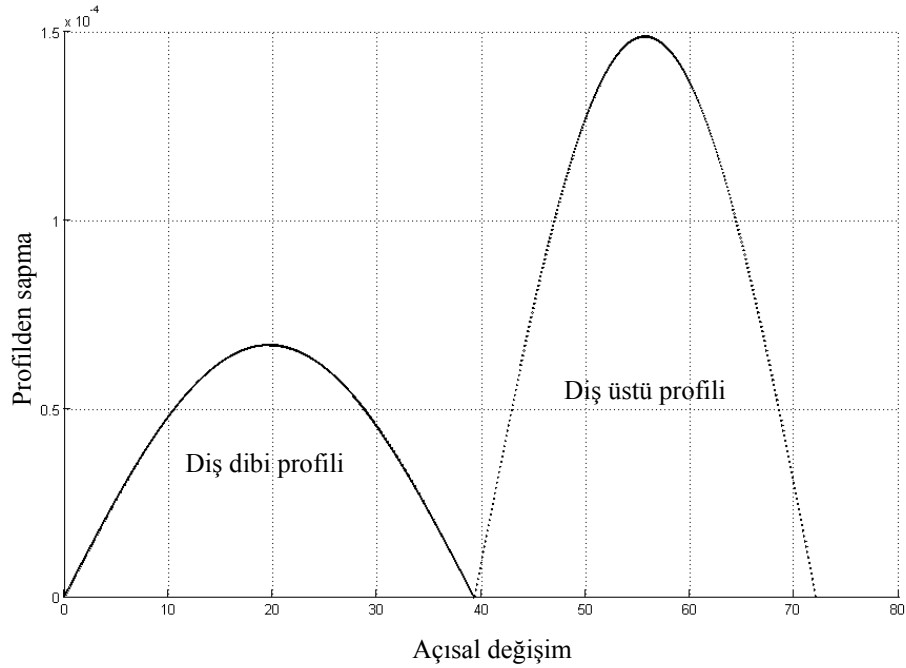


Şekil 4.33 CAM programında $Z=5$, $r_c=2.1$, $r_h=1.65$, $\beta_s=0.1^\circ$, $\psi_s=0.1^\circ$ değerlerinin alınarak dişlinin işlenmesi durumunda profilden sapma miktarlarının değişimleri

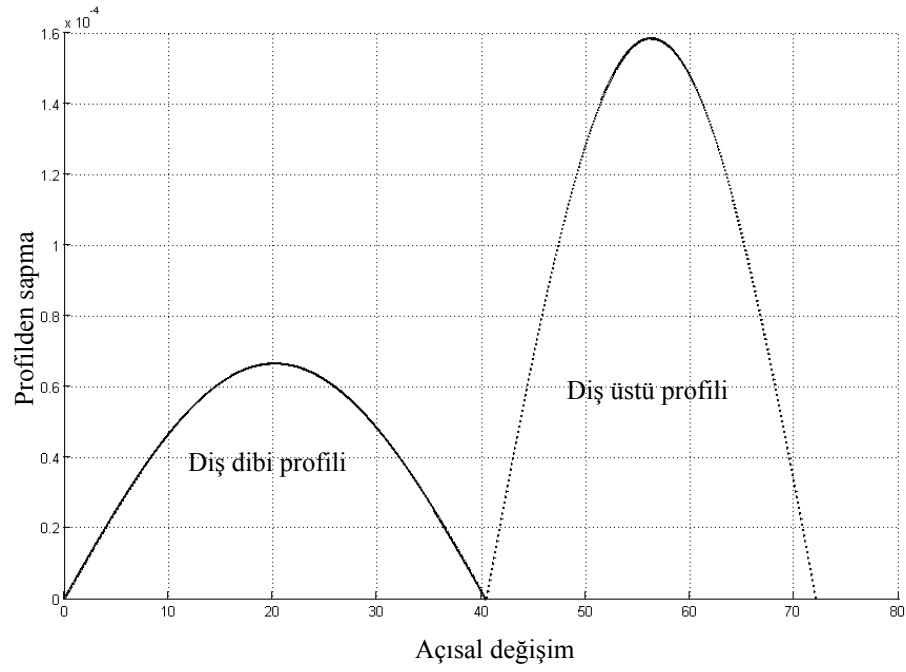


Şekil 4.34 CAM programında $Z=5$, $r_e=2.1$, $r_h=1.65$, $\beta_s=0.01^\circ$, $\psi_s=0.01^\circ$ değerlerinin alınarak dişlinin işlenmesi durumunda profilden sapma miktarlarının değişimleri

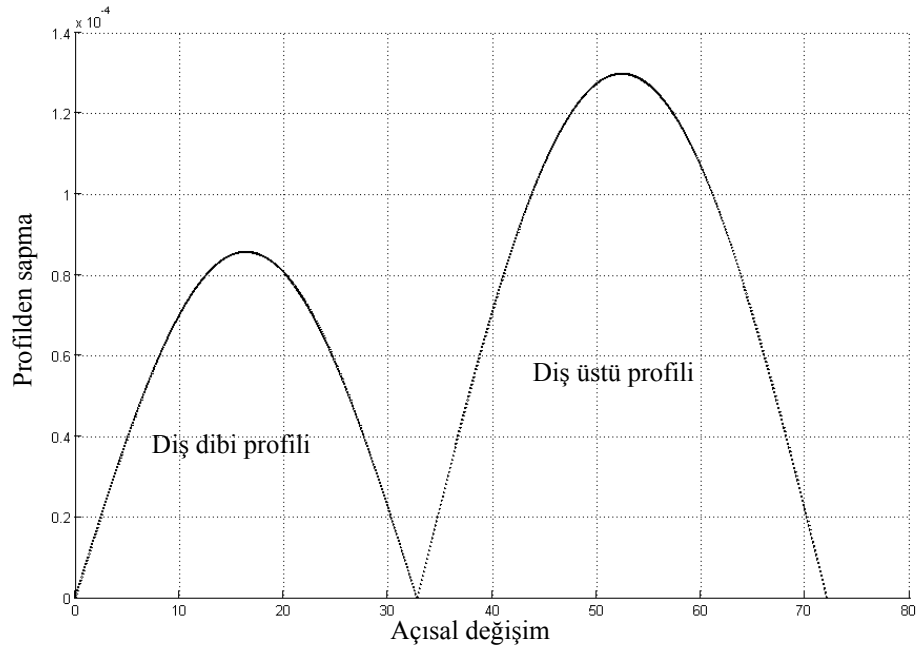
Yine benzer şekilde, hazırlanan programda Rulet yarıçapları değiştirilerek diş profilindeki sapmaların değişim grafikleri aşağıdaki gibi elde edilmiştir (Şekil 4.35, 4.36, 4.37 ve 4.38).



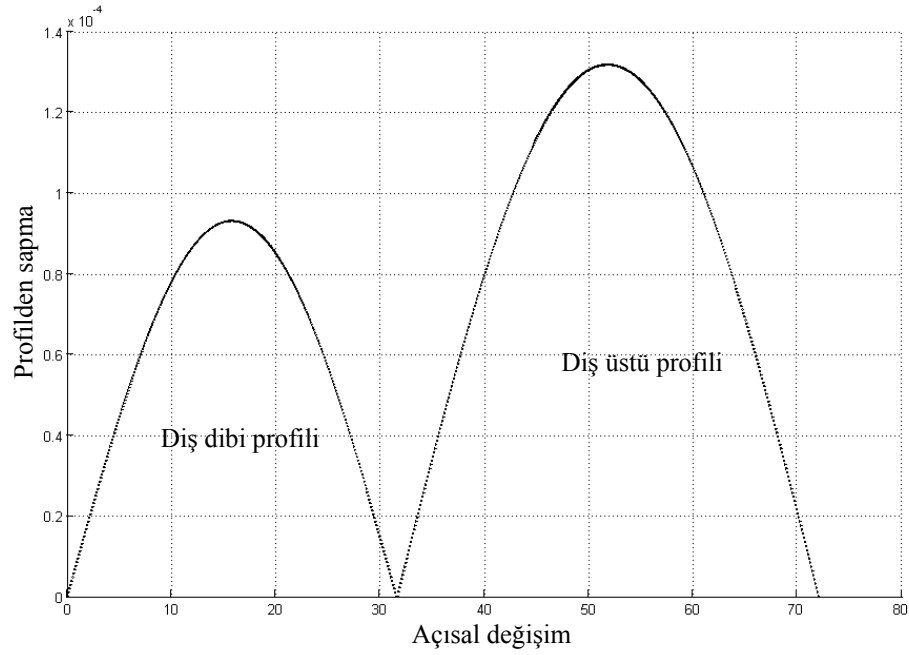
Şekil 4.35 CAM programında $Z=5$, $r_e=2.5$, $r_h=3$, $\beta_s=0.1^\circ$, $\psi_s=0.1^\circ$ değerlerinin alınarak dişlinin işlenmesi durumunda profilden sapma miktarlarının değişimleri



Şekil 4.36 CAM programında $Z=5$, $r_c=2.5$, $r_h=3.2$, $\beta_s=0.1^\circ$, $\psi_s=0.1^\circ$ değerlerinin alınarak dişlinin işlenmesi durumunda profilden sapma miktarlarının değişimleri



Şekil 4.37 CAM programında $Z=5$, $r_c=3$, $r_h=2.5$, $\beta_s=0.1^\circ$, $\psi_s=0.1^\circ$ değerlerinin alınarak dişlinin işlenmesi durumunda profilden sapma miktarlarının değişimleri



Şekil 4.38 CAM programında $Z=5$, $r_c=3.2$, $r_h=2.5$, $\beta_s=0.1^\circ$, $\psi_s=0.1^\circ$ değerlerinin alınarak dişlinin işlenmesi durumunda profilden sapma miktarlarının değişimleri

Yukarıdaki grafikler incelendiğinde, diş sayısının artmasına bağlı olarak diş dibi ve diş üstü profillerindeki sapma miktarlarının arttığı görülmektedir (Şekil 4.26, 4.27, 4.28 ve 4.29). Çünkü diş sayısının artmasına bağlı olarak dişlinin yuvarlanma dairesi çapı artmaktadır. Diş profili işlenirken bu çap büyümesine bağlı olarak, küçük diş sayılı (2) dişlideki giriş uzunluğu (AC), büyük diş sayılı (10) dişlideki giriş uzunluğundan daha küçük olduğundan diş profilindeki sapmalar daha küçük değerlerde oluşmaktadır (Şekil 4.23).

Yine grafikler incelendiğinde, diş sayısının artmasına bağlı olarak diş profilindeki sapma miktarlarının daha küçük periyotlarda değişim gösterdiği görülmektedir (Şekil 4.26, 4.27, 4.28 ve 4.29). Bunun nedeni ise, yine diş sayısının artmasına bağlı olarak yuvarlanma dairesi büyümekte ve bu durum diş profilinin oluşum açısını küçültmektedir (Bölüm 2).

Bununla beraber diş profilini işlenmek için kullanılan açısal hassasiyet değerinin küçülmesine bağlı olarak diş profilindeki sapmaların da azaldığı görülmektedir. Ayrıca açısal hassasiyet değerinin küçülmesine bağlı olarak geçiş noktasındaki (diş üstü ve diş dibi profillerinin kesişim noktası) hataların da azaldığı görülmektedir (Şekil 4.30, 4.31, 4.32, 4.33 ve 4.34).

Şekil 4.35 ve Şekil 4.36 dan da görüldüğü gibi, diş dibi Rulet yarıçapının artması diş dibi ve diş üstü profillerindeki sapmanın değerini arttırmaktadır. Yine benzer olarak, diş üstü rulet yarıçapının artması da hem diş üstü hem de diş dibi profilindeki sapmanın değerini

arttırmaktadır (Şekil 4.37 ve 4.38). Çünkü Rulet yarıçaplarının değişmesine bağlı olarak Sikloidal dişlinin yuvarlanma dairesinin çapı değişmektedir.

4.8. İmalat Süresinin Tahmini ve İrdelenmesi

Bu bölümde, CNC freze tezgahlarında Sikloidal dişli çarkların imalat sürelerini etkileyen parametreler belirlenmiş ve bu parametreler yardımıyla Sikloidal dişlilerin imalat süreleri deneysel olarak tespit edilmiştir. Daha sonra, bu deney sonuçlarından faydalanılarak çoklu regresyon yöntemi ile imalat süresinin tahmini yapılmıştır.

4.8.1. İmalat Süresini Etkileyen Parametrelerin Tespiti ve Deneyler

Daha önceden de belirtildiği gibi hazırlanmış olan program talaş kesme derinliği (h_n), diş dibi profilinin işlenme hassasiyeti (β_s) ve diş üstü profilinin işlenme hassasiyeti (ψ_s) olmak üzere 3 farklı hassasiyette çalışmaktadır. Dolayısı ile bu işleme parametrelerinin küçük seçilmesi durumunda imalat süresi artacaktır. Yine imalat süresini etkileyen diğer parametreler ise, parmak freze çakısının ilerleme hızı (F), Sikloidal dişli çarkın diş sayısı (Z), diş dibi Rulet yarıçapı (r_e) ve diş üstü Rulet yarıçapı (r_h) dır.

İmalat süresini etkileyen parametreler bu şekilde belirlendikten sonra, Sikloidal dişli çarklar için Tablo 4.3'deki tasarım ve imalat parametreleri kullanılarak Şekil 4.15'deki algoritma yardımıyla hazırlanan programda CAM kodları türetilmiştir. Türetilen bu kodlar yardımıyla Sikloidal dişli çarkların imalat süreleri, Dyna 4M CNC simülasyon programı kullanılarak aşağıdaki gibi tespit edilmiştir (Tablo 4.3).

Tablo 4.3 $H_{max}=1$ ve $h_n=1$ için, tasarım ve imalat parametrelerine bağlı olarak imalat süresinin değişimi

Deney No:	Diş sayısı Z	Diş üstü rulet yarıçapı r_e (mm)	Diş dibi rulet yarıçapı r_h (mm)	İşleme hassasiyeti ψ_s, β_s	Takımın ilerleme hızı F (m/dak)	Deneysel imalat süresi T (sn)
1	4	1.5	1.5	1	50	13
2	4	1.5	1.5	1	60	11
3	4	1.5	1.5	1	70	10
4	4	1.5	1.5	0.1	50	25
5	4	1.5	1.5	0.1	60	23
6	4	1.5	1.5	0.1	70	22

7	4	1.5	1.5	0.01	50	28
8	4	1.5	1.5	0.01	60	24
9	4	1.5	1.5	0.01	70	22
10	4	1.5	2.5	1	50	16
11	4	1.5	2.5	1	60	14
12	4	1.5	2.5	1	70	12
13	4	1.5	2.5	0.1	50	27
14	4	1.5	2.5	0.1	60	25
15	4	1.5	2.5	0.1	70	24
16	4	1.5	2.5	0.01	50	30
17	4	1.5	2.5	0.01	60	26
18	4	1.5	2.5	0.01	70	24
19	4	1.5	3.5	1	50	19
20	4	1.5	3.5	1	60	16
21	4	1.5	3.5	1	70	14
22	4	1.5	3.5	0.1	50	29
23	4	1.5	3.5	0.1	60	27
24	4	1.5	3.5	0.1	70	25
25	4	1.5	3.5	0.01	50	35
26	4	1.5	3.5	0.01	60	32
27	4	1.5	3.5	0.01	70	27
28	4	2.5	1.5	1	50	18
29	4	2.5	1.5	1	60	16
30	4	2.5	1.5	1	70	13
31	4	2.5	1.5	0.1	50	32
32	4	2.5	1.5	0.1	60	30
33	4	2.5	1.5	0.1	70	28
34	4	2.5	1.5	0.01	50	34
35	4	2.5	1.5	0.01	60	31
36	4	2.5	1.5	0.01	70	29
37	4	2.5	2.5	1	50	20
38	4	2.5	2.5	1	60	17
39	4	2.5	2.5	1	70	15
40	4	2.5	2.5	0.1	50	34
41	4	2.5	2.5	0.1	60	31
42	4	2.5	2.5	0.1	70	29
43	4	2.5	2.5	0.01	50	38
44	4	2.5	2.5	0.01	60	31
45	4	2.5	2.5	0.01	70	27
46	4	2.5	3.5	1	50	23
47	4	2.5	3.5	1	60	19
48	4	2.5	3.5	1	70	16
49	4	2.5	3.5	0.1	50	35
50	4	2.5	3.5	0.1	60	32
51	4	2.5	3.5	0.1	70	29
52	4	2.5	3.5	0.01	50	40
53	4	2.5	3.5	0.01	60	37
54	4	2.5	3.5	0.01	70	33

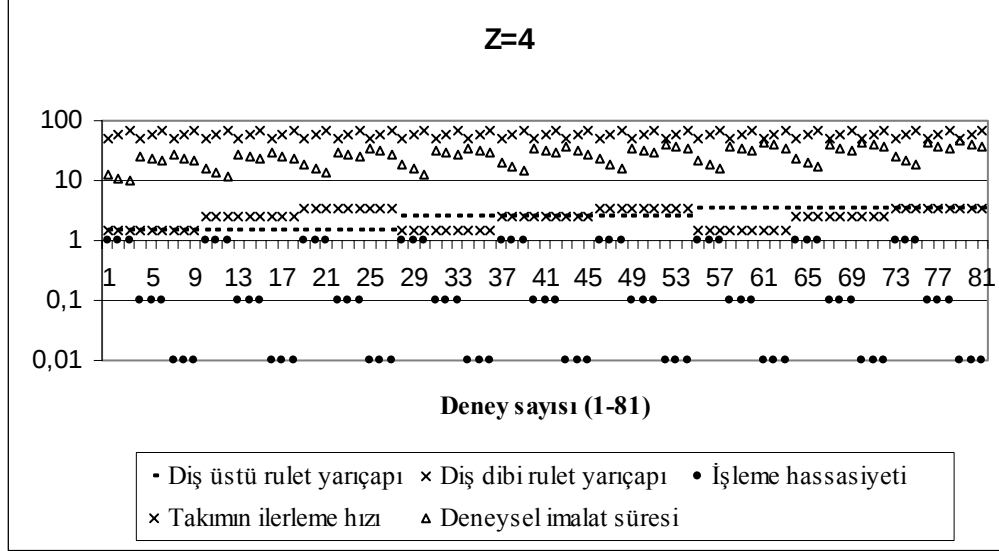
55	4	3.5	1.5	1	50	21
56	4	3.5	1.5	1	60	18
57	4	3.5	1.5	1	70	16
58	4	3.5	1.5	0.1	50	37
59	4	3.5	1.5	0.1	60	33
60	4	3.5	1.5	0.1	70	31
61	4	3.5	1.5	0.01	50	43
62	4	3.5	1.5	0.01	60	40
63	4	3.5	1.5	0.01	70	34
64	4	3.5	2.5	1	50	24
65	4	3.5	2.5	1	60	20
66	4	3.5	2.5	1	70	17
67	4	3.5	2.5	0.1	50	39
68	4	3.5	2.5	0.1	60	35
69	4	3.5	2.5	0.1	70	32
70	4	3.5	2.5	0.01	50	44
71	4	3.5	2.5	0.01	60	40
72	4	3.5	2.5	0.01	70	36
73	4	3.5	3.5	1	50	25
74	4	3.5	3.5	1	60	22
75	4	3.5	3.5	1	70	19
76	4	3.5	3.5	0.1	50	42
77	4	3.5	3.5	0.1	60	37
78	4	3.5	3.5	0.1	70	34
79	4	3.5	3.5	0.01	50	46
80	4	3.5	3.5	0.01	60	40
81	4	3.5	3.5	0.01	70	38
82	8	1.5	1.5	1	50	23
83	8	1.5	1.5	1	60	20
84	8	1.5	1.5	1	70	17
85	8	1.5	1.5	0.1	50	42
86	8	1.5	1.5	0.1	60	39
87	8	1.5	1.5	0.1	70	36
88	8	1.5	1.5	0.01	50	57
89	8	1.5	1.5	0.01	60	52
90	8	1.5	1.5	0.01	70	50
91	8	1.5	2.5	1	50	28
92	8	1.5	2.5	1	60	24
93	8	1.5	2.5	1	70	21
94	8	1.5	2.5	0.1	50	49
95	8	1.5	2.5	0.1	60	44
96	8	1.5	2.5	0.1	70	40
97	8	1.5	2.5	0.01	50	65
98	8	1.5	2.5	0.01	60	60
99	8	1.5	2.5	0.01	70	54
100	8	1.5	3.5	1	50	33
101	8	1.5	3.5	1	60	28
102	8	1.5	3.5	1	70	24

103	8	1.5	3.5	0.1	50	51
104	8	1.5	3.5	0.1	60	46
105	8	1.5	3.5	0.1	70	43
106	8	1.5	3.5	0.01	50	71
107	8	1.5	3.5	0.01	60	66
108	8	1.5	3.5	0.01	70	61
109	8	2.5	1.5	1	50	30
110	8	2.5	1.5	1	60	25
111	8	2.5	1.5	1	70	22
112	8	2.5	1.5	0.1	50	48
113	8	2.5	1.5	0.1	60	44
114	8	2.5	1.5	0.1	70	40
115	8	2.5	1.5	0.01	50	67
116	8	2.5	1.5	0.01	60	62
117	8	2.5	1.5	0.01	70	59
118	8	2.5	2.5	1	50	36
119	8	2.5	2.5	1	60	28
120	8	2.5	2.5	1	70	26
121	8	2.5	2.5	0.1	50	54
122	8	2.5	2.5	0.1	60	48
123	8	2.5	2.5	0.1	70	44
124	8	2.5	2.5	0.01	50	77
125	8	2.5	2.5	0.01	60	70
126	8	2.5	2.5	0.01	70	66
127	8	2.5	3.5	1	50	40
128	8	2.5	3.5	1	60	34
129	8	2.5	3.5	1	70	29
130	8	2.5	3.5	0.1	50	61
131	8	2.5	3.5	0.1	60	53
132	8	2.5	3.5	0.1	70	48
133	8	2.5	3.5	0.01	50	83
134	8	2.5	3.5	0.01	60	78
135	8	2.5	3.5	0.01	70	72
136	8	3.5	1.5	1	50	37
137	8	3.5	1.5	1	60	31
138	8	3.5	1.5	1	70	27
139	8	3.5	1.5	0.1	50	56
140	8	3.5	1.5	0.1	60	49
141	8	3.5	1.5	0.1	70	46
142	8	3.5	1.5	0.01	50	79
143	8	3.5	1.5	0.01	60	73
144	8	3.5	1.5	0.01	70	69
145	8	3.5	2.5	1	50	41
146	8	3.5	2.5	1	60	35
147	8	3.5	2.5	1	70	31
148	8	3.5	2.5	0.1	50	60
149	8	3.5	2.5	0.1	60	54
150	8	3.5	2.5	0.1	70	49

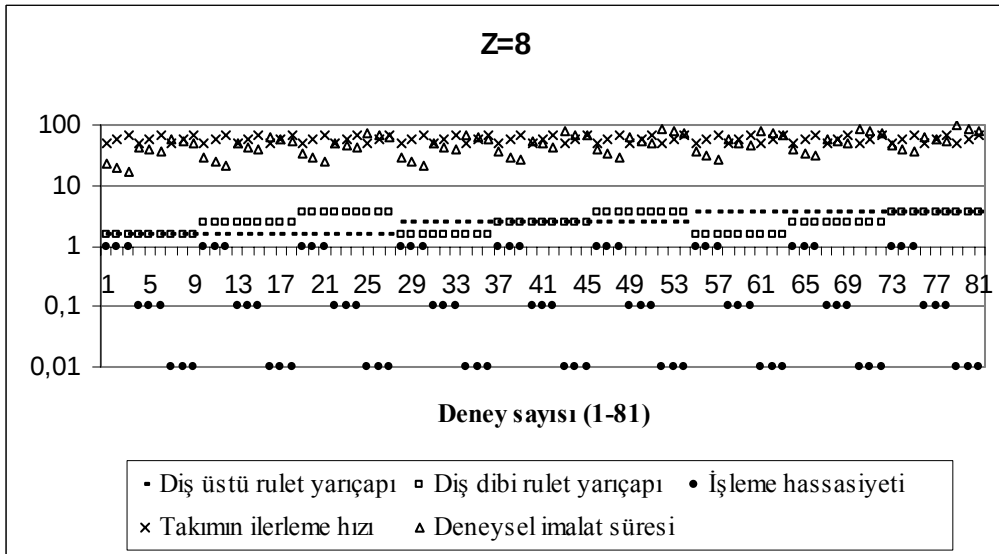
151	8	3.5	2.5	0.01	50	87
152	8	3.5	2.5	0.01	60	80
153	8	3.5	2.5	0.01	70	75
154	8	3.5	3.5	1	50	46
155	8	3.5	3.5	1	60	40
156	8	3.5	3.5	1	70	36
157	8	3.5	3.5	0.1	50	65
158	8	3.5	3.5	0.1	60	60
159	8	3.5	3.5	0.1	70	53
160	8	3.5	3.5	0.01	50	101
161	8	3.5	3.5	0.01	60	87
162	8	3.5	3.5	0.01	70	82
163	10	1.5	1.5	1	50	29
164	10	1.5	1.5	1	60	26
165	10	1.5	1.5	1	70	21
166	10	1.5	1.5	0.1	50	49
167	10	1.5	1.5	0.1	60	45
168	10	1.5	1.5	0.1	70	40
169	10	1.5	1.5	0.01	50	69
170	10	1.5	1.5	0.01	60	64
171	10	1.5	1.5	0.01	70	60
172	10	1.5	2.5	1	50	34
173	10	1.5	2.5	1	60	28
174	10	1.5	2.5	1	70	26
175	10	1.5	2.5	0.1	50	54
176	10	1.5	2.5	0.1	60	49
177	10	1.5	2.5	0.1	70	43
178	10	1.5	2.5	0.01	50	80
179	10	1.5	2.5	0.01	60	74
180	10	1.5	2.5	0.01	70	70
181	10	1.5	3.5	1	50	40
182	10	1.5	3.5	1	60	34
183	10	1.5	3.5	1	70	30
184	10	1.5	3.5	0.1	50	60
185	10	1.5	3.5	0.1	60	53
186	10	1.5	3.5	0.1	70	51
187	10	1.5	3.5	0.01	50	89
188	10	1.5	3.5	0.01	60	83
189	10	1.5	3.5	0.01	70	77
190	10	2.5	1.5	1	50	39
191	10	2.5	1.5	1	60	33
192	10	2.5	1.5	1	70	28
193	10	2.5	1.5	0.1	50	62
194	10	2.5	1.5	0.1	60	56
195	10	2.5	1.5	0.1	70	51
196	10	2.5	1.5	0.01	50	90
197	10	2.5	1.5	0.01	60	83
198	10	2.5	1.5	0.01	70	78

199	10	2.5	2.5	1	50	43
200	10	2.5	2.5	1	60	36
201	10	2.5	2.5	1	70	31
202	10	2.5	2.5	0.1	50	64
203	10	2.5	2.5	0.1	60	57
204	10	2.5	2.5	0.1	70	54
205	10	2.5	2.5	0.01	50	92
206	10	2.5	2.5	0.01	60	87
207	10	2.5	2.5	0.01	70	82
208	10	2.5	3.5	1	50	46
209	10	2.5	3.5	1	60	41
210	10	2.5	3.5	1	70	35
211	10	2.5	3.5	0.1	50	68
212	10	2.5	3.5	0.1	60	60
213	10	2.5	3.5	0.1	70	55
214	10	2.5	3.5	0.01	50	110
215	10	2.5	3.5	0.01	60	97
216	10	2.5	3.5	0.01	70	91
217	10	3.5	1.5	1	50	44
218	10	3.5	1.5	1	60	37
219	10	3.5	1.5	1	70	32
220	10	3.5	1.5	0.1	50	64
221	10	3.5	1.5	0.1	60	56
222	10	3.5	1.5	0.1	70	51
223	10	3.5	1.5	0.01	50	95
224	10	3.5	1.5	0.01	60	90
225	10	3.5	1.5	0.01	70	85
226	10	3.5	2.5	1	50	50
227	10	3.5	2.5	1	60	42
228	10	3.5	2.5	1	70	37
229	10	3.5	2.5	0.1	50	72
230	10	3.5	2.5	0.1	60	64
231	10	3.5	2.5	0.1	70	58
232	10	3.5	2.5	0.01	50	107
233	10	3.5	2.5	0.01	60	99
234	10	3.5	2.5	0.01	70	92
235	10	3.5	3.5	1	50	59
236	10	3.5	3.5	1	60	48
237	10	3.5	3.5	1	70	41
238	10	3.5	3.5	0.1	50	78
239	10	3.5	3.5	0.1	60	69
240	10	3.5	3.5	0.1	70	60
241	10	3.5	3.5	0.01	50	117
242	10	3.5	3.5	0.01	60	108
243	10	3.5	3.5	0.01	70	101

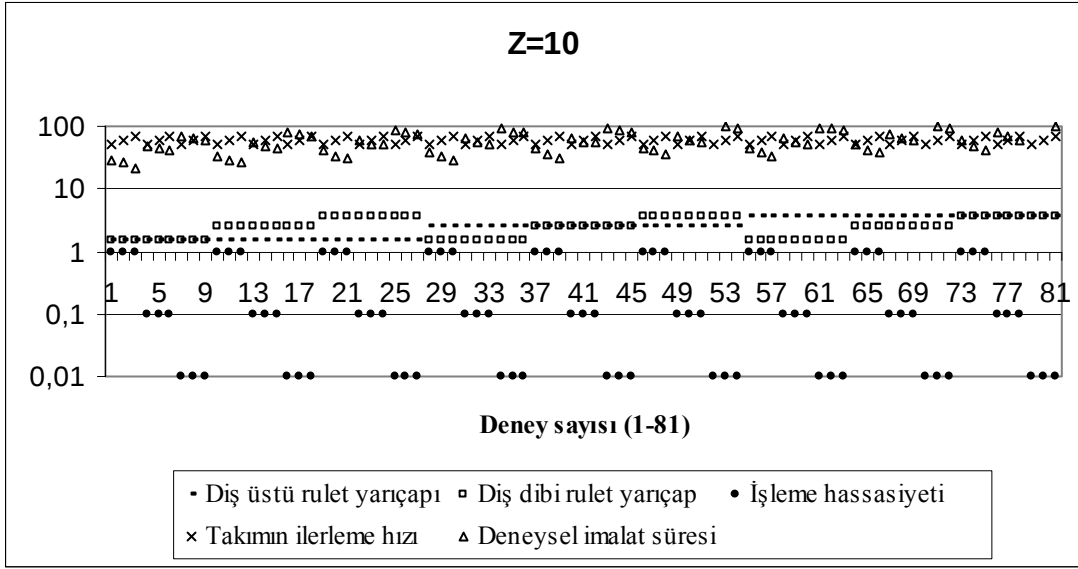
Tablo 4.3'den Sikloidal dişli çarkın diş profil eğrilerinin Rulet yarıçaplarına, işlenme hassasiyetine ve parmak freze çıkısının ilerleme hızına bağlı olarak imalat sürelerinin değişim grafikleri aşağıdaki gibi elde edildi (Şekil 4.39, Şekil 4.40 ve Şekil 4.41).



Şekil 4.39 Z=4 olan sikloidal dişli çarkın, rulet yarıçaplarına, işlenme hassasiyetine ve parmak freze çıkısının ilerleme hızına bağlı olarak deneysel imalat süresinin değişimi



Şekil 4.40 Z=8 olan sikloidal dişli çarkın, rulet yarıçaplarına, işlenme hassasiyetine ve parmak freze çıkısının ilerleme hızına bağlı olarak deneysel imalat süresinin değişimi



Şekil 4.41 Z=10 olan sikloidal dişli çarkın, rulet yarıçaplarına, işleme hassasiyetine ve parmak freze çakısının ilerleme hızına bağlı olarak deneysel imalat süresinin değişimi

Şekil 4.39, 4.40 ve 4.41 grafikleri şu şekilde okunur. İmalat süresini etkileyen parametrelerden dördü sabit tutulup beşinci parametrenin değişimine bağlı olarak imalat süresinin değişimine bakılır. Örneğin Şekil 4.39 da, işleme hassasiyeti, diş dibi Rulet yarıçapı ve diş üstü Rulet yarıçapı sabit tutularak, parmak freze çakısının ilerleme hızının artırılması Sikloidal dişli çarkın CNC freze tezgahındaki imalat süresini azalttığı görülmektedir (Deney no 1, 2 ve 3).

Sonuç olarak, Şekil 4.39, 4.40 ve 4.41 de verilen deneysel imalat sürelerinin değişim grafiklerinden de görüldüğü gibi işleme hassasiyetinin, Rulet yarıçaplarının ve Sikloidal dişli çarkın diş sayısının artması imalat süresini arttırmakta. Buna karşın kesici takımın ilerleme hızının artmasıyla imalat süresinin azaldığı görülmüştür.

4.8.2. Deney Sonuçlarının Regresyon Analiz Yöntemi ile Modellenmesi

Regresyon analiz iki veya daha fazla değişken arasında herhangi bir ilişkinin olup olmadığını, varsa bu ilişkinin derecesinin belirlenmesinde kullanılan metottur. Bir başka deyişle bir y değişkeninin diğer bir x değişkeni ile bağımlılığı inceleme konusu yaparak bunlar arasındaki ilişkiler karşılıklı olarak incelenir. Matematikte bu ilişkiye fonksiyon adı verilir. Değişkenler arasında bağımsız değişkenler ve bağımlı değişkenler olmak üzere iki ayrım yapılır. Doğrusal regresyonda, bağımlı değişkenin bir tek bağımsız değişkene olan regresyonu inceleme konusu yaparken, çoklu regresyonda birden fazla değişkenin tek bir bağımlı değişkene olan etkileri inceleme konusu yapılır. Regresyon analiz metodu deneysel araştırmayı,

matematiksel metotları ve istatistik analizi içine alır. Bir araştırmacı amaç fonksiyonunu belirleme amacıyla ya bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi araştırır ya da optimum çözümü elde etmek için bağımsız değişkenlerin katsayılarını tespit etmek ister. Bu nedenle önceden belirlenen modelin katsayıları deneysel veriler yardımıyla tahmin edilir [27].

Regresyon fonksiyonu, bir tek bağımsız değişken durumunda iki boyutlu koordinat sisteminde bir eğriyi ifade eder. İki den fazla değişken olması durumunda sabit regresyon kontürlerini meydana getirir. İki den fazla bağımsız değişkenin olması durumunda ise bunlar regresyon yüzeyleri ile temsil edilirler. Çoğu kez birden çok faktörün seviyelerinin ele alındığı faktöryel denemeler Regresyon yüzeylerini hesaplamak amacıyla planlanmış denemeler olarak kabul edilir. Regresyon yüzeylerinin analizi, matematiksel metotlarla geliştirilmiş olan en küçük kareler metodunun kullanılması ile yapılır.

4.8.2.1. Çoklu Regresyon Metodu İle İmalat Süresinin Tahmini

Yapılan bu tez çalışmasında, Sikloidal dişli çarkın diş dibi profilinin Rulet yarıçapı (r_h), diş üstü profilinin Rulet yarıçapı (r_e), parmak freze çıkışının ilerleme hızı (F), diş profillerinin işlenme hassasiyet (ψ_s) ve diş sayısı (Z) olmak üzere beş bağımsız değişkene karşılık, bir tane bağımlı değişkenimiz olan imalat süresinin (T) tahmini için regresyon analiz metotlarından, çoklu regresyon metodu kullanıldı. Bu metot için, önerilen lineer olmayan regresyon modeli $H_{max}=1$, $h_n=1$ değeri için aşağıdaki gibidir (Bölüm 4.2).

$$T = a_0 \cdot F^{a_1} \cdot \psi_s^{a_2} \cdot Z^{a_3} \cdot r_e^{a_4} \cdot r_h^{a_5} \quad (4.75)$$

Yukarıdaki ifadenin her iki tarafının doğal logaritması alınır ise, aşağıdaki ifade elde edilir.

$$\log T = \log a_0 + a_1 \cdot \log F + a_2 \cdot \log \psi_s + a_3 \cdot \log Z + a_4 \cdot \log r_e + a_5 \cdot \log r_h \quad (4.76)$$

$$y = \log T, \quad x_1 = \log F, \quad x_2 = \log \psi_s, \quad x_3 = \log Z, \quad x_4 = \log r_e, \quad x_5 = \log r_h \quad (4.77)$$

Yine (4.77) ifadesi (4.76) ifadesinde yerine yazılır ise, (4.75) ifadesi aşağıdaki gibi lineer hale getirilebilir.

$$y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3 + a_4 \cdot x_4 + a_5 \cdot x_5 \quad (4.78)$$

Yazılan bu ifade için karesel hata miktarı deney sayısı dikkate alınarak literatürden aşağıdaki gibi yazılabilir [28].

$$Sr = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 x_{1,i} - a_2 x_{2,i} - a_3 x_{3,i} - a_4 x_{4,i} - a_5 x_{5,i})^2 \quad (4.79)$$

(4.79) ifadesinde, bilinmeyen katsayılara göre kısmi türevler alınırsa;

$$\frac{\partial Sr}{\partial a_0} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 x_{1,i} - a_2 x_{2,i} - a_3 x_{3,i} - a_4 x_{4,i} - a_5 x_{5,i}) \quad (4.80)$$

$$\frac{\partial Sr}{\partial a_1} = -2 \sum_{i=1}^n x_{1,i} (y_i - a_0 - a_1 x_{1,i} - a_2 x_{2,i} - a_3 x_{3,i} - a_4 x_{4,i} - a_5 x_{5,i}) \quad (4.81)$$

$$\frac{\partial Sr}{\partial a_2} = -2 \sum_{i=1}^n x_{2,i} (y_i - a_0 - a_1 x_{1,i} - a_2 x_{2,i} - a_3 x_{3,i} - a_4 x_{4,i} - a_5 x_{5,i}) \quad (4.82)$$

$$\frac{\partial Sr}{\partial a_3} = -2 \sum_{i=1}^n x_{3,i} (y_i - a_0 - a_1 x_{1,i} - a_2 x_{2,i} - a_3 x_{3,i} - a_4 x_{4,i} - a_5 x_{5,i}) \quad (4.83)$$

$$\frac{\partial Sr}{\partial a_4} = -2 \sum_{i=1}^n x_{4,i} (y_i - a_0 - a_1 x_{1,i} - a_2 x_{2,i} - a_3 x_{3,i} - a_4 x_{4,i} - a_5 x_{5,i}) \quad (4.84)$$

$$\frac{\partial Sr}{\partial a_5} = -2 \sum_{i=1}^n x_{5,i} (y_i - a_0 - a_1 x_{1,i} - a_2 x_{2,i} - a_3 x_{3,i} - a_4 x_{4,i} - a_5 x_{5,i}) \quad (4.85)$$

(4.80), (4.80), (4.82), (4.83), (4.84) ve (4.85) ifadeleri elde edilir. Yukarıdaki ifadelerde hataların karelerinin toplamının minimize edilmesi için kısmi türevler sıfıra eşitlenirse;

$$na_0 + \sum_{i=1}^n x_{1,i} a_1 + \sum_{i=1}^n x_{2,i} a_2 + \sum_{i=1}^n x_{3,i} a_3 + \sum_{i=1}^n x_{4,i} a_4 + \sum_{i=1}^n x_{5,i} a_5 = \sum_{i=1}^n y_i \quad (4.86)$$

$$\sum_{i=1}^n a_0 x_{1,i} + \sum_{i=1}^n x_{1,i}^2 a_1 + \sum_{i=1}^n x_{2,i} x_{1,i} a_2 + \sum_{i=1}^n x_{3,i} x_{1,i} a_3 + \sum_{i=1}^n x_{4,i} x_{1,i} a_4 + \sum_{i=1}^n x_{5,i} x_{1,i} a_5 = \sum_{i=1}^n y_i x_{1,i} \quad (4.87)$$

$$\sum_{i=1}^n a_0 x_{2,i} + \sum_{i=1}^n x_{1,i} x_{2,i} a_1 + \sum_{i=1}^n x_{2,i}^2 a_2 + \sum_{i=1}^n x_{3,i} x_{2,i} a_3 + \sum_{i=1}^n x_{4,i} x_{2,i} a_4 + \sum_{i=1}^n x_{5,i} x_{2,i} a_5 = \sum_{i=1}^n y_i x_{2,i} \quad (4.88)$$

$$\sum_{i=1}^n a_0 x_{3,i} + \sum_{i=1}^n x_{1,i} x_{3,i} a_1 + \sum_{i=1}^n x_{2,i} x_{3,i} a_2 + \sum_{i=1}^n x_{3,i}^2 a_3 + \sum_{i=1}^n x_{4,i} x_{3,i} a_4 + \sum_{i=1}^n x_{5,i} x_{3,i} a_5 = \sum_{i=1}^n y_i x_{3,i} \quad (4.89)$$

$$\sum_{i=1}^n a_0 x_{4,i} + \sum_{i=1}^n x_{1,i} x_{4,i} a_1 + \sum_{i=1}^n x_{2,i} x_{4,i} a_2 + \sum_{i=1}^n x_{3,i} x_{4,i} a_3 + \sum_{i=1}^n x_{4,i}^2 a_4 + \sum_{i=1}^n x_{5,i} x_{4,i} a_5 = \sum_{i=1}^n y_i x_{4,i} \quad (4.90)$$

$$\sum_{i=1}^n a_0 x_{5,i} + \sum_{i=1}^n x_{1,i} x_{5,i} a_1 + \sum_{i=1}^n x_{2,i} x_{5,i} a_2 + \sum_{i=1}^n x_{3,i} x_{5,i} a_3 + \sum_{i=1}^n x_{4,i} x_{5,i} a_4 + \sum_{i=1}^n x_{5,i}^2 a_5 = \sum_{i=1}^n y_i x_{5,i} \quad (4.91)$$

denklem takımları elde edilir. Bu denklemler matris notasyonda aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_{1,i} & \sum_{i=1}^n x_{2,i} & \sum_{i=1}^n x_{3,i} & \sum_{i=1}^n x_{4,i} & \sum_{i=1}^n x_{5,i} \\ \sum_{i=1}^n x_{1,i} & \sum_{i=1}^n x_{1,i}^2 & \sum_{i=1}^n x_{1,i} x_{2,i} & \sum_{i=1}^n x_{1,i} x_{3,i} & \sum_{i=1}^n x_{1,i} x_{4,i} & \sum_{i=1}^n x_{1,i} x_{5,i} \\ \sum_{i=1}^n x_{2,i} & \sum_{i=1}^n x_{2,i} x_{1,i} & \sum_{i=1}^n x_{2,i}^2 & \sum_{i=1}^n x_{2,i} x_{3,i} & \sum_{i=1}^n x_{2,i} x_{4,i} & \sum_{i=1}^n x_{2,i} x_{5,i} \\ \sum_{i=1}^n x_{3,i} & \sum_{i=1}^n x_{3,i} x_{1,i} & \sum_{i=1}^n x_{3,i} x_{2,i} & \sum_{i=1}^n x_{3,i}^2 & \sum_{i=1}^n x_{3,i} x_{4,i} & \sum_{i=1}^n x_{3,i} x_{5,i} \\ \sum_{i=1}^n x_{4,i} & \sum_{i=1}^n x_{4,i} x_{1,i} & \sum_{i=1}^n x_{4,i} x_{2,i} & \sum_{i=1}^n x_{4,i} x_{3,i} & \sum_{i=1}^n x_{4,i}^2 & \sum_{i=1}^n x_{4,i} x_{5,i} \\ \sum_{i=1}^n x_{5,i} & \sum_{i=1}^n x_{5,i} x_{1,i} & \sum_{i=1}^n x_{5,i} x_{2,i} & \sum_{i=1}^n x_{5,i} x_{3,i} & \sum_{i=1}^n x_{5,i} x_{4,i} & \sum_{i=1}^n x_{5,i}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n y_i x_{1,i} \\ \sum_{i=1}^n y_i x_{2,i} \\ \sum_{i=1}^n y_i x_{3,i} \\ \sum_{i=1}^n y_i x_{4,i} \\ \sum_{i=1}^n y_i x_{5,i} \end{bmatrix} \quad (4.92)$$

Daha sonra (4.92) ifadesindeki “a” katsayıları hesaplanması için, MATLAB Ver 6.5’de bir program hazırlandı. Hazırlanan bu program yardımıyla, Tablo 4.3’deki deney sonuçları referans alınarak (4.92) denklemindeki “a” katsayıları aşağıdaki gibi elde edildi.

$$a_0 = 45.9494, a_1 = -0.6612, a_2 = -0.1759, a_3 = 0.8535, a_4 = 0.3896, a_5 = 0.2355$$

Hesaplanan bu “a” katsayıları, (4.75) denkleminde yerine yazılır ise imalat süresinin tahmini için önerilen denklem aşağıdaki gibi bulunur.

$$T = 45.9494 F^{-0.6612} \psi_s^{-0.1759} Z^{0.8535} r_e^{0.3896} r_h^{0.2355} \quad (4.93)$$

(4.93) denklemi kullanılarak, Tablo 4.3'deki parametrelere göre, imalat sürelerinin tahmini aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 4.4 İmalat parametrelerine göre tahmini imalat süresi

Deney No:	Dış sayısı Z	Dış üstü rulet yarıçapı r_e (mm)	Dış dibi rulet yarıçapı r_h (mm)	İşleme hassasiyeti ψ_s, β_s	Takımın ilerleme hızı F (m/dak)	Deneysel imalat süresi (sn)	Tahmini imalat süresi (sn)
1	4	1.5	1.5	1	50	13	14
2	4	1.5	1.5	1	60	11	13
3	4	1.5	1.5	1	70	10	12
4	4	1.5	1.5	0.1	50	25	22
5	4	1.5	1.5	0.1	60	23	19
6	4	1.5	1.5	0.1	70	22	17
7	4	1.5	1.5	0.01	50	28	32
8	4	1.5	1.5	0.01	60	24	29
9	4	1.5	1.5	0.01	70	22	26
10	4	1.5	2.5	1	50	16	16
11	4	1.5	2.5	1	60	14	14
12	4	1.5	2.5	1	70	12	13
13	4	1.5	2.5	0.1	50	27	24
14	4	1.5	2.5	0.1	60	25	22
15	4	1.5	2.5	0.1	70	24	20
16	4	1.5	2.5	0.01	50	30	37
17	4	1.5	2.5	0.01	60	26	32
18	4	1.5	2.5	0.01	70	24	29
19	4	1.5	3.5	1	50	19	18
20	4	1.5	3.5	1	60	16	16
21	4	1.5	3.5	1	70	14	14
22	4	1.5	3.5	0.1	50	29	26
23	4	1.5	3.5	0.1	60	27	23
24	4	1.5	3.5	0.1	70	25	21
25	4	1.5	3.5	0.01	50	35	40
26	4	1.5	3.5	0.01	60	32	35
27	4	1.5	3.5	0.01	70	27	32
28	4	2.5	1.5	1	50	18	18
29	4	2.5	1.5	1	60	16	16
30	4	2.5	1.5	1	70	13	14
31	4	2.5	1.5	0.1	50	32	26
32	4	2.5	1.5	0.1	60	30	23
33	4	2.5	1.5	0.1	70	28	21
34	4	2.5	1.5	0.01	50	34	40

35	4	2.5	1.5	0.01	60	31	35
36	4	2.5	1.5	0.01	70	29	32
37	4	2.5	2.5	1	50	20	20
38	4	2.5	2.5	1	60	17	18
39	4	2.5	2.5	1	70	15	16
40	4	2.5	2.5	0.1	50	34	30
41	4	2.5	2.5	0.1	60	31	26
42	4	2.5	2.5	0.1	70	29	24
43	4	2.5	2.5	0.01	50	38	45
44	4	2.5	2.5	0.01	60	31	40
45	4	2.5	2.5	0.01	70	27	36
46	4	2.5	3.5	1	50	23	21
47	4	2.5	3.5	1	60	19	19
48	4	2.5	3.5	1	70	16	17
49	4	2.5	3.5	0.1	50	35	32
50	4	2.5	3.5	0.1	60	32	29
51	4	2.5	3.5	0.1	70	29	26
52	4	2.5	3.5	0.01	50	40	48
53	4	2.5	3.5	0.01	60	37	43
54	4	2.5	3.5	0.01	70	33	39
55	4	3.5	1.5	1	50	21	20
56	4	3.5	1.5	1	60	18	18
57	4	3.5	1.5	1	70	16	16
58	4	3.5	1.5	0.1	50	37	30
59	4	3.5	1.5	0.1	60	33	27
60	4	3.5	1.5	0.1	70	31	24
61	4	3.5	1.5	0.01	50	43	45
62	4	3.5	1.5	0.01	60	40	40
63	4	3.5	1.5	0.01	70	34	36
64	4	3.5	2.5	1	50	24	23
65	4	3.5	2.5	1	60	20	20
66	4	3.5	2.5	1	70	17	18
67	4	3.5	2.5	0.1	50	39	34
68	4	3.5	2.5	0.1	60	35	30
69	4	3.5	2.5	0.1	70	32	27
70	4	3.5	2.5	0.01	50	44	51
71	4	3.5	2.5	0.01	60	40	45
72	4	3.5	2.5	0.01	70	36	41
73	4	3.5	3.5	1	50	25	24
74	4	3.5	3.5	1	60	22	22
75	4	3.5	3.5	1	70	19	20
76	4	3.5	3.5	0.1	50	42	37
77	4	3.5	3.5	0.1	60	37	33
78	4	3.5	3.5	0.1	70	34	29
79	4	3.5	3.5	0.01	50	46	55
80	4	3.5	3.5	0.01	60	40	49
81	4	3.5	3.5	0.01	70	38	44
82	8	1.5	1.5	1	50	23	26

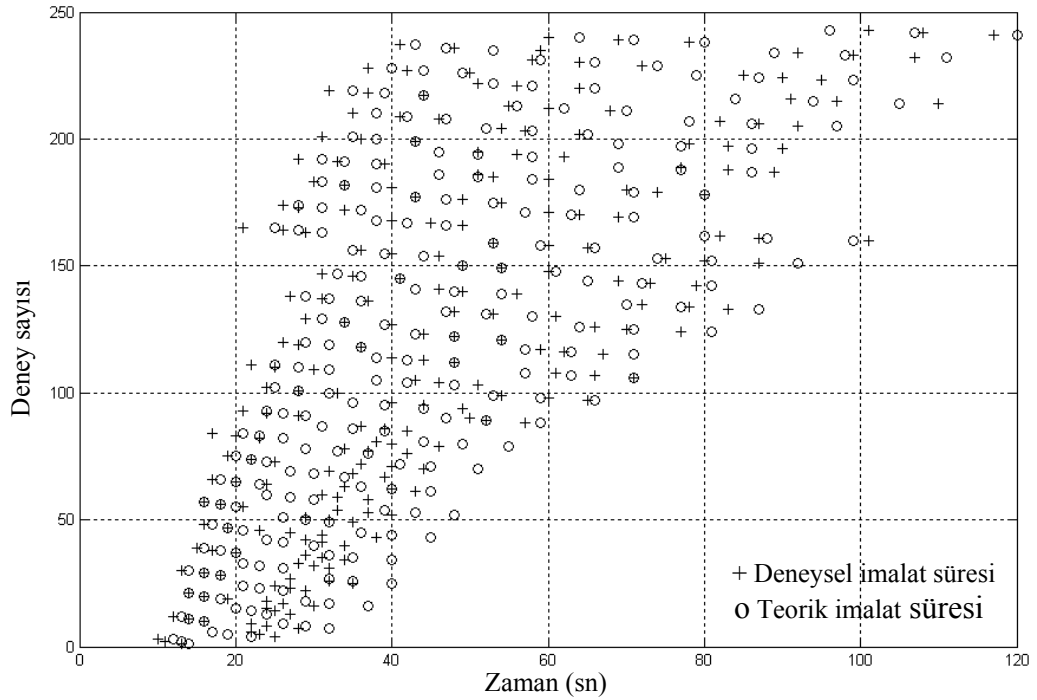
83	8	1.5	1.5	1	60	20	23
84	8	1.5	1.5	1	70	17	21
85	8	1.5	1.5	0.1	50	42	39
86	8	1.5	1.5	0.1	60	39	35
87	8	1.5	1.5	0.1	70	36	31
88	8	1.5	1.5	0.01	50	57	59
89	8	1.5	1.5	0.01	60	52	52
90	8	1.5	1.5	0.01	70	50	47
91	8	1.5	2.5	1	50	28	29
92	8	1.5	2.5	1	60	24	26
93	8	1.5	2.5	1	70	21	24
94	8	1.5	2.5	0.1	50	49	44
95	8	1.5	2.5	0.1	60	44	39
96	8	1.5	2.5	0.1	70	40	35
97	8	1.5	2.5	0.01	50	65	66
98	8	1.5	2.5	0.01	60	60	59
99	8	1.5	2.5	0.01	70	54	53
100	8	1.5	3.5	1	50	33	32
101	8	1.5	3.5	1	60	28	28
102	8	1.5	3.5	1	70	24	25
103	8	1.5	3.5	0.1	50	51	48
104	8	1.5	3.5	0.1	60	46	42
105	8	1.5	3.5	0.1	70	43	38
106	8	1.5	3.5	0.01	50	71	71
107	8	1.5	3.5	0.01	60	66	63
108	8	1.5	3.5	0.01	70	61	57
109	8	2.5	1.5	1	50	30	32
110	8	2.5	1.5	1	60	25	28
111	8	2.5	1.5	1	70	22	25
112	8	2.5	1.5	0.1	50	48	48
113	8	2.5	1.5	0.1	60	44	42
114	8	2.5	1.5	0.1	70	40	38
115	8	2.5	1.5	0.01	50	67	71
116	8	2.5	1.5	0.01	60	62	63
117	8	2.5	1.5	0.01	70	59	57
118	8	2.5	2.5	1	50	36	36
119	8	2.5	2.5	1	60	28	32
120	8	2.5	2.5	1	70	26	29
121	8	2.5	2.5	0.1	50	54	54
122	8	2.5	2.5	0.1	60	48	48
123	8	2.5	2.5	0.1	70	44	43
124	8	2.5	2.5	0.01	50	77	81
125	8	2.5	2.5	0.01	60	70	71
126	8	2.5	2.5	0.01	70	66	64
127	8	2.5	3.5	1	50	40	39
128	8	2.5	3.5	1	60	34	34
129	8	2.5	3.5	1	70	29	31
130	8	2.5	3.5	0.1	50	61	58

131	8	2.5	3.5	0.1	60	53	52
132	8	2.5	3.5	0.1	70	48	47
133	8	2.5	3.5	0.01	50	83	87
134	8	2.5	3.5	0.01	60	78	77
135	8	2.5	3.5	0.01	70	72	70
136	8	3.5	1.5	1	50	37	36
137	8	3.5	1.5	1	60	31	32
138	8	3.5	1.5	1	70	27	29
139	8	3.5	1.5	0.1	50	56	54
140	8	3.5	1.5	0.1	60	49	48
141	8	3.5	1.5	0.1	70	46	43
142	8	3.5	1.5	0.01	50	79	81
143	8	3.5	1.5	0.01	60	73	72
144	8	3.5	1.5	0.01	70	69	65
145	8	3.5	2.5	1	50	41	41
146	8	3.5	2.5	1	60	35	36
147	8	3.5	2.5	1	70	31	33
148	8	3.5	2.5	0.1	50	60	61
149	8	3.5	2.5	0.1	60	54	54
150	8	3.5	2.5	0.1	70	49	49
151	8	3.5	2.5	0.01	50	87	92
152	8	3.5	2.5	0.01	60	80	81
153	8	3.5	2.5	0.01	70	75	74
154	8	3.5	3.5	1	50	46	44
155	8	3.5	3.5	1	60	40	39
156	8	3.5	3.5	1	70	36	35
157	8	3.5	3.5	0.1	50	65	66
158	8	3.5	3.5	0.1	60	60	59
159	8	3.5	3.5	0.1	70	53	53
160	8	3.5	3.5	0.01	50	101	99
161	8	3.5	3.5	0.01	60	87	88
162	8	3.5	3.5	0.01	70	82	80
163	10	1.5	1.5	1	50	29	31
164	10	1.5	1.5	1	60	26	28
165	10	1.5	1.5	1	70	21	25
166	10	1.5	1.5	0.1	50	49	47
167	10	1.5	1.5	0.1	60	45	42
168	10	1.5	1.5	0.1	70	40	38
169	10	1.5	1.5	0.01	50	69	71
170	10	1.5	1.5	0.01	60	64	63
171	10	1.5	1.5	0.01	70	60	57
172	10	1.5	2.5	1	50	34	36
173	10	1.5	2.5	1	60	28	31
174	10	1.5	2.5	1	70	26	28
175	10	1.5	2.5	0.1	50	54	53
176	10	1.5	2.5	0.1	60	49	47
177	10	1.5	2.5	0.1	70	43	43
178	10	1.5	2.5	0.01	50	80	80

179	10	1.5	2.5	0.01	60	74	71
180	10	1.5	2.5	0.01	70	70	64
181	10	1.5	3.5	1	50	40	38
182	10	1.5	3.5	1	60	34	34
183	10	1.5	3.5	1	70	30	31
184	10	1.5	3.5	0.1	50	60	58
185	10	1.5	3.5	0.1	60	53	51
186	10	1.5	3.5	0.1	70	51	46
187	10	1.5	3.5	0.01	50	89	86
188	10	1.5	3.5	0.01	60	83	77
189	10	1.5	3.5	0.01	70	77	69
190	10	2.5	1.5	1	50	39	38
191	10	2.5	1.5	1	60	33	34
192	10	2.5	1.5	1	70	28	31
193	10	2.5	1.5	0.1	50	62	58
194	10	2.5	1.5	0.1	60	56	51
195	10	2.5	1.5	0.1	70	51	46
196	10	2.5	1.5	0.01	50	90	86
197	10	2.5	1.5	0.01	60	83	77
198	10	2.5	1.5	0.01	70	78	69
199	10	2.5	2.5	1	50	43	43
200	10	2.5	2.5	1	60	36	38
201	10	2.5	2.5	1	70	31	35
202	10	2.5	2.5	0.1	50	64	65
203	10	2.5	2.5	0.1	60	57	58
204	10	2.5	2.5	0.1	70	54	52
205	10	2.5	2.5	0.01	50	92	97
206	10	2.5	2.5	0.01	60	87	86
207	10	2.5	2.5	0.01	70	82	78
208	10	2.5	3.5	1	50	46	47
209	10	2.5	3.5	1	60	41	42
210	10	2.5	3.5	1	70	35	38
211	10	2.5	3.5	0.1	50	68	70
212	10	2.5	3.5	0.1	60	60	62
213	10	2.5	3.5	0.1	70	55	56
214	10	2.5	3.5	0.01	50	110	105
215	10	2.5	3.5	0.01	60	97	94
216	10	2.5	3.5	0.01	70	91	84
217	10	3.5	1.5	1	50	44	44
218	10	3.5	1.5	1	60	37	39
219	10	3.5	1.5	1	70	32	35
220	10	3.5	1.5	0.1	50	64	66
221	10	3.5	1.5	0.1	60	56	58
222	10	3.5	1.5	0.1	70	51	53
223	10	3.5	1.5	0.01	50	95	99
224	10	3.5	1.5	0.01	60	90	87
225	10	3.5	1.5	0.01	70	85	79
226	10	3.5	2.5	1	50	50	49

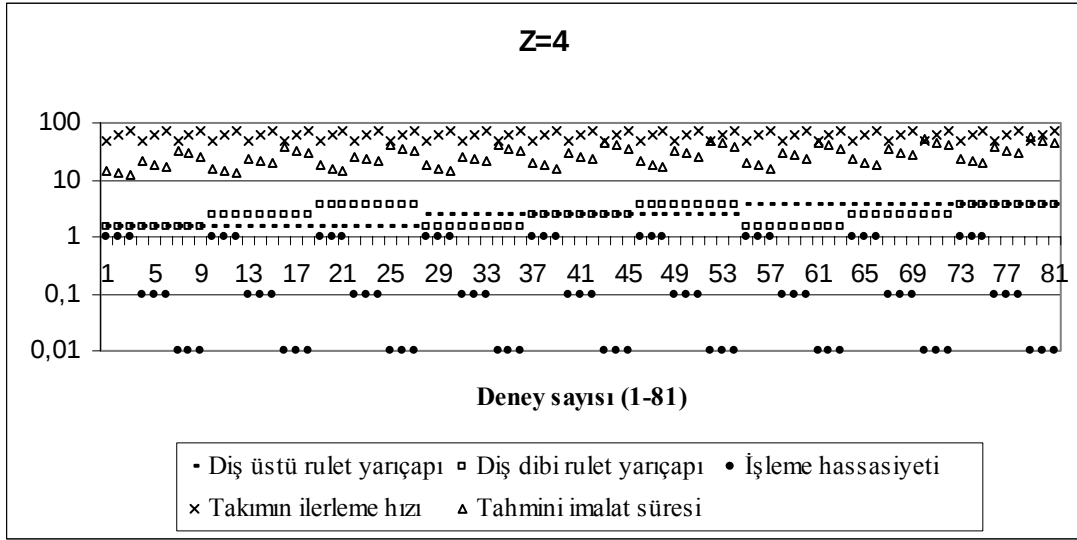
227	10	3.5	2.5	1	60	42	44
228	10	3.5	2.5	1	70	37	40
229	10	3.5	2.5	0.1	50	72	74
230	10	3.5	2.5	0.1	60	64	66
231	10	3.5	2.5	0.1	70	58	59
232	10	3.5	2.5	0.01	50	107	111
233	10	3.5	2.5	0.01	60	99	98
234	10	3.5	2.5	0.01	70	92	89
235	10	3.5	3.5	1	50	59	53
236	10	3.5	3.5	1	60	48	47
237	10	3.5	3.5	1	70	41	43
238	10	3.5	3.5	0.1	50	78	80
239	10	3.5	3.5	0.1	60	69	71
240	10	3.5	3.5	0.1	70	60	64
241	10	3.5	3.5	0.01	50	117	120
242	10	3.5	3.5	0.01	60	108	107
243	10	3.5	3.5	0.01	70	101	96

Tablo 4.4'den teorik imalat süresi ile deneysel imalat süresi arasındaki hata miktarları aşağıdaki şekilde verilmiştir (Şekil 4.42).

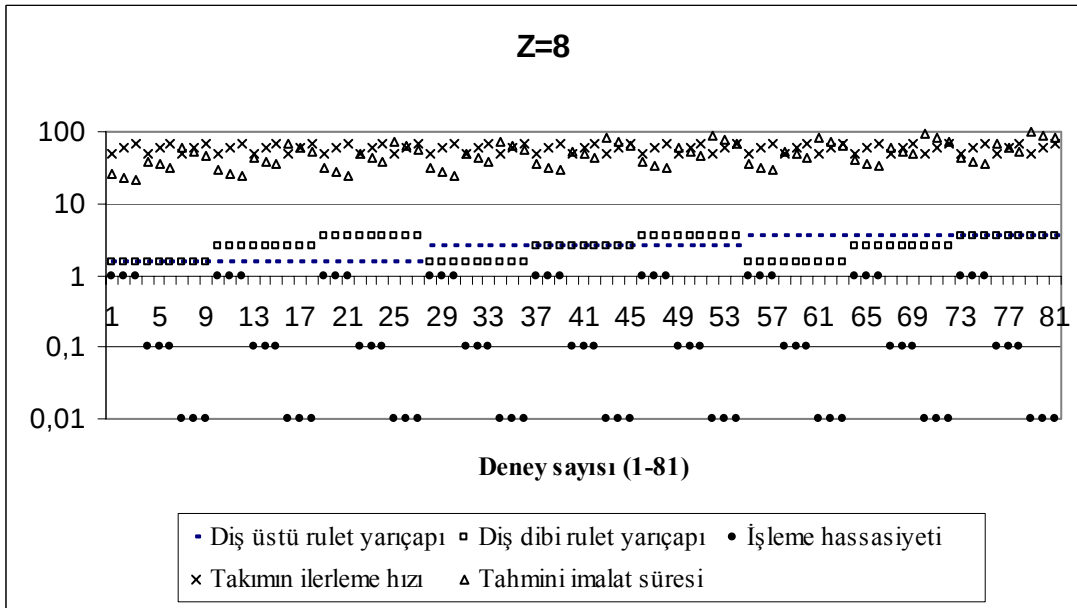


Şekil 4.42 Deneysel ve Teorik imalat süresi arasındaki hataların dağılımı

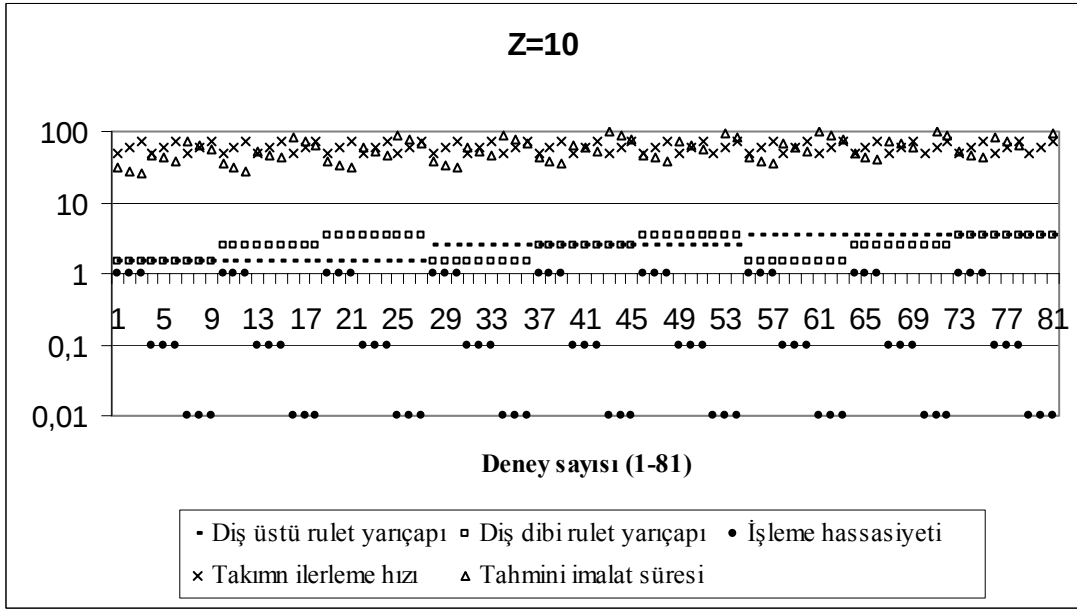
Tablo 4.4'den Sikloidal dişli çarkın diş profil eğrilerinin işlenme hassasiyetine ve parmak freze çıkışının ilerleme hızına bağlı olarak imalat sürelerinin değişim grafikleri aşağıdaki gibi elde edildi (Şekil 4.43, Şekil 4.44 ve Şekil 4.45).



Şekil 4.43 Z=4 olan sikloidal dişli çarkın, rulet yarıçaplarına, işlenme hassasiyetine ve parmak freze çarkısının ilerleme hızına bağlı olarak tahmini imalat süresinin değişimi



Şekil 4.44 Z=8 olan sikloidal dişli çarkın, rulet yarıçaplarına, işlenme hassasiyetine ve parmak freze çarkısının ilerleme hızına bağlı olarak tahmini imalat süresinin değişimi



Şekil 4.45 Z=10 olan sikloidal dişli çarkın, rulet yarıçaplarına, işlenme hassasiyetine ve parmak freze çakısının ilerleme hızına bağlı olarak tahmini imalat süresinin değişimi

Yukarıda verilen 4.42, 4.43, 4.44 ve 4.45 grafikleri incelendiğinde teorik olarak hesaplanan imalat sürelerinin biri birine yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Dolayısı ile (4.93) ifadesinin Sikloidal dişlilerin CNC freze tezgahlarındaki imalat sürelerinin tahmininde kullanılabileceği görülmüştür. Daha sonra bulunan bu model dişli kalınlığı ve talaş kesme derinliğine bağlı olarak aşağıdaki gibi genelleştirilebilir.

$$T_{top} = 45.9494 \frac{H_{max}}{h_n} \left[\frac{Z^{0.8535} r_e^{0.3896} r_h^{0.2355}}{F^{0.6612} \psi_s^{0.1759}} \right] \quad (4.94)$$

(4.94) ifadesinde imalat süresinin, talaş kesme derinliği (h_n) ve parmak freze çakısının ilerleme hızı (F) ile ters orantılı olduğu görülmektedir. Buna karşın imalat süresinin Sikloidal dişli çarkın diş sayısı (Z), diş üstü Rulet yarıçapı (r_e), diş dibi Rulet yarıçapı (r_h) ve Sikloidal dişli çarkın işlenme hassasiyeti (ψ_s) ile doğru orantılı olduğu görülmektedir.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Yapılan bu tez çalışmasında, Sikloidal dişlili pompalarda kullanılan dişlilerin CNC freze tezgahlarında geleneksel imalat yöntemlerinden farklı olarak eksenel ve radyal olmak üzere iki farklı işleme yöntemi ile imal edilebilecekleri görülmüştür.

Sikloidal dişlilerin CNC freze tezgahlarında eksenel olarak işlenmesi halinde, küresel uçlu parmak freze çakılarına ve bölmelendirme aparatlarına ihtiyaç duyulacağı görülmüştür. Buna karşın Sikloidal dişlilerin radyal olarak işlenmesi halinde ise, bu dişlilerin düz alınlı parmak freze çakıları ile imal edilebilecekleri görülmüştür. Bu çalışmada, Sikloidal dişlilerin piyasalarda ucuz ve bol miktarda bulunan düz alınlı parmak freze çakıları ile radyal işlenmesi dikkate alınmıştır. Bu işleme yöntemine göre genel bir imalat programı geliştirilmiştir. Geliştirilen bu program ile Sikloidal dişliler farklı işleme hassasiyetinde ve farklı diş sayılarında imal edilmişlerdir. İmalatı gerçekleştirilen bu dişlilerin diş profili üzerindeki ölçümler ile bu ölçüm noktaları için bulunan teorik değerler karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonuçlarına göre elde edilen değerlerin kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu görülmüştür (Tablo 4.2). Geliştirilen bu CAM programı β_s , ψ_s ve h_n gibi üç hassasiyet değerine göre çalışmaktadır. Programda girilen β_s değeri diş dibi profilini, ψ_s için girilen değerler ise diş üstü profilinin işlenme hassasiyetini belirler.

Bu işlenme hassasiyetinin geliştirilen programda çok küçük değerlerde girilmesi halinde diş profilinin hassasiyetini arttıracığı, bununla beraber bu değerlerin büyük seçilmesi halinde ise diş profilindeki hassasiyetin azalacağı görülmüştür. Ayrıca işlenme hassasiyetinin çok küçük değerlerde girilmesi halinde geçiş noktasındaki (diş üstü ve diş dibi profillerinin kesişim noktası) hataların azalacağı görülmüştür. Tez çalışmasında, bu durumları daha iyi anlayabilmek için diş profilinin işlenme hassasiyeti dikkate alınarak, diş profilindeki sapmaların matematiksel ifadeleri çıkartılmıştır. Çıkartılan bu ifadelerle göre diş profilindeki sapmaların değişimlerini inceleyebilmek için MATLAB Ver 6.5’de bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Hazırlanan bu program farklı diş sayıları, farklı açısallı hassasiyet ve farklı Rulet çaplarına göre çalıştırılarak diş profillerindeki sapmaların değişim grafikleri Şekil 4.26, 4.27, 4.28, 4.29, 4.30, 4.31, 4.32, 4.33, 4.34, 4.35, 4.36, 4.37, 4.38’de verilmiştir. Bu değişim grafikleri incelendiğinde, diş sayısının artması diş profilinden sapma miktarlarını arttırdığı görülmüştür. Bunun sebebinin ise dişlinin yuvarlanma dairesinin büyümesinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Yine ψ_s ve β_s değerlerinin küçük olması halinde ise bu sapma miktarlarının azaldığı görülmüştür. Yine bununla beraber sapma miktarının, diş dibi profilinde daha küçük değerlerde ancak diş üstü profilinde ise daha büyük değerlerde olduğu da görülmüştür. Bu durum ise Sikloidal dişli çarkın diş profillerinin özelliğinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Çünkü Hiposikloid profil dişli

çarkın yuvarlanma dairesinin altında oluşmakta Episikloid profil ise yuvarlanma dairesinin üzerinde oluşmaktadır (Şekil 2.1). Yine h_n için girilen değerler de, Sikloidal dişliyi Z ekseninde üzerindeki dişlinin kalınlığı boyunca X-Y düzlemine paralel düzlemlerde işleme hassasiyetini belirler. Tüm bu değerler tezgah hassasiyeti dikkate alındığında 0.001 değerine kadar çıkabilir. Ancak bu değerlerin çok küçük seçilmesi halinde, yapılan deneyler sonucunda Sikloidal dişli çarkın CNC freze tezgahında imalat sürelerinin artacağı görülmüştür (Şekil 4.39, 4.40 ve 4.41).

Yine bununla beraber yapılan tez çalışmasında, Sikloidal dişlilerin imalat sürelerinin önceden tahmin edilebilmesi için, deney sonuçları ve imalat parametreleri dikkate alınarak çoklu regresyon metodu kullanılarak uygun bir model bulunmuştur. Bulunan bu ampirik formül ile deneysel sonuçların yaklaşık olarak örtüştüğü görülmüştür (Şekil 4.42). Daha sonra, imalat parametrelerine göre tahmini imalat süresinin değişim grafikleri Excel’de çizdirilmiştir (Şekil 4.43, 4.44 ve 4.45). Bu değişim grafikleri incelendiğinde, işleme hassasiyetinin, Rulet yarıçaplarının ve diş sayısının artmasının imalat sürelerini arttırdığı ancak takımın ilerleme hızının ve talaş kesme derinliğinin artmasının ise imalat süresini azalttığı görülmüştür (Şekil 4.43, 4.44 ve 4.45).

Tüm bunlarla beraber, Sikloidal dişliler CNC freze tezgahlarında imal edilirken parmak freze çakısının seçiminde önemli bir durum olduğu görülmüştür. Parmak freze çakısı seçilirken, Sikloidal diş profilini oluşturan rulet çapının dikkate alınması gerekmektedir. Çünkü Hiposikloid ve Episikloid profilinin oluşumu Ruletin çapına bağlı olarak değişmektedir (Şekil 4.14). Bu tez çalışmasında uygun çakı seçimi için (4.55) bağıntısı türetilmiştir. Bu bağıntı gereği hesaplanan çakı çapının, piyasalardaki en küçük çaplı çakı olan 2 mm daha küçük çıkması halinde, bu Sikloidal dişlilerin imal edilemeyeceği görülmüştür. Bununla beraber geleneksel imalat yöntemlerinde kullanılan çakı ömürleri dikkate alındığında parmak freze çakılarının ömürlerinin daha az olduğu görülmektedir (Şekil 3.2). Çünkü kremayer çakı ile Sikloidal dişli imal edilirken kremayerin bütün kesici yüzeyleri kullanılmakta, oysa parmak freze çakısının sadece taban kenarları kullanılmaktadır. Yine çakı mukavemetleri dikkate alındığında parmak freze çakılarının mukavemetlerinin kremayer çakıya göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun için parmak freze çakıları ile Sikloid dişliler imal edilirken talaş kesme yükseklik değeri (h_n) ve parmak freze çakısının ilerleme hızı (F) seçilirken, parmak freze çakısının çapı ve dişli malzemesinin sertliğinin göz önünde bulundurulması gerekir.

5.1. Genel Sonuçlar

1. Yapılan bu tez çalışmasında, Sikloidal dişlilerin CNC freze tezgahlarında imalatlarının gerçekleştirilebilmesi için genel amaçlı CAM programı geliştirilmiştir.
2. Böylece Sikloidal dişli arkların CNC freze tezgahlarında düz alınlı parmak freze akılarıyla imal edilebileceği görülmüştür.
3. Sikloidal dişlilerin özelliklerini belirleyen en önemli parametre, bilindiği gibi Sikloidal dişli çarkların diş profilini oluşturan Rulettir. Piyasalarda, Sikloidal dişliler imal edilirken kullanılan çakıların ölçüleri bu Rulet değerlerine göre belirlenmektedir. Dolayısı ile sanayide her Rulet değeri için, farklı çakıların bulundurulması önemli bir problem oluşturduğundan, Sikloidal dişliler ancak standart olan ruletlerde imal edilebilmektedir. Yapılan bu çalışma ile standart dışı Sikloidal diş profilleri de imal edilebilmiştir.
4. Ayrıca geliştirilen bu program yardımıyla, Sikloidal dişli çarkların diş üstü ve diş dibi profillerinin farklı hassasiyetlerde (ψ_s ve β_s) işlenebileceği görülmüştür.
5. Sikloidal dişli çarkın CNC freze tezgahlarında işlenme hassasiyetinin matematiksel ifadeleri türetilmiştir. Böylelikle imalatı yapılacak olan Sikloidal dişli çarkların işlenme hassasiyeti önceden tespit edilebilmektedir.
6. CNC freze tezgahında Sikloidal dişli çarkın imalat süresinin önceden tahmin edilebilmesi için çoklu regresyon yöntemi kullanılarak uygun bir model geliştirilmiştir.

5.2 Öneriler

1. Sikloidal dişli çarkın CNC freze tezgahında küresel uçlu parmak freze akısı kullanılarak eksenel yönde işlenebilmesi için uygun bir algoritma geliştirilebilir.
2. Silindirik taşlama taşı kullanılarak Sikloidal dişli çarkın CNC freze tezgahında taşlaması yapılabilir.
3. Klasik yöntemle imal edilen Sikloidal dişli çarklar ile CNC freze tezgahında düz alınlı parmak freze akısı ile imal edilen Sikloidal dişli çarklar çalıştırılarak aşınma davranışları incelenebilir.
4. Yine yağ pompalarının dış rotoru da, iç rotoru için geliştirilen algoritmaya benzer bir algoritma geliştirilerek imal edilebilir.

KAYNAKLAR

1. Kudriavcev, V., 1966, "Planetaryje peradici", Masinostroenjie, Moskva-Leningrad.
2. Lehmann, M., 1976, "Berechug und Messung der Krafte in einen Zykloiden-Kurvenscheiben-Getriebe", Dissertation der Technischen Universität, München.
3. Müller, H. W., 1971, "Die Umlaufgetriebe", Springer verlog, Berlin.
4. Müller, L., 1983, "Przekładnie obiegowe", PWN, Warszawa.
5. Akkurt, M., 2000, Makina Elemanları, İstanbul.
6. Demenego, A., Vecchiato, D., Litvin, F. L., Nervegna, N., Manco, S., 2002, "Design and simulation of meshing of a cycloidal pump", Mechanism and Machine Theory, Vol.37, pp.311-332.
7. Ranganathan, G., Hillson Samuel Raj, T., Monhan Ram, P.V., 2004, "Wear characterisation of small PM rotors and oil pump bearing", Tribology International, Vol.37, pp.1-9.
8. Malhotra, S. K. and Parameswaran, M. A, 1983, "Analysis of a cycloid speed reducer", Mechanism and Machine Theory, Vol.18, No.6, pp.491-499.
9. Maximov, J. T. and Hristov, H. I., (Baskıda), "Machining of hypocycloidal surfaces by adding rotations around paralel axes, part 1. Kinematics of the method and rational field of application", Trakya Univ Jsci, pp.1-9.
10. Maximov, J. T. and Hristov, H. I., (Baskıda), "Machining of hypocycloidal surfaces by adding rotations around paralel axes, part 2. Geometry of the body of the tool", Trakya Univ Jsci, pp.1-9.
11. Litvin, F. L., Demengo ,A., Vechioto, D., 2001, "Formation by branches of envelope to parametric families of surfaces and curves", Computer method in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 190, pp. 4587-4608.

12. Fong, Z. H., Chaing, Ta-Wei and Tsay Chiew-Wen, 2002, "Mathematical for parametric tooth profile of spur gear using of action", Mathematical and Computer modeling, Vol. 36, pp. 603-614.
13. Omirou, S., 2002, "NC machining for revolved and swept surface with free-form profiles", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 132, pp.332-339.
14. Chmurawa, M., John, A., 2000, "Numerical Analysis Of Stres And Strain Distributions In Planetary Wheel Of Cycloidal Gear Using FEM", Numerical Methods in Continuum Mechanics, Liptovský Ján, Slovak Republic.
15. Yeh, S.-S., Hsu, P.-L., 1999, "The speed-controlled interpolator for machining parametric curves", Computer-Aided Design, Vol. 31, pp. 349-357.
16. Tam Hon-yuen, Xu, H., Zhov Z., 2002, "Iso-planar interpolation for the machining of implicit surfaces", Computer-Aided Design, Vol. 34, pp. 125-136.
17. Batista, R., Simões, J.F. Antune, 2000, "Three and five axes milling of sculptured surfaces", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 103, pp. 398-403.
18. Akkurt, M., Sevinç, A., 1994, "Tel Erezyon İşlemine Yönelik CAD-CAM-CNC integrasyonu", İTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 18 Ocak.
19. Sahraibman, S. M., 1989, "A Statistical Survey of Gear-Cutting Operations in Various Production Models", Sovient Engineering Research, Vol. 60, No. 2, pp. 29-31
20. Elber, G., Cohen, E., 1993, "Tool Path Generation For Freeform Surface Models", Proc. 2 Symp. Solid Model Appl. Publ by ACM, New York, pp.419-428.
21. Zhang, L. P., Fuh, J. Y. H., Nee, A. Y. C., 2003, "Tool path regeneration for mold design modification", Computer-Aided Design, Vol. 35, pp. 813-823.
22. Öze, l C., "Düz konik dişlilerin sayısal denetimli freze tezgahlarında hassas şekilde açılmasının tasarımı ve imalatı", Fırat üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ 2000.

23. Özek, C., “Dişleri değiştirilebilen düz dişli imalatının araştırılması”, Fırat üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ 2002.
24. Schiebel, A., İleri, H., 1974, Dişli Çarklar, İstanbul.
25. Esin, A., 1992, CNC Tezgahları, TMMOB, Ankara
26. Haçerlioğulları, A., Alan, F., Özbek, A., Matematik Seti-2, Tümay dershaneleri yayınları
27. Kılıçkap, E., “Al Si7 Mg2/SiCp Metal Matriksli Kompozitlerin Talaşlı İşlenmesinin Araştırılması”, Doktora Tezi, Elazığ 2003.
28. Uzun, İ., 2000, Nümerik Analiz, İstanbul
29. Erdun, H., 1993, Turbo ve Borland C & Pascal ile grafik, İstanbul
30. DYNA CNC Tezgah Katalogu
31. FANUC CNC Tezgah Katalogu

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Elazığ'ın Palu ilçesinde doğdum. 1998 yılında liseyi bitirdim. 2003 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldum. Aynı yıl Makine Mühendisliği Bölümünde Makine Konstrüksiyonu ve İmalatı Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladım. Halen yüksek lisans eğitimine devam etmekteyim.