T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HELİSEL DİŞLİLERDE DİŞ YANAK BURULMASININ ANALİZİ

Ferhan EREN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mümin ŞAHİN

EDİRNE - 2021

Ferhan EREN'in hazırladığı "**HELİSEL DİŞLİLERDE DİŞ YANAK BURULMASININ ANALİZİ**" başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında bir **Yüksek lisans** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri : İmza

Prof. Dr. Mümin ŞAHİN ……

Prof. Dr. Cem ÇETİNARSLAN ……

Doç. Dr. Bahar UYMAZ ……

Tez Savunma Tarihi: 12/07/2021

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

İmza

Prof. Dr. Mümin ŞAHİN

Tez Danışmanı ……

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

……

Prof. Dr. Hüseyin Rıza Ferhat KARABULUT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

T.Ü.FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

DOĞRULUK BEYANI

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

12 / 07 / 2021

Ferhan EREN

İmza

YÜKSEK LİSANS TEZİ
HELİSEL DİŞLİLERDE DİŞ YANAK BURULMASININ ANALİZİ
T.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

ÖZET

Helisel dişli çarkların çalışacağı yere göre tasarımı, bilgisayar destekli analizi, imalatı ve ömür testleri, helisel dişli ömrünü ve çalışma konforunu belirler. Helisel dişlinin çalışma koşullarında beklenen performansı sağlaması, ana ürün ömrü için son derece önemlidir. Tasarımda ön görülemeyen noktalar, bilgisayar destekli analiz ile ortaya çıkar ve tasarımda düzeltmeler yapılır. İmalatı bitmiş helisel dişliler, dayanım testlerinde gerçek çalışma koşullarına en yakın şartlarda test edilir. İstenilen performans sağlandığında ürün onaylanır. Tasarımda göremediğimiz, imalatı yapılan helisel dişlilerde testler sonrası onay alınamayan durumların da gerçekleşmesi mümkündür. Tasarımdan ya da imalattan gelen ve ön görülemeyen bu gibi durumlardan biri olan dişli yanak burulması tezin konusudur. Bu tezde öncelikle helisel dişliler hakkında teorik bilgiler verilmektedir. Daha sonra tasarımı, analizi ve imalatı yapılan helisel dişlilerin dişli burulmalarını ve ürüne olan etkisi değerlendirilmektedir.

Yıl : 2021

Sayfa Sayısı : 82

Anahtar Kelimeler : Dişli Burulması, Dişli Yanak Hataları, Dişli Kontak Hataları, Dişli Yanak Bükülmesi, Dişli Yanağında Doğal Burulma.

M.Sc. THESIS

ANALYSIS OF TWIST FREE ON HELICAL GEARS

TRAKYA UNIVERSITY INSTITUTE OF NATURAL SCIENCES
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

ABSTRACT

Depending on the place where helical gears work, design, computer aided analysis, manufacturing and fatique tests determine life of helical gear and working conditions. It is extremely important for the main product life that the helical gear provides the expected performance in working conditions. Invisible points in design are revealed by computer aided analysis and arrangements are made in the design. Helical gear, whose manufacturing is finished,are tested under the conditions closest to the real working conditions in fatique testes. When the desired performance is achieved, the product is approved. It is also possible to realize situations that can not be approved after fatique tests in helical gears that we can not see in design. Natural twist, one of such unpredictable situations from design or manufacturing, is the subject of the thesis. Natural twist issue is called twist-free or bias error. In this thesis, firstly theoretical information about helical gears will be given. Then, we will examine the all results together with causes – results of the helical gears designed, analyzed and manufactured.

Year : 2021

Page Number : 82

Keywords : Twist-Free, Bias Error, Gear Contact Errors, Tooth Counter Twist, Natural Twist on Gear Teeth, Deviation-Free Topological Grinding,

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarımda engin bilgileri, tecrübeleri ve yönlendirmeleriyle çok değerli katkılar sağlayan tez danışmanım Hocam Prof. Dr. Mümin ŞAHİN'e ve yardımlarını esirgemeyen Hema Endüstri A.Ş. firması değerli çalışma arkadaşlarıma, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli eşim, oğlum ve kızıma teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET iv
ABSTRACT v
TEŞEKKÜR vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ix
1. GİRİŞ 1
2. DİŞLİ ÇARK MEKANİZMALARI 4
2.1 Paralel Millerde Silindirik Dişli Çarklar 4
2.2 Kesişen Millerde Konik Dişli Çarklar 7
2.3 Aykırı Millerde Vida Mekanizmaları 9
3. HELİSEL DİŞLİLER 11
3.1 Helisel Dişlilerin Özellikleri 11
3.2 Helisel Dişli Geometrisi 13
3.2.1 Dişli Ana Kanunu 13
3.2.2 Dişli Çarklarda Kavrama Oranı ve Kayma Hızı Etkisi 14
3.2.3 Helisel Dişli Hesabında Kullanılan Tanımlar ve Formüller 15
3.2.4 Helisel Dişli Çalışması Sırasında Oluşan Kuvvetler 16
3.2.5 Helisel Dişlilerde Yanak Farklılıkları 17
3.2.6 Helisel Dişlilerde Dişli Yanak Burulması 19
4. HELİSEL DİŞLİ MODELLEMESİ VE İMALATI 23
4.1.Helisel Dişli Modelleme 23
4.2 Helisel Dişli Üretim Operasyonları 27
4.2.1 Tornalama 28
4.2.2 Yağ Kanalı Açma 29
4.2.3 Planyalama Yöntemi ile Spline Diş Açma 29
4.2.4 Azdırma Yöntemi ile Diş Açma 30
4.2.5 Çapak Alma 34
4.2.6 Isıl İşlem Operasyonu 35
4.2.7 İç Çap ve Alın Taşlama 37
4.2.8 Sert Tornalama 38
4.2.9 Dişli Profil Taşlama 39

4.2.10 Helisel Dişli Ölçümü 49
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR 52
5.1 Helisel Dişli Üretim Sonucu Grafiklerinin Değerlendirmesi 52
5.2 Dişlinin Bilgisayar Destekli Analizi ve Burulmasız Dişli Yanağı Elde Edilmesi 57
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 64
7. KAYNAKLAR 67

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	Referans Geometri Basınç Açısı
β	Dişli Helisel Açısı
∅	Sx Doğrunun Merkez Doğru İle Yaptığı Açı
ε	Kavrama Oranı
ξ	Özgül Kayma Hızı
P	Kesici Takım Uç Yarıçapı
ρF	Diş Dibi Yarıçapı
ρFmin	Minimum Diş Dibi Yarıçapı
σF	Diş Dibi Gerilmesi
αpd	Ön Yüzey Pim Konum Açısı
αpc	Arka Yüzey Pim Konum Açısı
ρ	Kesici Takım Diş Ucu Radyusu
υ	Poisson Oranı
a	Eksen Arası Mesafe
b	Dişli Çark Genişliği
cp	Diş Başı Boşluğu
cc	Simetrik Yanak Boşluk Katsayısı
cd	Asimetrik Yanak Boşluk Katsayısı
C	Dinamik Yük Katsayısı
d	Taksimat Dairesi
df	Diş Dibi Dairesi Çapı
da	Diş Başı Dairesi Çapı
dv	Yuvarlanma Dairesi Çapı
db	Temel Daire Çapı
dx	Seçilen Herhangi Bir Çap

dp	Simetrik Ve Asimetrik Dişli Çarklar İçin Pim Konumu Çapı
E	Elastisite Modülü
f	Sürtünme Katsayısı
FD	Diş Kuvveti
Ft	Teğetsel Kuvvet
Fr	Radyal Kuvvet
hfp	Diş Dibi Derinliği
hap	Diş Başı Yüksekliği
ht	Tüm Diş Derinliği
hc	Simetrik Yanak Yükseklik Katsayısı
hd	Asimetrik Yanak Yükseklik Katsayısı
jn	Normal Dişli Boşluğu
jt	Dişli Dönme Boşluğu
k	Kiriş Ölçüsü İçin Ölçülecek Diş Sayısı
K	Asimetrik Faktör
Lh	Saat Cinsinden Ömür
L	Tek Diş Geçiş Mesafesi
mn	Normal Modül
Md	Döndürme Momenti
n	Devir
p	Taksimat
r	Yarı Çap
Sa	Diş Ucu Kalınlığı
Sb	Temel Daire Üzerinde Dişli Kalınlığı
St	Taksimat Dairesi Üzerinde Diş Kalınlığı
Sx	Dişli Üzerinde Herhangi Bir Çapta Diş Kalınlığı
u	Çevrim Oranı
V	Kayma Hızı
Yε	Kavrama Faktörü

Yβ	Helisel Faktörü
z	Diş Sayısı
x	Profil Kaydırma Faktörü
W	Kiriş Ölçüsü

Kısaltmalar Listesi

AFNOR	Fransa Standard Komitesi
CBN	Kübik Bor Nitrür (Cubic Boron Nitride)
DIN	Alman Standartları Enstitüsü
ISO	Uluslararası Standartlar Organizasyonu
SAE	Otomotiv Mühendislik Standardı

İNDİSLER

c	Dişli Arka Yüzeyi
d	Dişli Ön Yüzeyi
°	Derece
1	Tahrik Eden Dişli
2	Tahrik Edilen Dişli
p	Pinyon Dişli
g	Tahrik Edilen Dişli

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Düz dişli. 5
Şekil 2.2. İç dişli (Çember dişli). 5
Şekil 2.3. Kremayer dişli. 6
Şekil 2.4. Helisel dişli. 6
Şekil 2.5. İkili helisel dişli. 7
Şekil 2.6. Ok dişli (Çavuş dişli). 7
Şekil 2.7. Düz konik dişliler. 8
Şekil 2.8. Helisel konik dişli. 8
Şekil 2.9. Eğrisel helisel konik dişli. 9
Şekil 2.10. Spiral dişli. 10
Şekil 2.11. Sonsuz dişli. 10
Şekil 3.1. Helisel dişli yön tespiti. 12
Şekil 3.2. Eksenleri paralel helisel dişliler ve eksenleri dik helisel dişliler. 13
Şekil 3.3. Dişli ana kanunu. 14
Şekil 3.4. Helisel dişli çalışması sırasında oluşan kuvvetler. 16
Şekil 3.5. Simetrik olmayan parçalarda referans düzlemine göre yanak tespiti. 17
Şekil 3.6. Simetrik olan dişlilerde referans düzlemine göre yanak tespiti. 18
Şekil 3.7. Helisel dişlilerde diş yanak burulması. 19
Şekil 3.8. Helisel dişlilerde dişli yanak burulması tespiti. 20
Şekil 3.9. Helisel dişlilerde profil ve istikamet düzeltmeleri. 22
Şekil 4.1. Helisel dişli modellemesi. 24
Şekil 4.2. Örnek dişli iş akışı. 27
Şekil 4.3. Tornalama operasyonu. 28
Şekil 4.4. Yağ kanalı açma operasyonu. 29
Şekil 4.5. Planyalama yöntemi ile spline diş açma. 30
Şekil 4.6. Kaplamasız ve kaplamalı takım farkı. 31
Şekil 4.7. Azdırma yöntemi ile diş açma operasyonu. 31
Şekil 4.8. Dişleri açılmış örnek dişli. 32
Şekil 4.9. Dişli ölçüm grafiği terimleri. 33
Şekil 4.10. Azdırma operasyonu ölçüm grafiği. 34
Şekil 4.11. Çapak alma operasyonu. 35
Şekil 4.12. Azdırma tezgâhı üzerinde çapak alma. 35
Şekil 4.13. Isıl işlem operasyonu. 37
Şekil 4.14. İç çap ve alın taşlama operasyonu. 38
Şekil 4.15. Sert tornalama operasyonu. 39
Şekil 4.16. Form taşla dişli profil taşlama operasyonu. 40
Şekil 4.17. Salyangoz taşla dişli profil taşlama operasyonu. 41
Şekil 4.18. Örnek dişli yanık kontrol analiz bölgeleri. 42

Şekil 4.19. Yüklü sürüş tarafı yanak yanık kontrol testi. 42
Şekil 4.20. Boşta sürüş tarafı yanak yanık kontrol testi. 42
Şekil 4.21. Dişli sertlik analiz bölgeleri. 43
Şekil 4.22. A bölgesi sertlik analizi. 44
Şekil 4.23. B bölgesi sertlik analizi. 44
Şekil 4.24. C bölgesi sertlik analizi. 44
Şekil 4.25. D bölgesi sertlik analizi. 45
Şekil 4.26. E bölgesi sertlik analizi. 45
Şekil 4.27. F bölgesi sertlik analizi. 45
Şekil 4.28. G bölgesi sertlik analizi. 46
Şekil 4.29. H bölgesi sertlik analizi. 46
Şekil 4.30. R0 bölgesi sertlik analizi. 46
Şekil 4.31. R1 bölgesi sertlik analizi. 47
Şekil 4.32. Dişli 1.bölge taşlama sonrası mikro yapı analizi. 47
Şekil 4.33. Dişli 2.bölge taşlama sonrası mikro yapı analizi. 48
Şekil 4.34. Dişli 3.bölge taşlama sonrası mikro yapı analizi. 48
Şekil 4.35. Dişli 4.bölge taşlama sonrası mikro yapı analizi. 49
Şekil 4.36. Klingelnberg ZP350 ölçüm cihazı. 50
Şekil 4.37. Örnek helisel dişli ölçümü. 51
Şekil 5.1. Helisel dişli profil taşlama ölçümü (Orta). 53
Şekil 5.2. Helisel dişli profil taşlama ölçümü (Alt). 54
Şekil 5.3. Helisel dişli profil taşlama ölçümü (Üst). 55
Şekil 5.4. Örnek dişli yanak burulması. 56
Şekil 5.5. Örnek dişli burulma analizi. 57
Şekil 5.6. Dişli yanak burulması istikamet bombeliğinin düşürülmüş hali. 58
Şekil 5.7. Helisel dişli profil taşlama ölçümü (Orta). 60
Şekil 5.8. Helisel dişli profil taşlama ölçümü (Alt). 61
Şekil 5.9. Helisel dişli profil taşlama ölçümü (Üst). 62
Şekil 5.10. Örnek dişli yanak burulmasının minimize edilmesi. 63

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Helisel dişli hesabında kullanılan elemanların tanımı. 15
Çizelge 3.2. Helisel dişli hesabında kullanılan formüller. 15
Çizelge 3.3. Dişli kalitesine göre kullanım alanları. 25
Çizelge 3.4. Tasarımı yapılan helisel dişli bilgileri. 26
Çizelge 3.5. Helisel dişli malzeme mekanik özellikleri. 27

BÖLÜM 1

1. GİRİŞ

Dişli çark sistemlerinin bulunması ve dişli çarkların geliştirilmesi eski zamanlara uzanmaktadır. Tarihi belgelerde, dişli sistemlerinin kullanımı M.Ö.330 yıllarına kadar tespit edilmiştir. Elimizdeki verilerde dişli sistemlerinin daha önce Mezopotamya'da sulama kanallarında tarım amacı ile kullanıldığı bilinmektedir. Yine milattan önce, kum saatleri gibi mekanizmalarda kullanım alanı olarak yer bulmuştur. Romalılar döneminde gelişme gösteren tahrik pim profilli dişliler, un değirmenleri gibi tarım alanlarında kullanım alanı bulmuş ve bu gelişme düzeyindeki tahrik pim profilli dişlilerin daha sonraki yıllarda hiçbir değişiklik yapılmadan çok farklı alanlarda kullanımı sürmüştür. Romalılar bronz ya da demir gibi farklı malzemelerin oksitlenmeye karşı dayanımın yüksek olduğunu anlamaları ile farklı malzemelerden dişli imalatına başlamışlardır. Bu şekilde üretilen ürünlerin daha uzun ömürlü olmalarını sağlamışlardır (Kutay, 2010).

15.yy da yaşayan Leonardo da Vinci tarafından günümüzde kullandığımız tüm dişli tipleri hakkında çizimler yapıldığı da bilinmektedir (Kyouıkugear, 2021).

17. yy sonlarında çoğu bilim insanları episikloid profillerin dişli profili olarak kullanmanın en uygun profil olduğunu düşünmekteydi. Ancak pratiğe daha bağımlı olan teknikler ile tahrik pim profilli dişlilerin kullanımını sürdürmüşlerdir. Tahrik pimli profillerin kullanımı makine sanayinin gelişmesi ve üst düzey dişli açma makinelerinin yapımına kadar sürmüştür (Kutay, 2010).

18. yy sonlarında bile, dişli çarklarda profil olarak, güzel ve rijit görünümlü fakat dişli çarkın kuvvet aktarımından verim sağlanamayan, daire yaylı profiller kullanılmaya devam etmiştir. Buhar makinesinin icat edilmesiyle dişli çarklarda da önemli gelişmeler sağlanmıştır. Dişli mekanizmalarının ve devir düşürücülerin büyük tork ve yüksek devir

sayılarını çok az kayıplarla sağlamaları için, dişli mekanizmalarının daha verimli tasarlanması gerekmekteydi. Bu ihtiyaç tamamen metal, sikloid profilli, dişlilerin ortaya çıkmasına neden olmuştur (Kutay, 2010).

19. yy'ın ortalarına doğru üretimi yapılan dişlilerin standartlaştırılması düşüncesi ortaya atılmıştır. Bu sebepten dolayı "Circular Pitch" tarafından dişli çarkın taksimat dairesinin yay boyu, yani "taksimatı" tanımlanmıştır. "Willis" tarafından 1840 yılında ilk dişli standartlarında diş üstü ve diş dibi daire çapları standartlaştırılırken, "Circular Pitch" yerini daha verimli olan "Diametral Pitch"(Çaptaki bir inç'e düşen diş sayısı) kavramını ortaya atmıştır. Aynı dönem içerisinde evolvent profilleri de bulundu. 1874 senesinde "Brown & Sharpe" şirketi tarafından 23 parçadan meydana gelen bütün "Diametral-Pitch" ölçüleri için kullanılabilecek freze takım tezgâhlarının imalatına başlandı. 1856 da "Schiele" tarafından ilk yuvarlama metodu takımı ve 1899 yılında da "Fellow" dişli çark görünümlü ilk kesici takım icat edildi. Bu dönemde henüz diş dibi alt kesimi tanımlaması yapılmamıştı. Alt kesim ilk olarak 20. yy başlarında tasarımsal olarak değil, pratikte üretim aşamasında bulundu. Fakat tasarımı daha sonraki yıllarda ortaya kondu. Otomobil endüstrisinin 20. yy başlarında seri imalata başlaması, dişli çark teknolojisinin de ilerlemesine sebep oldu. 1908 senesinde "Sunderland" tarak şekilli diş açma takımını ve 1909 senesinde MAAG şirketinin mimarı "Max MAAG" da günümüz dişli açma sistemini geliştirmiştir. İlerleyen yıllardan bu güne gelene kadar geçen sürede dişli açma ve dişli imalatında birçok ilerlemeler meydana gelmiştir. Günümüzde dünya üzerinde birçok firma, torna, freze, diş açma, çapak alma operasyonlarını bilgisayar kontrollü CNC tezgâhlar ile yaparak dişli üretmektedirler. Son teknoloji bu tezgâhlar, dişi çekip taşlama işlemini yaptıktan sonra, açtığı dişi, kesici takımı ve taşlayan takımı, otomatik olarak kontrol edip hata payını ölçüp, sapma değerlerinin sınırlarına yaklaştığını anlayınca, bu durumu otomatik olarak düzeltmektedir. ''Closed loop''olarak da adlandırılan kapalı çevrim olarak makine düzeltmelerini kendi kendine yapabilmektedir (Isel, 2007).

Değişik ölçü ve boyutlarda, farklı malzeme ve uygulama alanlarında olsalar da dişli çark sistemleri hemen hemen bütün makinelerdeki miller arasında şekil bağıyla kuvvet ve hareket ileten makine elemanları olarak görülmektedir. Tork iletiminde tasarım ve maliyet avantajlarını bir arada bulunduran dişli çark sistemleri, saat mekanizmaları, beyaz eşya, otomobil, imalat sanayii, takım tezgâhları ve uzay teknolojisine kadar birçok alanda hayatın vazgeçilmezi konumundadır. Yılların getirmiş olduğu bilgi ve tecrübe ile

dişli çarkların en verimli olduğu kullanım alanları arasında yerini korumaktadır. Bütün bu çalışmaların tek amacı enerjinin en az kayıpla iletilmesi ve verimin olabilecek en üst seviyede tutulmasıdır.

Tork iletimi sırasında verimi sınırlayan en büyük etken sürtünme ve bunun sonucunda meydana gelen aşınma ve ısınma olayıdır. Bu çeşit arzu edilmeyen durumlar, diğer makine elemanlarında olduğu gibi dişli çark sistemlerinde de kendini göstermekte ve ekonomik açıdan ciddi problemlere sebep vermektedir (Hall, 1982).

Dişliler çalıştıkları yerlere göre çok farklı tork kuvvetlerine maruz kalmaktadırlar. Özellikle değişken torklama koşullarında dişli malzemelerinin hem yüksek elastik davranış göstermeleri, hem de çok dayanıklı olmaları gerekmektedir. Çalıştıkları yerlere göre farklı malzemelerden yapılmış dişli çarklar mevcuttur. Endüstri alanında kullanılan bir dişli çark tasarımı yapılırken statik ve dinamik yükleme altındaki dayanımı, hareketin yumuşaklığı veya sertliği, dişliyi kesmede kullanılacak takımın ve aparatın mevcudiyeti, yağlama kabiliyeti, sıcaklık ve ısı yayılımı ile servis ömrü gibi önemli noktalar mutlaka hesaplanmalıdır (Senthilvelan, 2006).

Bu çalışmada dişli çark mekanizmaları ve helisel dişliler hakkında genel bilgiler verilmektedir. Helisel dişlilerin düz dişlilere göre avantajları, dezavantajları hakkında bilgilendirme yapılmaktadır. Örnek bir helisel dişli tasarımı yapılmakta ve tasarlanan dişlinin imalatı yapılmaktadır. Dişli ölçüm cihazına göre dişli burulması olup olmadığı, ölçüm ve grafikler ile tespit edilmektedir. Ardından dişli burulması olmayacak şekilde dişli tasarımı yapılıp, analizi ve karşılaştırılması mevcuttur. İmalatı yapılıp ölçüm raporundaki değişiklik tespit edilmiştir. Bu iki farklı dişli geometrisine sahip helisel dişliler arasındaki dayanım ve kullanım şekilleri sorgulanmaktadır. Elde edilen sonuçlar incelenip dişli geometrisinin dişli üzerindeki kuvvet iletimine etkisi ve dişlide oluşturduğu gerilme ve deformasyonlar değerlendirilmektedir.

BÖLÜM 2

2. DİŞLİ ÇARK MEKANİZMALARI

Dişli çarklar, beraber çalışan en az iki dişli arasında kuvvetin ve hareketin şekil bağıyla iletildiği elemanlardır. Bu tür mekanizmalarda bir döndüren birde döndürülen veya birden fazla döndürülen dişli mevcuttur. Çap olarak düşük olan döndüren dişliye pinyon, döndürülene ise çark adı verilmektedir. Bu dişlilerin oluşturduğu mekanizmanın adı da dişli çark mekanizması adını almaktadır. Dişli çark mekanizmaları millerin konumuna göre paralel, kesişen veya aykırı durumda olabilir. Millerin konumlarına göre de dişli çeşitleri doğmuştur. Paralel millerde silindirik dişli çarklar kullanılmaktadır. Silindirik dişli çark çeşitleri düz dişli (Şekil 2.1.), iç dişli (Şekil 2.2.), kremayer dişli (Şekil 2.3.), helisel dişli (Şekil 2.4.), ikili helisel dişli (Şekil 2.5.), ok dişlidir (Şekil 2.6.). Her birinin özellikleri, hesaplaması ve kullanım yerleri farklılık gösterebilmektedir. Birbirine göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Kesişen millerde ise kullanılan dişli tipi konik dişlilerdir. Konik dişli çeşitleri ise düz dişli, helisel dişli ve eğrisel dişlidir. Hareket ve kuvvet iletiminin 90° gibi açılı yerlerde aktarılmasında dişli kutusu, takım tezgâhları vb. alanlarda kullanılan dişli tipleridir (Babalık, 1997). Aykırı millerde de vida mekanizmaları kullanılır. Bunlar sonsuz vida dişli ve spiral dişli türleridir.

2.1 Paralel Millerde Silindirik Dişli Çarklar

Bir dişli çiftinde eksenleri aynı düzlemde ve paralel olan iki mil arasında kuvvet ve hareket ileten çarklara alın dişli veya silindirik dişli adı verilmektedir. Bu dişli çarklar düz dişli, iç dişli, kremayer dişli, helisel dişli, ikili dişli, çift helisel dişli tipleridir.

Dişlerin yönü dişli eksenine göre paralel ise düz silindirik dişli olarak isimlendirilir. Dişli tipleri arasında kıyasla imalatı daha kolaydır. Radyal yük taşımaktadır. Radyal kuvvet ilk tercih edilen dişli tipidir. Helisel dişlilere kıyasla daha sesli çalışmaktadır.



Şekil 2.1. Düz dişli.

Çarklar, birbiri üzerinde yuvarlanmanın haricinde, bir dıştan çark başka bir içten dişli çark içinde de yuvarlanabilmektedir. İçten dişli çarkların diş yapısı düz, helisel veya çift helisel dişli de olabilmektedir. Endüstri içerisinde cer dişlisi, çember dişli ya da iç dişli olarak da isimlendirilmektedir.



Şekil 2.2. İç dişli (Çember dişli).

Bir dişli çarkın yarıçapı sonsuz yapıldığında kremayer denilen çubuk şeklinde bir dişli eleman elde edilmektedir. Kremayer dişli düz ve helisel şeklinde olmaktadır. Kremayer dişlisi dönme hareketini doğrusal harekete ya da doğrusal hareketi dönme hareketine çevirmektedir. Torna tezgâhında arabanın ilerlemesi ve garaj kapısının açılıp kapanması gibi etrafımızda sıkça gördüğümüz yerlerde bu dişli çark mekanizması görebilmekteyiz.



Şekil 2.3. Kremayer dişli.

Dişlerin yönü çark eksenine göre eğik ise helisel silindirik dişli çark adını almaktadır. Helisel dişliler düz silindir çarklara göre daha sessizdirler. Helisel dişliler büyük momentleri iletme özelliğine de sahiptirler. Helisel dişlilerin dezavantajı ise imalatı düz dişlilere göre zor olmasıdır.



Şekil 2.4. Helisel dişli.

İkili helisel dişliler ve çift helisel dişliler, zıt yönlü iki helis açılı dişliden oluşmaktadır. İkili helisel dişlilerde ise aynı çark üzerine zıt yönlü dişler açılmıştır. Bu tarz dişliler eksenel yükleri sıfırlamaktadır. Yataklara gelen yükleri sıfırlamış olurlar. İmalatının zor olması ve çok yer kaplaması nedeni ile tercih sebebi olan dişliler değildirler (Duman, 2015).



Şekil 2.5. İkili helisel dişli.



Şekil 2.6. Ok dişli (Çavuş dişli).

2.2 Kesişen Millerde Konik Dişli Çarklar

Eksenleri aynı düzlemde bulunan fakat kesişen iki mil arasında kuvvet ve hareket ileten dişli çarklara denmektedir. Dişlerin uzunluk yönündeki durumlarına göre düz konik dişli (Şekil 2.7.) , helisel konik dişli (Şekil 2.8.) veya eğrisel konik dişliler (Şekil 2.9.) olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 2.7. Düz konik dişliler.



Şekil 2.8. Helisel konik dişli.



Şekil 2.9. Eğrisel helisel konik dişli.

Konik dişli diferansiyele hareket iletiminde, makinelerde açılı hareket ve kuvvet iletiminde kullanılmaktadır. Düz konik dişlilere göre helisel ve eğrisel konik dişlinin yapımı oldukça zor olmaktadır. Bu sebepten maliyeti de fazladır. Ama sessiz çalışma özelliği daha yüksektir.

2.3 Aykırı Millerde Vida Mekanizmaları

Eksenleri aynı düzlemde olmayan ve miller arasında güç ileten dişli çark mekanizmalarına spiral dişli çark sistemleri adı verilmektedir. Bu dişlilerin çok kullanılan özel bir şekli, uzayda eksenleri birbirine dik olan sonsuz vida mekanizmalarıdır. Bu dişlilerde kayma oranı fazla olması nedeni ile aşınma miktarı yüksektir (Akkurt, 2000).



Şekil 2.10. Spiral dişli.



Şekil 2.11. Sonsuz dişli.

Eksenleri aynı düzlemde bulunmayan miller arasında kuvvet ve hareket ileten dişli çarklara spiral dişli (Şekil 2.10.) çarklar adı verilmektedir. Bu dişlilerin pratikte çok kullanılan özel bir hali, uzayda eksenleri birbirine dik olan sonsuz vida (Şekil 2.11.) mekanizmasıdır. Sonsuz vidaların kullanım alanları asansörler, redüktörler, divizörlerdir. Çevrim oranı yüksek fakat sürtünmenin fazla olması nedeni ile verimi düşük olmaktadır.

BÖLÜM 3

3. HELİSEL DİŞLİLER

3.1 Helisel Dişlilerin Özellikleri

Alın düzleminden bakıldığında helisel ve düz dişli prensip olarak aynı görünmektedir. Alın düzlemindeki geometri eksen istikametinde kaydırılırken aynı zamanda döndürülürse istikameti döndürülmüş bir dişli olan helisel dişli meydana gelmektedir. Profilin herhangi bir noktası eksen istikametinde takip edilirse bir helisel eğri çizilmektedir. Profil üzerindeki farklı noktalar için aynı şey yapıldığında aynı helisel adıma sahip fakat helisel açıları farklı olan helisler çizilmektedir. Genişliği b olan bir dişli, genişliği boyunca i adet parçaya ayrılır ve her bir parça öncekine göre, yuvarlanma silindiri üzerinde t/i kadar kaydırılırsa o diş için kavrama eğrisi t kadar büyümüş olur. Kavrama işlemi parça parça değil de sürekli olursa helisel dişli meydana gelmektedir. Düz dişliye göre farklı olan bu açıya helis açısı denir ve β ile gösterilir.

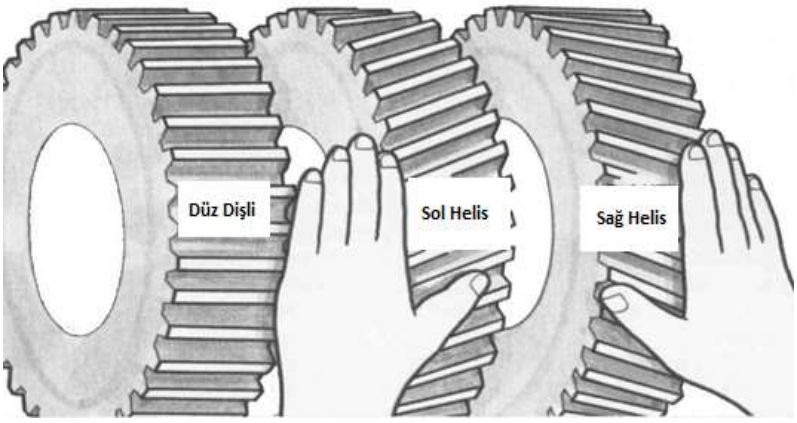
Helisel dişliler, birbirine yakın olan (paralel, dikey ve herhangi bir açıda) bir mildeki hareket ve kuvveti diğer bir mile iletmek için kullanılan dişli adı verilen elemanlardır. Düz dişli çarkların çalışmaları diş yüzeylerinin istikametleri boyunca birbirine teması sonucunda, hareket ve kuvvet iletiminde ani teması nedeni ile vuruntu yaparak ses çıkartmaktadır. Bu vuruntu ve sesi azaltmak için ani teması önlemek amacı ile dişliler helisel olarak yapılmaktadır. Diş doğrultuları diş ekseniyle sağ ve sol eğimli olarak yapılmaktadır. Helisel dişliler çalışma konumunda millerin durumuna göre:

- mil eksenleri paralel çalışan helisel dişliler
- mil eksenleri dikey çalışan helisel dişliler
- mil eksenleri herhangi bir açı ile çalışan helisel dişliler diye sınıflandırılmaktadır.

Helisel dişliler eksenel kuvvet oluşturmaları nedeni ile gelen kuvvetleri karşılamak için dişlilerin milleri iyi yataklama yapılmalıdır. Kaymalı ve rulmanlı yataklar kullanırken yatakların seçiminde gereken kuvvetler hesaplanarak yatak seçimi yapılmalıdır. Grup halinde çalışan helisel dişlilerin birinin eğimi sağa ise diğerinin eğimi sola yapılmaktadır. Bunun sebebi yataklara gelen zıt kuvvetlerin birbirini yok etmesidir. Bu şekilde yataklara gelen kuvvetler azaltılmış olacaktır.

Helisel dişliler düz silindir çarklara göre daha sessizdirler. Düz silindirli çarklarda $\beta = 0^0$ dir. Helisel dişlilerde ise β açısı 8^0 - 25^0 arasında sessiz çalışmaları ve eksenel kuvvetler açısından tavsiye edilmektedir. 8^0 - 45^0 arasında olması mümkündür. β açısı büyüdükçe dişlilerin sesi ortadan kalkmaktadır ve daha sessiz çalışmaktalar ancak bu da eksenel kuvvetlerin artmasına neden olmaktadır. Helisel dişliler hem radyal hem de eksenel yük taşımaktadırlar. Eğer β açısını optimum tutarsak, 10^0 - 20^0 arasında eksenel kuvvet azalır ve sesi de ayarlamış oluruz. Sesin oluşma nedeni ise dişlerin ani yüzey temaslarıdır. Bu sebepten $\beta = 0^0$ olursa (düz dişli) ses çok olmaktadır. Çünkü ani yüzey teması olmaktadır. β açısı ne kadar büyük olursa yüzey temasından doğan ses az olmaktadır.

Düz dişlilerin tespiti kolaydır. Dişler dişli eksenine paraleldir. Helisel dişlilerde yukarıda belirtildiği gibi belli bir açıda diş, dişli eksenine göre yatık durumdadır. Bu helis dişlisinin sağ helisel ya da sol helisel olduğunun tespiti için elimizi dişli üzerine koyduğumuzda başparmağımızın yönü diş yönüne paralel ise hangi elimizi diş üstüne yerleştirdiysek dişli yönü başparmağımız ile aynı olan elimizin yönündedir.(Şekil 3.1.)



Şekil 3.1. Helisel dişli yön tespiti.

3.2 Helisel Dişli Geometrisi

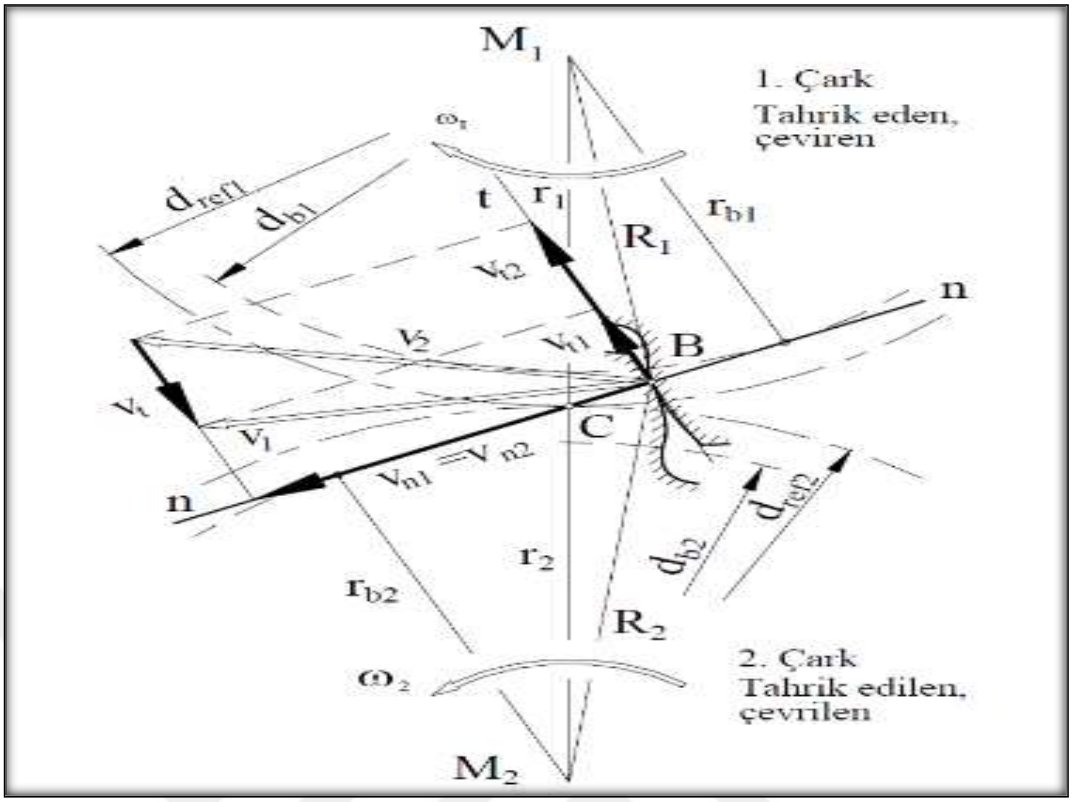
Eş eksenli ve beraber çalışan helisel dişlilerin helis açıları aynı olmalıdır ve helis yönleri farklı olmalıdır. $\beta 1 + \beta 2 = 0°$. Eksenleri dik millerde; $\beta 1 + \beta 2 = 90°$ Örnek gösterimler Şekil 3.2.de mevuttur. Dişlilerin helisel yönleri aynıdır. Çalışma sırasında dişliler birbiri üzerinde sürtünerek ve yuvarlanarak çalıştıkları için fazla aşınmaktadır. Kuvvet iletiminde tercih edilmezken hareket iletiminde kullanılmaları daha uygundur. (Özçilingir, 2006).



Şekil 3.2. Eksenleri paralel helisel dişliler ve eksenleri dik helisel dişliler.

3.2.1 Dişli Ana Kanunu

Beraber çalışan profillerin bir temas noktasındaki ortak normali, bölüm dairesindeki C noktası olarak belirtilen yuvarlanma noktasından geçmelidir. Beraber çalışan dişlilerin teğetsel hızlarının (V_1 ve V_2) ortak normal üzerindeki iz düşümleri (V_{n1} ve V_{n2}) eşit olmalıdır. Beraber çalışan iki dişlinin, yanaklarının herhangi bir temas noktası B'deki normalleri n-n, yuvarlanma noktası C'den geçiyorsa, dönme hareketi değişmeyen bir çevirme oranı ile fonksiyonunu yapmaktadır. Bu fonksiyonu gerçekleştirme durumuna dişli ana kanunu (Şekil 3.3.) adı verilir (Kutay, 2010).



Şekil 3.3. Dişli ana kanunu.

3.2.2 Dişli Çarklarda Kavrama Oranı ve Kayma Hızı Etkisi

Helisel dişlilerde en önemli karakteristik özelliklerden biri de kavrama oranı ve kayma hızıdır. Titreşim, gürültü, yük taşınımı ve verimlik üzerine etkisi bilinmektedir. Kavramanın başladığı ve bittiği noktalar arasında kayma meydana gelmekte ve C noktasında kaymadan yuvarlanma işlemi gerçekleşmektedir. Bu noktada hareket eden 2 dişlinin hızları eşittir. Kayma hızının yüksek olduğu kavrama başlangıç ve bitiş noktalarında kayma hızının yüksek olması nedeni ile diş dibine yakın yerlerde aşınmanın fazla olduğu görülmektedir. Bu sebeple kayma hızı hesabına dikkat edilmesi gereklidir (Kapelevich, 2016).

3.2.3 Helisel Dişli Hesabında Kullanılan Tanımlar ve Formüller

Helisel dişli hesabında kullanılan başlıca elemanlar çizelge 3.1.'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.1. Helisel dişli hesabında kullanılan elemanların tanımı.

Dişli Elemanı	**Simgesi**	**Tanımı**
Helis Ayar Açısı	β	Mil ekseni ile helisel eğri arasındaki açıdır
Helis Açısı	α	Bölüm dairesi açınım doğrusu ile helisel eğri arasındaki açıdır
Helis Adımı	Ph	Bölüm dairesi üzerindeki adımdır
Normal Modül	Mn	Çarkın diş doğrultusuna, dik kesit profiline ait modüldür
Normal Adım	Pn	Bölüm dairesinde, helis açısına dik oluşan adımdır. Normal adım, normal modül ile ilgilidir.
Alın Modülü	Mt	Çarkın alın yüzeyindeki diş profiline ait modüldür. Alın modülü, dişli çark bölüm dairesi çapının hesaplanmasında kullanılır.
Alın Adımı	Pt	Helisel dişli çarkın, alın yüzeyinde ve bölüm dairesi üzerindeki adımdır
Bölüm D. Çapı	d	Alın modülünü, diş sayısı kadar katlayan değerdeki çaptır
Diş Üstü D. Çapı	da	Dişli çarkın diş üstlerinin oluşturduğu çaptır.
Diş Dibi Çapı	df	Dişli çarkın diş diplerinin oluşturduğu çaptır.
Diş Sayısı	z	Dişli çarkın üzerindeki diş sayısıdır
Diş Genişliği	b	Dişli çark istikamet boyudur.

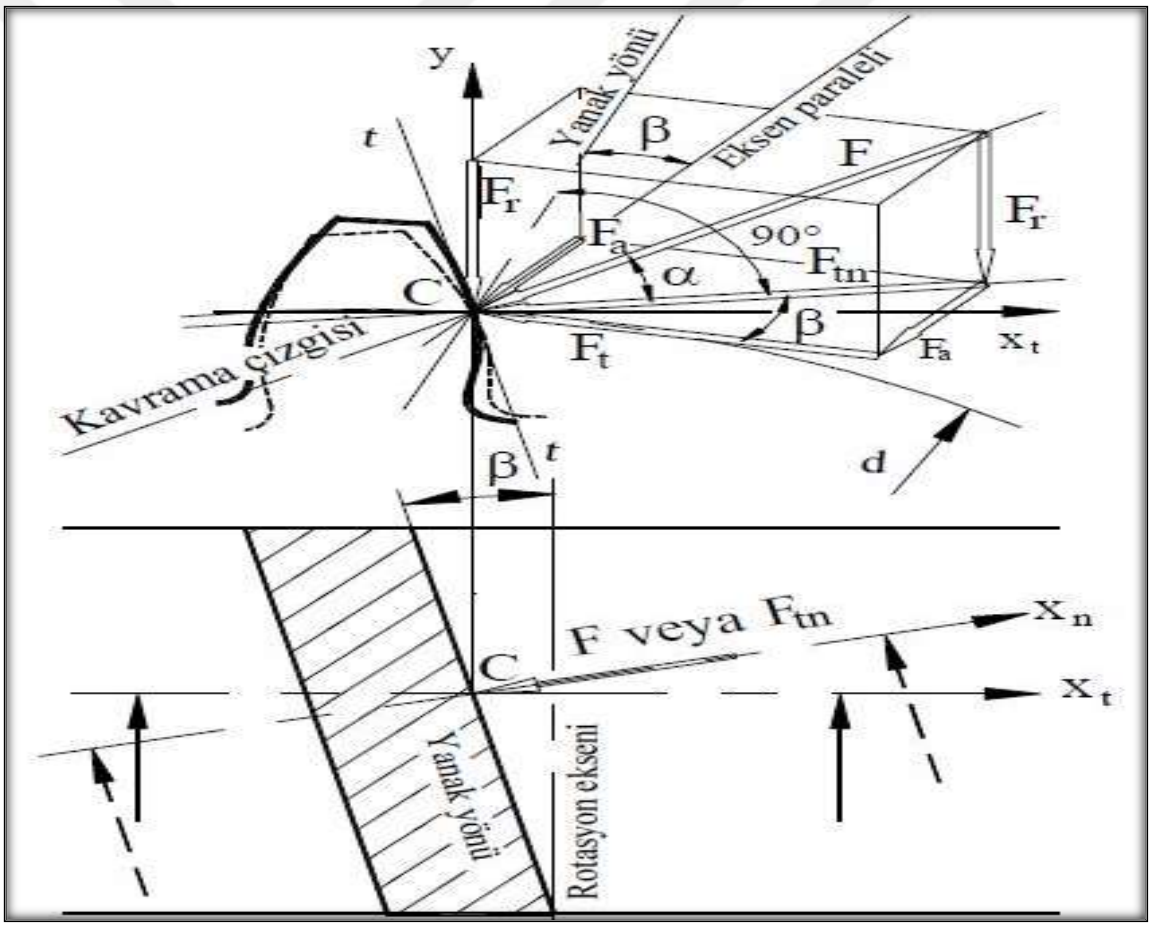
Helisel dişli hesaplamada kullanılan başlıca formüller Çizelge 3.2.'de simgeleri ve formülleri belirtilmiştir (Gülesin, M.; Güllü, A.; Buldum, B. B., 2003).

Çizelge 3.2. Helisel dişli hesabında kullanılan formüller.

Helisel Dişli Çark Elemanları	**Simgesi**	**Formülü**	**Formülü**	**Formülü**
Helis Ayar Açısı	Cos β	Cosβ =mn/mt	Cosβ=Pn/Pt	
Normal Adım	Pn	Pn=π*mn	Pn=Pt*Cosβ	Pn=πdCosβ/z
Alın Adımı	Pt	Pt=π*mt	Pt=Pn/Cosβ	Pt=πmn/Cosβ
Normal Modül	mn	mn=Pn/π	mn=mtCosβ	mn=dCosβ/z
Alın Modülü	mt	mt=Pt/π	mt=ma/Cosβ	mt=d/z
Bölüm Dairesi Çapı	d	d=mt*z	d=ma*z/Cosβ	d=z*Pn/πCosβ
Diş Üstü Çapı	da	da=d+2mn	da=mf*(z+2Cosβ)	
Diş Dibi Çapı	df	df=d-2,33*ma	df=mt(z-2,33Cosβ)	
Diş yüksekliği	h	h=2ma+c	h=2,167mt*Cosβ	
Helisel Adım	Ph	Ph=π*d*tan(90º-β)	Ph=π*d*Cotβ	Ph=π*d/tanβ
Diş Sayısı	z	z=d/mt	z=dCosβ/mn	
İdeal Diş Sayısı	Zi	Zi=z/cos³β		

3.2.4 Helisel Dişli Çalışması Sırasında Oluşan Kuvvetler

Helisel dişlilerde F kuvveti geldiğinde, döndürme işini yapan radyal kuvvet olan Fr kuvveti, eksenel yönde Fa kuvveti ve teğetsel kuvvet olan Ft (Şekil 3.4.) oluşmaktadır. Bu eksenel kuvvetin kötü tesirini yok etmek için karşı dişlisi zıt yönlü bir helisel dişli kullanılmaktadır. Sağ helisel olan bir dişlinin karşılığı sol helisel olan bir dişli olmalıdır. Helisel dişlilerin eksenel yüklerinin hesabının yapılması ve yükleri taşıyabilecek rulman seçimi ürün ömrü için önem taşımaktadır.

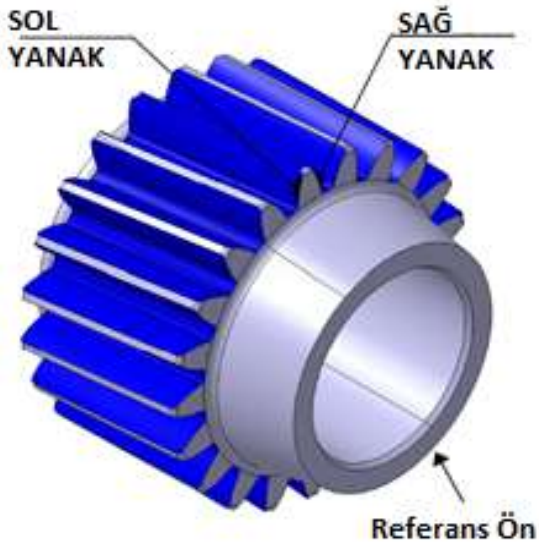


Şekil 3.4. Helisel dişli çalışması sırasında oluşan kuvvetler.

3.2.5 Helisel Dişlilerde Yanak Farklılıkları

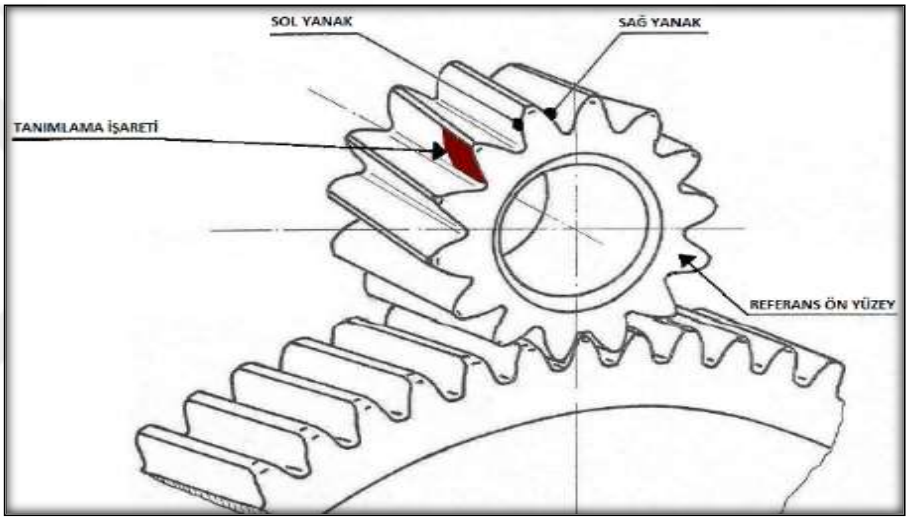
Dişlilerle yanak tanımlaması yapılması tasarım, imalat, ölçüm ve montaj açısından önem taşımaktadır. Dişlilerde sağ helis ya da sol helis olsun genellikle dişlilerin yanakları aynı dişli değerleri ile üretilir ve dişli yanaklarının da aynı çalışma özellikleri vermesi istenmektedir. Yani dişlerin profil ve istikamet değerleri aynıdır, dişler simetriktir. Çünkü dişlilerin her iki yanağı da çalışmaktadır. Ancak bazı tasarımlarda bu durum farklıdır. Örneğin boşluksuz çalışması istenilen bazı dişlilerin yanaklarında istikametleri açılı yapılmaktadır, bazıları ise istenilen dişli kalitesi bir yanakta mevcut iken diğer dişli yanağı için ihtiyaç göstermemektedir. Çünkü tasarıma göre dişli, tek yanaktan çalışmaktadır. Bu sebeple çalışacağı yere göre asimetrik yapılan dişliler de mevcuttur. Bu tarz değişkenlikler sağ ve sol yanakların tasarımda tanımlanması, imalatta kontrolü, ölçümde dikkat edilmesi gereken (parçanın ölçüm tezgâhına doğru yönde bağlanması ya da montajda doğru yönde takılması vb.) önemli noktalardır. Dişlinin istenilen değerlere göre üretimi bu tanımlamalar ile mümkündür.

Asimetrik dişliler bir dişin ön ve arka yüzeylerindeki evolvent profillerin farklı kavrama açıları kullanılarak ortaya çıkan tasarımlardır. Yük taşıma kapasitesinin arttırılması, düşük titreşim ve ses ile çalışma imkânı sağlamaktadır. Şekil 3.5.'de bulunan dişlide belirtilen referans yüzeyi dişli çarkın sol ve sağ yanağının tanımlamasını sağlamaktadır.



Şekil 3.5. Simetrik olmayan parçalarda referans düzlemine göre yanak tespiti.

Geometrisi simetrik olan parçalarda ise referans yüzeyi tespiti mümkün değildir. Bu sebeple imalat sonrası dişlinin imalatına göre referans yüzey ve sol yanak imalat tezgâhından çıkarken işaretlenmektedir. Bu işaret, referans yüzeyine göre sol yanağa bant yapıştırarak ya da çıkmayan keçeli kalem ile yapılmaktadır. Ölçümü yapacak kişi ya da montajı yapacak kişi parçanın sol ya da sağ yanağını bu şekilde bilmektedir. Şekil 3.6.'da görüldüğü gibi işaret referans alnına yakın ve sol yanağa konulmalıdır. İstikamet boyunca işaret, dişin hangi tarafında ise bu alın, referans alnı, hangi yanakta ise sol yanak olarak kabul edilir. Bu şekilde ölçüm tezgâhına yerleştirilir ve hatalı ölçüm yapmanın önüne geçilmektedir.



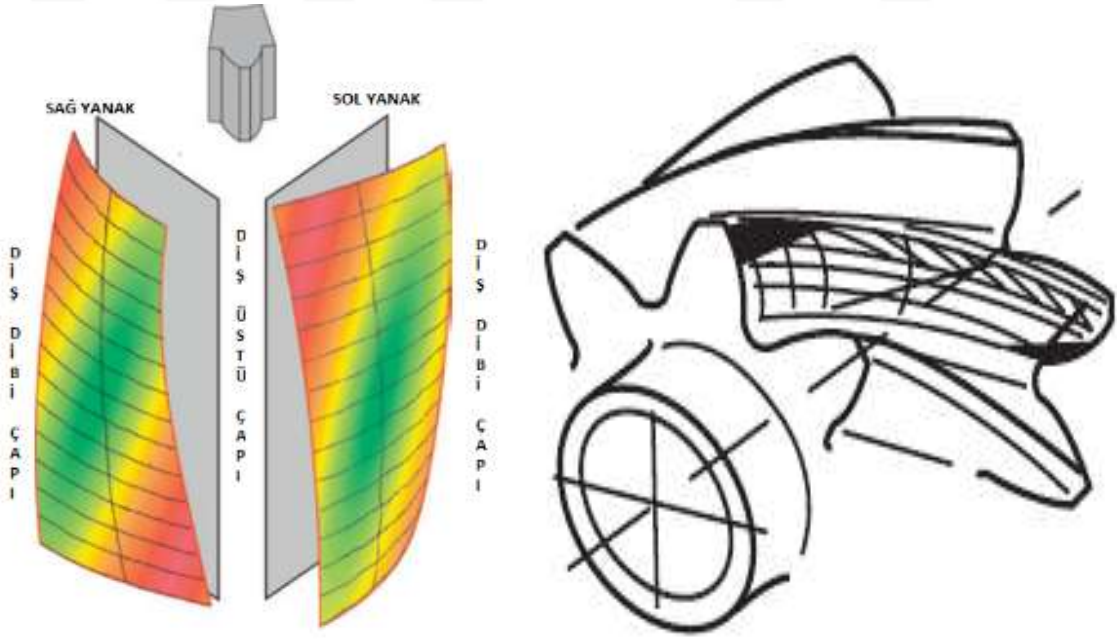
Şekil 3.6. Simetrik olan dişlilerde referans düzlemine göre yanak tespiti.

Dişlinin sol yanağının ya da sağ yanağının bilinmesi aynı zamanda parçanın dişleri asimetrik ise doğru montaj yapılmasını sağlamaktadır. Dişlinin çalışma yönüne göre sürüş (drive) ve boşta sürüş (coast) olarak tanımlanmasını sağlar. Yüklü sürüş (Drive), dişli kutusu içinde dişlilerin yükü taşıdığı ve güç iletiminin yapıldığı dişli yanaklarına verilen isimdir. Boşta sürüş (Coast), dişli kutusu içinde dişlilerin yük taşımadığı ancak hareket iletiminin devamını sağlayan dişli yanaklarına verilen isimdir. Belirtilen referans düzlemine göre ölçümü yapılan dişlinin sağ ve sol yanağı bellidir. Bu referans düzlemine göre tanımlaması yapılmış olan dişlinin bir yanağı yüklü sürüş diğer yanağı ise boşta sürüş adını almaktadır. Bu tanımlamalar ışığında parça üretimi ve doğru montaj yapılması sağlanmaktadır.

3.2.6 Helisel Dişlilerde Dişli Yanak Burulması

Dişlilerde 1970'li yıllarda tespit edilen bir durum olan dişli yanak burulmaları helisel dişlilerde görülmektedir. Helisel dişlilerin profillerinin ve istikametlerinin kesitlerinde diş genişliği boyunca aynı dişli değerlerinin olması gerekmektedir. Ancak dişli burulması durumu, dişlinin yanaklarında farklılık olması durumudur. Dişlinin bir ucunun saat yönünde diğer ucunun saatin ters yönünde bükülmesidir ve dişli temas noktasına etkisi olmaktadır. Bu durumun ana nedeni, kesici takımların dişli genişliği boyunca radyal hareket sonucu, istenilen kesme ve yuvarlanma hareketlerini yapamamasıdır. Bu sebepten dişli yanağının bazı kısımlarından eksik malzeme bazı kısımlarından fazla malzeme kaldırılmaktadır. Bu duruma helisel dişlilerde doğal dişli burulması adı verilir. Şekil 3.7.'de görüldüğü gibi dişli yanaklarının uç kısımları bükülmüş durumdadır (Turich, 2010).

Dişlinin genişliğinin çapından büyük olması yük altında dişlilerin burulmasına neden olabilir. Bu durum dişli yanağının helis yatıklığında ufak değişiklikler yapılarak önüne geçilebilir. Dişlide yüksüz yanak burulması durumunun, yük altındaki dişlideki yanak burulması durumu ile karıştırmamak gereklidir (Dudley, 1984).

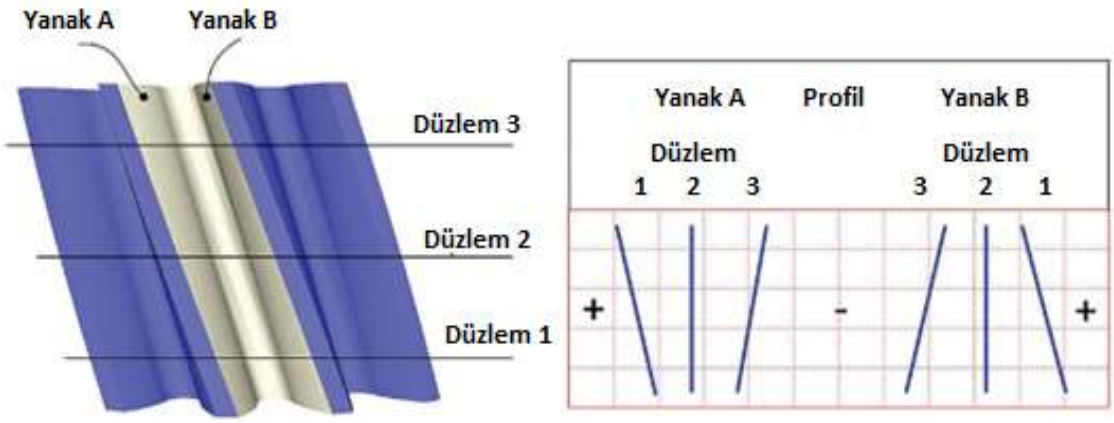


Şekil 3.7. Helisel dişlilerde diş yanak burulması.

Dişli burulmasını arttıran başlıca nedenleri şu şekilde sıralayabiliriz:

- Dişli çark üzerindeki diş sayısının az olması.
- Dişli modülünün büyük olması.
- Dişli helis açısının yüksek olması.
- İstikamet bombeliğinin yüksek olması.

Helisel dişlilerde dişli burulmasının anlaşılması için dişli ölçümünün grafiksel olarak yapılması gereklidir. Ölçüm, bölüm dairesinden ve diş genişliğinin ortasından yapılmaktadır. Fakat Şekil 3.8.'de görebileceğiniz gibi bölüm dairesi ve dişli genişliğinin ortasında bu durum fark edilmemektedir. Profiller istenildiği gibi görünmektedir. Çünkü dişli burulması dişli yanağı orta düzleminde olmamakta, orta düzlemden uzaklaştıkça artmaktadır. Bu sebeple dişli ölçümü Şekil 3.8'de görüldüğü gibi düzlem 1, düzlem 2, düzlem 3 olacak şekilde istikametin farklı yerlerinden ölçümler yapılarak tespit edilir. Beklenti 3 düzlemde de düzlem 2 gibi olmasıdır ancak düzlem 1 ve düzlem 3 şeklinde yatıklık olması bize bu dişlide dişli burulması olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.8. Helisel dişlilerde dişli yanak burulması tespiti.

Helisel dişlilerde Şekil 3.9.'da gösterildiği gibi diş yanak düzeltmeleri profil de diş üstü boşaltması, diş dibi boşaltması, bombelik ve açı ayarı, istikamette ise yan boşaltmaları, bombeliği ve açı ayarı gibi dişli temas noktalarının ayarı için gerekli düzeltmeler mevcuttur. Profil ve istikamet düzeltmeleri ayrı ayrı yapılabilir, bir parça üzerinde birkaçı ya da tümünün de uygulanması mümkündür (Graf, 2017).

Helisel dişlilerde dişli burulmasının oluşumu standart azdırma takımları kullanımı sonrasında da görülmektedir. Azdırma operasyonunda değişken açılı azdırma takımları kullanılması azdırma yapılmış dişlilerde dişli burulmasını minimizi etmektedir. Ancak final işleme yapılacak operasyonlarda da dişli burulması tekrar meydana gelebilmektedir (Yu-Ren Wu, 2016).

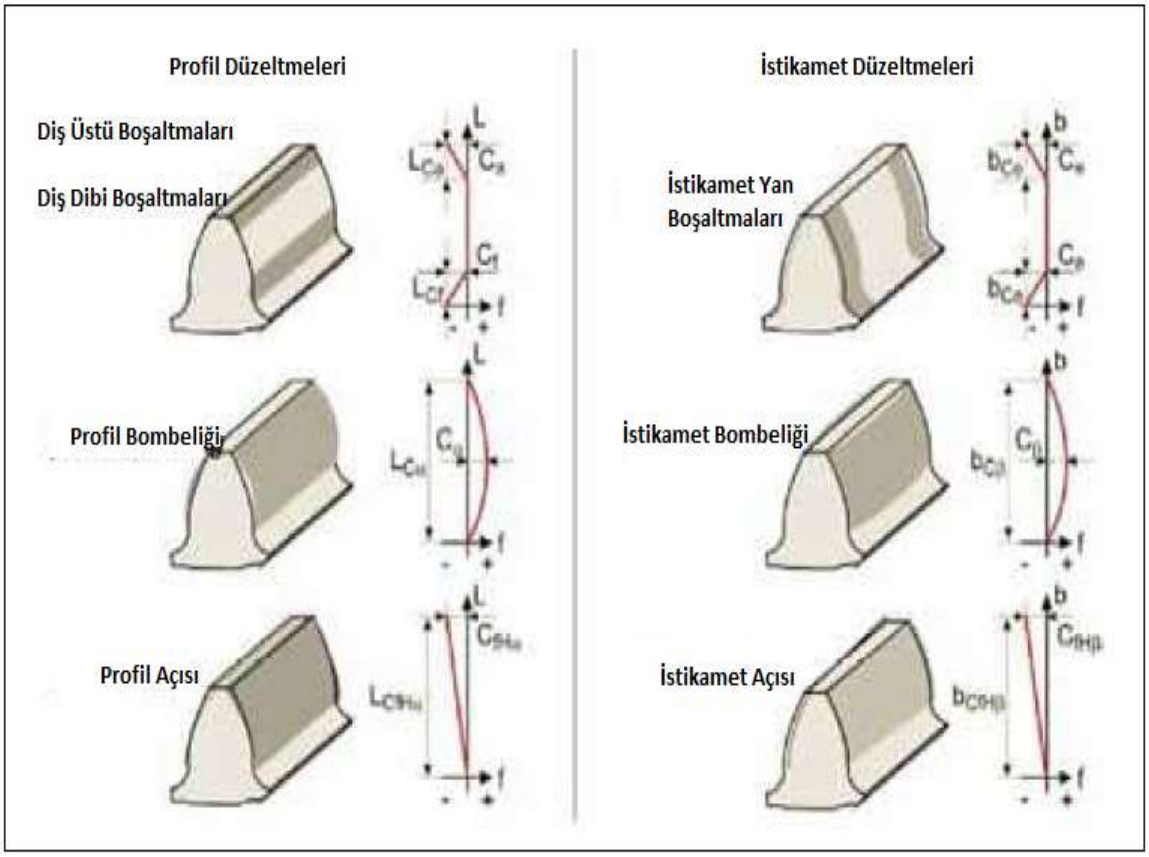
Yapılan araştırmalar ve çalışmalar gösteriyor ki hassas dişlilerde dişli burulması olayı yok edilmesi ya da yaşanmaması için final dişli taşlama yapılması gereklidir (Karpuschewski, 2008).

Günümüz teknolojisinde profil özellikleri takıma, istikamet özellikleri makine kabiliyetine bağlıdır. Ancak gelişen teknoloji ve özel çözümler, esnek uygulamaların da kapısını açmış durumdadır. Form yanak taşlama profil ve istikamet değişiklikleri için en esnek yöntemdir (Litvin,F.L., Gonzalez-Perez,I., Fuentes,A., Carvenali,L., Kawasaki,K., Handschuh,R.F., 2003).

Dişli taşlama sırasında taşlama taşına açısal farklılıklar verilerek de dişli yanak burulması salyangoz taşlı profil taşlamalarda da minimize edilebilmesi mümkündür. (Kobayashi, Y., Nishida,N., Ougiya,Y,. Nagata,H., 1995).

Helisel dişlilerde dişli yanağında düzeltmeler yapılırken istikametin işlenmesi sırasında profil özellikleri de daima etkilenmektedir. Takım ve dişli arasında temas çizgisi çapraz olmaktadır ve bu temas boyunca oluşan tüm noktalar aynı anda meydana gelmektedir (Weber, 2013). İstikamet bombeliğinin yapılması parabolik bir işlemdir. Dişli genişliği boyunca radyal ilerleme ve eksenel ilerleme aynı anda yapılmaktadır. Bunun sonucunda dişli genişliğinin ortasında istenilen profil ve istikamet değerleri oluşurken, istikamet başında bombelik nedeni ile diş dibinde en düşük nokta oluşurken diş üstünde en yüksek nokta oluşmaktadır. Bu durum istikamet sonunda diş dibinde en yüksek nokta oluşurken diş üstünde en düşük noktanın oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum dişli yanak burulmasını meydana getiren ana olaydır. Dişli burulma miktarı, profil açı sapması (fhα) miktarı ölçerek tespit edilebilmektedir (Turich, 2010). Helisel dişlilerde diş burulması 5 eksen profil taşlama tezgahlarında çift yanak taşlama metodu ile matematiksel modelleme yapmanın imkanı vardır. Makine hareketleri altı dereceden polinom ile formülize edilebilir ve dişli yanakları topografik inceleme ile tespit edilebilmektedir (Hu Zhang, 2014).

Dişli taşlamada uygun dişli yanağı elde etmek için tezgah eksen hassasiyetleri önemlidir. 3 çeşit ilave hareket mevcuttur. Radyal yaklaşma hareketi, iş parçasının döbme hareketi ve taşlama taşının teğetsel hareketidir. Bu ilerleme hareketlerinin birleşimi ile meydana gelen yanak taşlaması istenilen formu oluşturmaktadır (Ikeno & Yoshino, 1991). Bu 3 eksenel hareketten en fazla kullanılanı çift yanak taşlama metodunda yanaşma hareketidir. Tek yanak taşlama metoduna göre daha verimlidir ancak ilave yaklaşma hareketi istikamet bombeliği ile beraber dişli yanak burulması olayına sebep olmaktadır (Turich, 2010). İstikamet başında ve sonunda yapılacak boşaltmalar ile de dişli burulmasını azaltmak mümkündür. Salyangoz taş ile istikamet yönündeki boşaltmaları uygulayarak, dişli yanak burulmasını minimize etmenin başka bir yolu da mevcuttur (Mehr & Yoders, 2017).



Şekil 3.9. Helisel dişlilerde profil ve istikamet düzeltmeleri.

BÖLÜM 4

4. HELİSEL DİŞLİ MODELLEMESİ VE İMALATI

4.1.Helisel Dişli Modelleme

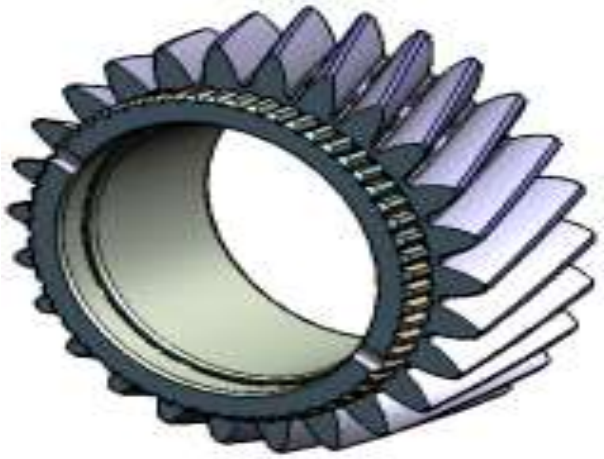
Bilgisayar ortamında üç boyutlu olarak çizilen parçalar katı model olarak adlandırılmaktadır. Ölçülendirilmesi ve malzemeleri doğru tanımlandığında gerçek parça özelliklerini yansıtabilmektedir. Oluşturulan katı modelden, hacim, ağırlık, ağırlık merkezi, kütlesel atalet merkezleri hesaplanabilmektedir. Kullanılan programın çıktısı olarak alınacak data her programda uyum göstermeyebilir. Ancak günümüzde kullanılan tasarım programları farklı formatlarda kayıt yapabilmesi ile bu problemin önüne geçmiş durumdadır. Bu tasarım programları yapılacak işe göre değişkenlik göstermekle birlikte çalışma yapıları farklı olsa dahi aynı katı modellemelerin tasarlanabilmesi mümkündür.

Yaptığımız bu çalışmada dişli tasarım programı olarak Solidworks kullanılmıştır. Tasarlanan bu dişlinin imalat aşamaları gösterilmiştir ve ölçüm raporları ile aralarındaki farklar belirtilmiştir. Dişlilerin aralarındaki farklar KissSoft dişli analiz programında incelenerek farklılıklarının dişli ömürlerine ve çalışma koşullarına etkisi incelenmiştir.

Modellemesi yapılan dişlinin iş akışı oluşturulmakta, proses risk analizleri yapılmakta, operasyon bazlı teknik resimleri hazırlanmaktadır. Tornalama, yağ kanalı açma, diş açma, ısıl işlem, iç çap ve alın işleme, dişli yanak taşlama operasyonlarına ait proses detayları oluşturulmaktadır. Bu iş akışına göre gerekli, takım, aparat, ölçüm ekipmanları ve işleme ekipman ihtiyacı sağlanarak üretime başlanmaktadır. Üretim sırasında gerekli ölçümler yapılarak kontrollü bir üretim yapılmaktadır.

Operasyon resimlerinde final resimlere göre farklılıklar mevcuttur ve bu farklar sonraki operasyonlarda kullanılacak ölçüler ya da talaş kaldırılacak final işlemeler için bırakılan paso miktarıdır. Operasyon sayfaları hazırlanırken operasyonun özelliğine ve

proses kabiliyetine göre değerlendirme yapılarak operasyon bazlı toleranslandırma yapılmaktadır. Belirlenen bu değerlere göre operasyon bazlı tezgâh başı ölçüm ekipmanları temini de sağlanmaktadır.



Şekil 4.1. Helisel dişli modellemesi.

Dişli tasarımında en önemli unsurlardan biri de dişlinin üretilebilirliğidir. Tasarımı yapılan Şekil 4.1.'deki dişliden istenilen özelliklerin sağlanabilmesi için kullanılan makine ve ekipmanların bu özellikleri karşılar nitelikte olması oldukça önemlidir. Çalışmamızda oluşturulan dişli bilgileri aşağıda yer almaktadır. Bu değerlere göre dişli üretimi gerçekleştirilmiştir.

Dişli kalitesi DIN (Alman Standartları Enstitüsü) 3960 – DIN 3961 – DIN 3962 – DIN 3963 standartlarında olması gereken değerler belirtilmiştir. Bu çalışmada istenilen dişli kalitesi DIN 7 olarak belirtilmiştir. Dişlilerin kullanım yerleri istenilen kalitelere göre değişkenlik göstermektedir. Gereğinden hassas dişli ilave maliyetini arttırır, yeterli kalitede olmayan dişli ise ürünün ömrünün düşmesine ve ürünün yerinde çalışma koşullarının uygunsuzluğuna neden olmaktadır. Bu sebeple Çizelge 3.3. dişli kullanım alanları için oluşturulmuştur (DIN 3961, 1978).

Çizelge 3.3. Dişli kalitesine göre kullanım alanları.

DİŞLİ KALİTESİ (DIN)											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Mastar dişli										
				Türbinler							
				Isı motorları							
				Gemi inşa							
					Buhar makineleri						
					Tekstil makineleri						
					Baskı makineleri						
						Aparatlar					
						Demiryolu					
						Kaldırma ve taşıma makineleri					
						Büro makineleri					
				Saat ve mekanik makineler							
		Takım tezgahları									
				Ölçü makineleri							
			Uçak sanaii ve uçaklar								
		Kamyon ve iş makineleri									
					Rayda hareketli makineler						

Tasarımı yapılan dişlinin dişli özellikleri aşağıdaki Çizelge 3.4.'de belirtilmiştir. Bu dişlinin katı modeli yapılmış, iş planı oluşturulmuş, imalatı yapılmıştır. Yapılan imalat sonucunda dişli ölçümleri yapılmış ve dişli burulması incelenmiştir.

Çizelge 3.4. Tasarımı yapılan helisel dişli bilgileri.

Özellik	Simge	Yüklü Sürüş	Boşta Sürüş
Dişli	Q	7	
Diş Sayısı	Z	26	
Modul	Mn	4,81	
Helisel Açı	β	21	
Helisel Yön	L	SOL	
Kavrama Açısı	α	22	
Bölüm Dairesi	da	133,957	
Temel Dairesi		122,939	
Diş Dibi Çapı	df	117,833	
7 Diş Arası Mesafe	Wk7	51,513±0.02	
Pim Üstü Ölçüsü	Ø9	147,049±0.05	
Yaysal Diş Kalınlığı		7,182	
Aktif Profil Başlangıcı	SAP	124,405	
Aktif Profil Bitişi	EAP	145,290	
Toplam Profil Sapması	Fα	18	18
Toplam Form Sapması	ffα	14	14
Profil Yatma Sapması	fhα	±10	±10
Profil Bombeliği	Cα	10	10
Toplam Helis Sapması	Fβ	18	18
Helis Form Sapması	ffβ	12	12
İstikamet Bombeliği	Cβ	85	30
		60	15
Helis Yatma Sapması	fhβ	-60	40
		-95	10
Tip Relief	fk0	80	80
		70	70

Malzeme seçimi dişlinin ömrünü, dayanımını ve çalışacağı yerdeki performansını etkilemektedir. Bu sebeple dişli çark mekanizmalarında geniş kullanım alanına sahip olan DIN 20MnCr5 (Çizelge 3.5.) malzemesi seçilmiştir. Bu malzeme seçiminde etkin faktörlerden bazıları mekanik özellikleri, fiyat, bulunabilirlik, temin süresi, malzemenin ısıl işlem yapılabilirliği gibi etkenlerdir. Malzeme numarası 1.7147 olup SAE (Otomotiv Mühendislik Standardı) standardında 5120 olarak AFNOR (Fransa Komitesi Standardı) 20MC5 adlandırılmaktadır. Bu malzeme C: 0.17-0.22 aralığında karbon içermesi nedeni ile düşük karbonlu çelik sınıfına girmektedir. Yapısında Simax:0.4, Mn: 1.1-1.4, Pmax: 0.25, Smax: 0.035, Cr: 1-1.3 bulundurmaktadır. (Güventürk, 1990)

Çizelge 3.5. Helisel dişli malzeme mekanik özellikleri.

Özellik	**Birim**	**DIN 20MnCr5**
Yoğunluk	kg/m3	7.7-8.03
Elastisite Modülü	GPa	190-210
Çekme Dayanımı (Rm) (Ø11)	MPa	1080-1370
Akma Sınırı (Re) (Ø11)	MPa	735
Kopma Uzaması Lo=5Do	Mm	7
Poisson Oranı		0.27-0.3
Diş Sertliği–Yüzey/İç	HV	610/350
Kimyasal Bileşim (% ağırlık)		C: 0,17-0,22, Simax: 0.4, Mn: 1.1-1.4, Pmax: 0.25, Smax: 0.035, Cr: 1-1.3

4.2 Helisel Dişli Üretim Operasyonları

İş akışının oluşturulması parçanın imalatta operasyonlar arası takibinin sağlanması ve bu akışın standartlaştırılması anlamını taşımaktadır. Operasyon iş akışı (Şekil 4.2.) oluşturulduktan sonra ürün üretilmekte ve bu proses kalite güvence birimi ve müşteri tarafından onaylanmaktadır. Bu akışın değiştirilmesi müşteri onayı sonrası yapılabilmektedir.



Şekil 4.2. Örnek dişli iş akışı.

4.2.1 Tornalama

İş parçasının döndürülerek, kesici takımın doğrusal hareketi ile talaş kaldırılması işlemidir (Şekil 4.3.). Dişlilerde tornalama işlemi ahşap, plastik, çelik çubuktan boşaltma, dövülmüş malzeme ya da döküm malzemenin işlenmesi sonucu yapılabilmektedir. Üretimini yaptığımız dişli 20MnCr5 malzemeden yapılmakta olup, Ø130 mm çelik malzeme dövme kalıbında form verilmiştir ve normalize işlemi yapılmıştır. Normalize işleminin amacı, çeliği döverek şekillendirme sırasında, gerilim yüklenen malzemenin üzerindeki gerilimin ortadan kaldırılması, malzeme içinde oluşabilen karbür, beynit gibi işlemeyi zorlaştıran yapıların kaldırılması ve ince taneli homojen bir yapının kazandırılarak işleme kolaylığının sağlanmasıdır. Dövülmüş hammadde olarak parçanın şekil verilmesi, talaş olarak atılacak fazlalık malzemenin işlenmesini azaltmak, işleme kaynaklı parçada meydana gelecek gerilim miktarını azaltmak, takım, enerji ve işçilik sarfiyatını azaltmak amaçlıdır. Elimizdeki dövülmüş hammaddenin her yeri işleneceğinden, hammaddenin 2 bağlamada tornalama işlemi yapılması planlanmıştır.

Ø150 mm olarak dövülmüş olan hammaddenin final parçaya göre işleme yüzeylerinde 2 mm paso olacak şekilde pay bırakılmaktadır. Proses önemine göre azdırma ve spline açılacak olan yüzeylerin oturma yüzeyleri iç çap ile aynı bağlamada tornalama yapılmaktadır. Bunun sebebi diş açma sırasında dişlerde salgı ve diklik hatası oluşmaması içindir. Torna 2.Bağlamada 1.bağlamada işlenen dış çaptan parça tutulmakta ve dövülmüş hammaddenin işlenecek olan diğer kısımları işlenmektedir. Bu şekilde parçanın eş merkezliliği bozulmamaktadır.



Şekil 4.3. Tornalama operasyonu.

4.2.2 Yağ Kanalı Açma

Yağ kanalı açma işleminde açılacak olan form dövme kalıbından getirilebileceği gibi işlenerek de açılabilmektedir. Yağ kanalı (Şekil 4.4.), çalıştığı yerde dişlilerde ısınmayı ve aşınmayı önlemek amaçlı yağ geçişlerinin sağlanması için kullanılmaktadır. Yağın çalışan dişliler arasına uygun şekilde gelmesi, dişli ömrünü ve dişlinin sessiz çalışmasını etkileyen bir uygulamadır. Dişli yanakları üzerinde film tabakası oluşturarak aşınmayı ve çalışma sırasında meydana gelen ısınmayı sistemden uzaklaştırmak için kullanılmaktadır. T Freze takımı, formlu parmak freze ya da küresel freze takımı ile yatay ya da dik işleme tezgâhlarında yapılan bir işlemdir. İstenilen özel kanal formuna göre torna tezgâhında açılan yağ kanalları da mevcuttur.



Şekil 4.4. Yağ kanalı açma operasyonu.

4.2.3 Planyalama Yöntemi ile Spline Diş Açma

Dişlilerde diş açma yöntemlerinden biri de planyalama yöntemi ile diş açmadır. İmalat süresi uzun olması nedeni ile geometrik şekli açısından azdırma takımının açamadığı dişlerin açılmasında kullanılmaktadır. Örnek dişlimizde spline açmak için azdırma takımının yanaşamaması nedeni ile planyalama takımı ile spline açılma işlemi yapılmaktadır. Şekil 4.5.'de parçanın döner tabla üzerine bağlanarak takım ile senkronize hareketi sonucu parça üzerinde diş açılması yapılmaktadır. Spline, açılı spline, düz dişli, helisel dişli, kama kanalı açılması bu operasyonda mümkündür.

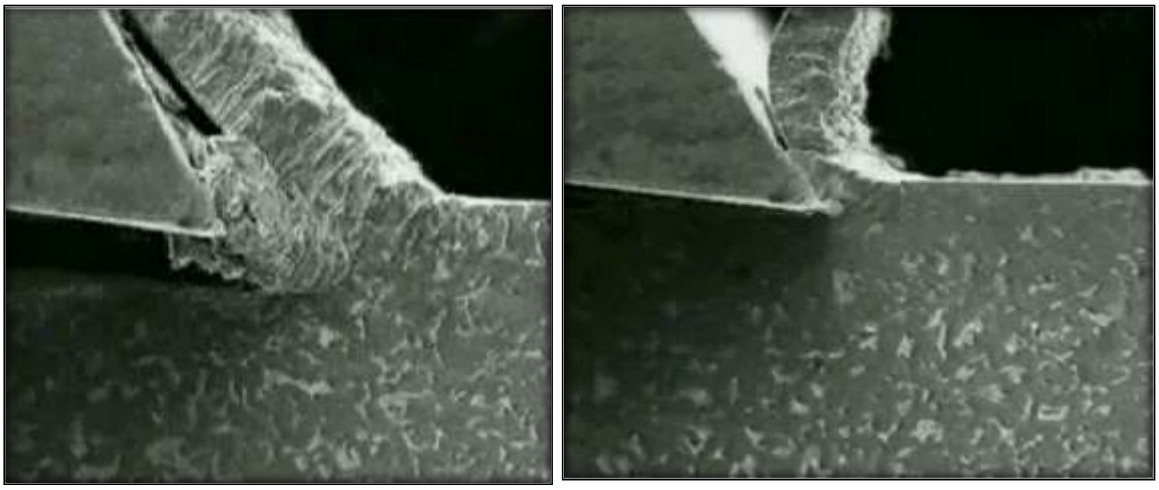


Şekil 4.5. Planyalama yöntemi ile spline diş açma.

4.2.4 Azdırma Yöntemi ile Diş Açma

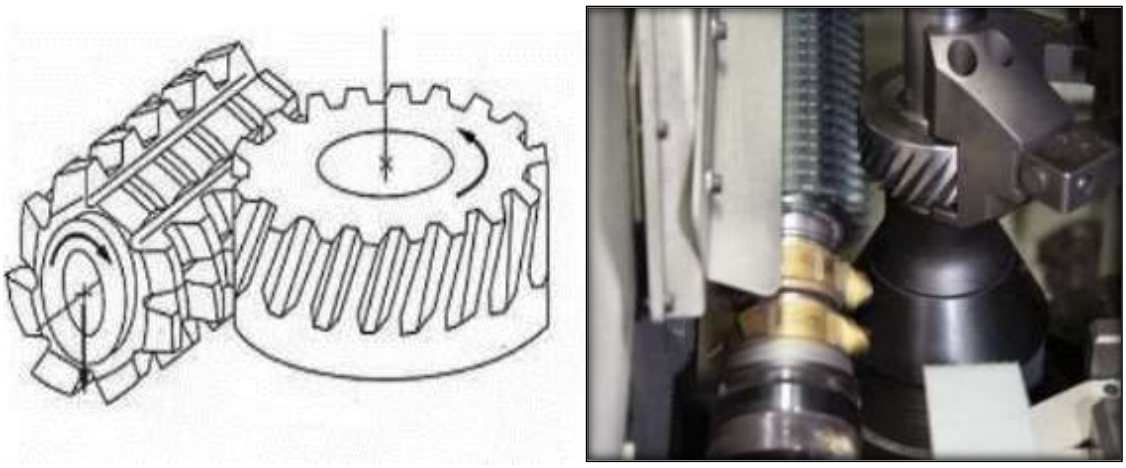
Dişlilerde diş açma yöntemlerinden biridir. Dişliye özel bir forma ait olan takımın iş parçası ile senkronize dönerek ve takımın iş parçasından talaş kaldırarak formunu vermesi işlemidir. Dişli için kaba diş açma operasyonudur.

Kullanılan azdırma tezgâhları diş açma için prosese özel tezgâhlar olup, takım ve aparatları parçaya özel olarak tasarlanıp imal edilmektedir. Takımları modül freze de kullanılabildiği gibi genellikle Şekil 4.7.'de görünen helis şeklinde yapılan takımlardır. Bu takımlar HSS veya karbür takımlar olabilmektedir. Takımlar uzun ömürlü takımlar olması nedeni ile bileme yapılarak defalarca kullanılabilmektedir. Takım bileme alından 0,3mm ortalama talaş kaldırılarak yapılmakta ve yaklaşık 20 defa bileme yapılabilmektedir. Bu değerler takımın aldığı hasara, yıpranmasına, modül, talaş derinliği ve kesme parametrelerine göre değişkenlik gösterebilmektedir. Takım ömrünü arttırmak amaçlı takım malzemesini koruyan kaplama (CVD & PVD) çeşitleri mevcuttur. Çevreye zararsız, daha kolay uygulanabilir ancak daha maliyetli olan PVD (Physical Vapor Deposition) uygulaması, CVD (Chemical Vapor Deposition) yerine daha çok tercih edilen bir uygulamadır. Kaplama yapılan takımlar ile çok daha fazla parça kesilebildiğinden tüm takım firmaları tarafından tercih edilen bir uygulamadır. Şekil 4.6. kaplamalı ve kaplamasız takımlar üzerindeki talaş yapışması gözlemlenebilmektedir.



Şekil 4.6. Kaplamasız ve kaplamalı takım farkı.

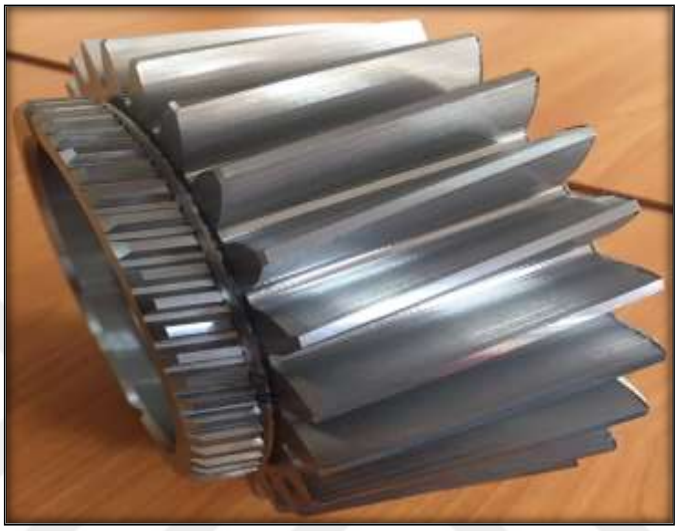
Dişli açılacak olan iş parçasının çapının ve genişliğinin her parçada farklı olması nedeni ile parçaya özel aparat yapılması gerekmektedir. Hızlı ve kaliteli parça kesilebilmesi için yapılan aparatın rijit ve gelecek olan kuvvetler karşısında esnememesi gerekmektedir. Bu sebeple her dişliye özel aparat tasarımı ve imalatı yapılmaktadır.



Şekil 4.7. Azdırma yöntemi ile diş açma operasyonu.

Azdırma tezgâhlarında kuru kesim ve yağlı kesim yapılması mümkündür. Ancak bu şartları sağlayacak tezgâh özelliklerinin olması şartı aranmaktadır. Yaş kesimlerde kesme hızları daha düşüktür ve yağ sarfiyatı mevcuttur. Ortamda yağ buharının olması

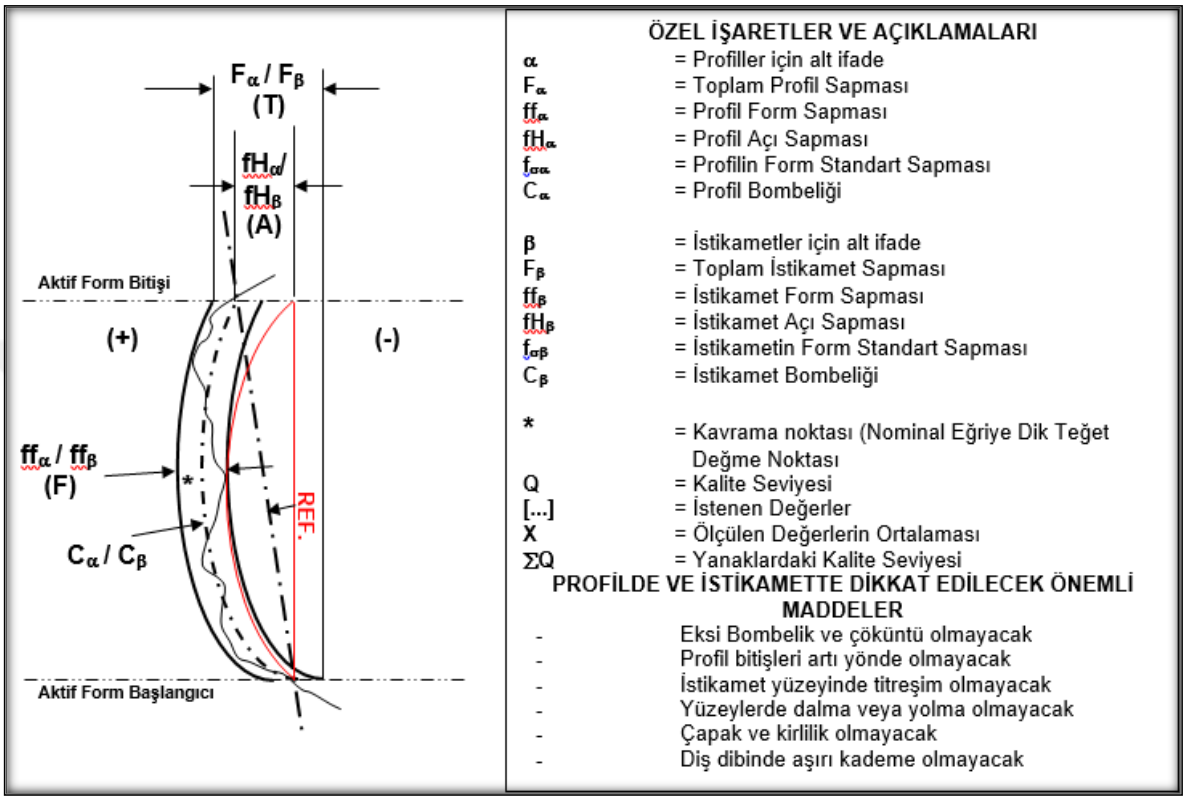
çevre kirliliğine neden olmaktadır. Kuru kesimlerde yağ kullanımı olmaması nedeni ile talaş uzaklaştırılması hava ile yapılmaktadır. Ancak yüksek sıcaklığa ulaşan talaşlar tezgâh içinde ısının yükselmesine ve tezgâh gövdesinin ısınmasına neden olmaktadır. Bu sebeple dişli ölçülerinde değişkenlik olabilmektedir. Bunun önüne geçmek için yüksek kesme hızlarında çalışılıp, hava ile düşen çapakları uzaklaştırıp operasyonun oldukça kısa sürede bitirilmesi önem taşımaktadır.



Şekil 4.8. Dişleri açılmış örnek dişli.

Örnek dişli olarak Şekil 4.8.'de görünen dişli yaş kesim ile kesilmiştir. Bu operasyonda kaba diş açma işlemi yapılmıştır ve önemli olan kısımlar dişlinin salgısının düşük olması, diş kalınlık ölçüsü olan pim üstü ölçüsünün istenilen değerler içinde olmasıdır. Azdırma operasyonundan gelen adım hataları, salgı, profil ve istikamet hataları ısıl işlem operasyonunda oluşan deformasyonlar profil taşlama işlemi için önem kazanmaktadır. Şekil 4.10.'da bu hataların azdırma sonrası ne kadar olduğu tespit edilmektedir. Bu hataların artması, profil taşlama sırasında taşlama taşına gelen ilave malzemenin artmasına neden olmaktadır. İlave malzeme parçada taşlama yanığına, kılcal çatlaklara neden olabilmektedir. Pim üstü ölçüsünün resme uygun olması demek, profil taşlama operasyonu için kalacak olan pasonun miktarının uygun olması anlamına gelmektedir. Ancak sadece pim üstü ölçüsünün yeterli olması kaldırılacak paso miktarını belirlememektedir. Dişli hataları da kaldırılan paso miktarında değişkenliğe neden olabilmektedir.

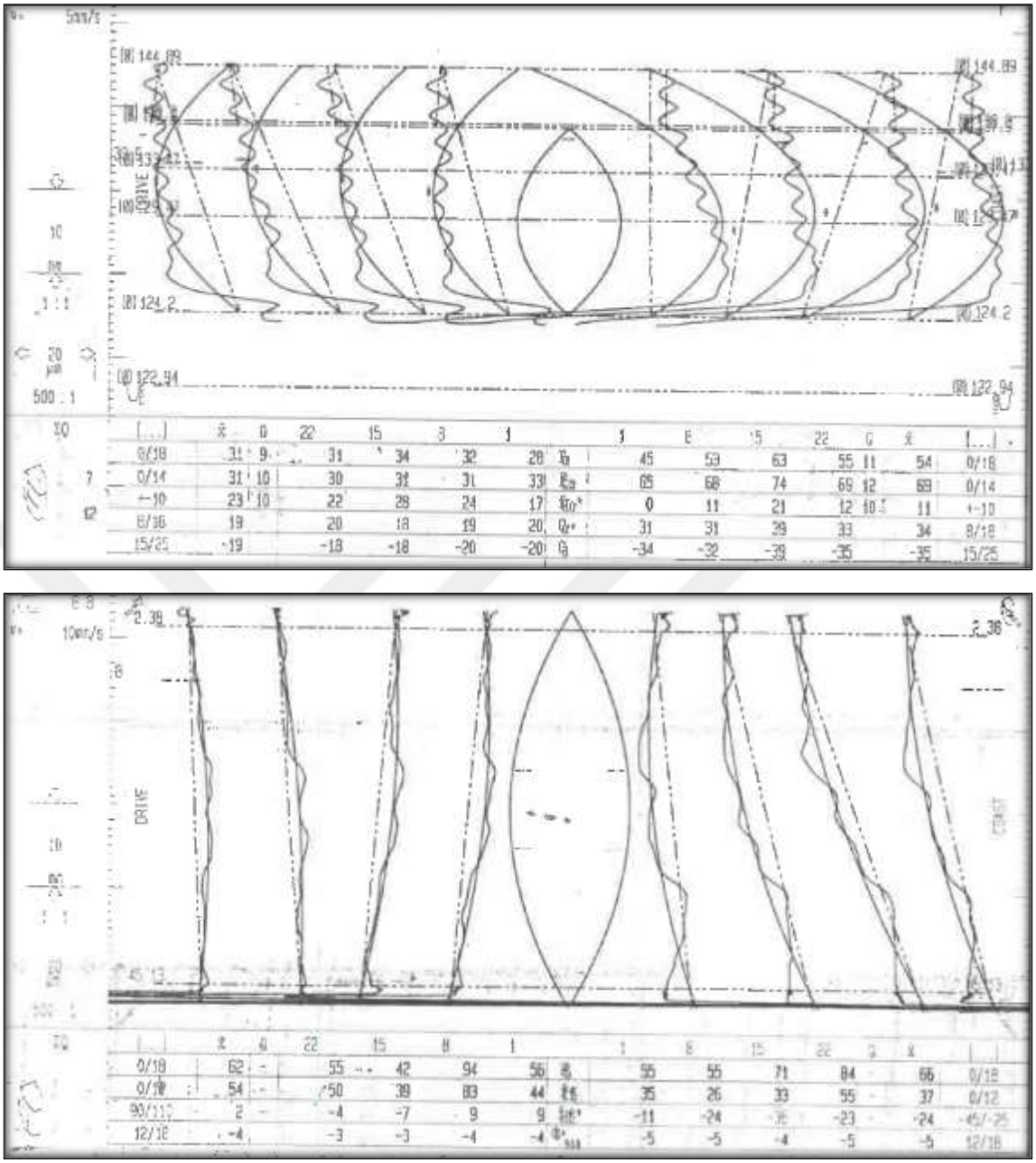
Dişli taslağına diş açtıktan sonra yapılması gereken ilk iş parçanın ölçümünün yapılması ve doğru iş yapılıp yapılmadığının anlaşılmasıdır. Bunun için ilk önce grafik okunması için gerekli olan terimler bilinmelidir. Şekil 4.9.'da dişli grafik okunması için gerekli olan bilgiler bulunmaktadır.



Şekil 4.9. Dişli ölçüm grafiği terimleri.

Grafik değerlendirmesi yapılırken profil ölçümleri α ile gösterilmektedir ve takımın verdiği değerleri göstermektedir. Takımın salgısı, adım hatası, profillerindeki açısal hatalar profil grafiğine yansımaktadır.

İstikamet değerlendirmesi ise β ile gösterilmektedir. Tezgâh bağlantıları ile ilgili kısımlar üzerinde fikir verir. Tezgâh, aparat titreşimleri, aparatın hatalı bağlanması, taslak parçanın paralellik hatası, diklik hatası, çap hatasına kadar ortaya çıkmasını sağlar. Azdırma kesimlerinde profillerde form verilmez. Form verme işlemi raspalama ya da profil taşlama gibi daha hassas operasyonlarda verilmektedir. Ancak istikamet yönünde konik kesim ya da istikamet yatıklığı ile parça kesmek mümkündür.



Şekil 4.10. Azdırma operasyonu ölçüm grafiği.

4.2.5 Çapak Alma

Dişli açma operasyonu sonrası dişlilerde çapak adı verilen talaş kalıntıları olmaktadır. Bu talaşların temizlenmesi gerekmektedir. Dişli kenarlarına pah kırılması dişlinin sessiz çalışması açısından önem taşımaktadır. Bu sebeple çeşitli ekipmanlar ile Şekil 4.11.'deki gibi taş ile çapak alma işlemi yapılmaktadır. Çapak alma işlemi azdırma tezgâhına Şekil 4.12.'deki gibi ek takım takılarak da yapılabilmektedir. Bu takımlandırma için tezgâh yazılımının da mevcut olması gerekmektedir.



Şekil 4.11. Çapak alma operasyonu.



Şekil 4.12. Azdırma tezgâhı üzerinde çapak alma.

4.2.6 Isıl İşlem Operasyonu

Dişliler işlendikleri şekilde uzun ömürlü çalıştırılmaları mümkün değildir. Yüksek kuvvetler ve dönme torku altında plastik şekil değişikliğine uğramaktalar. Bu sebeple yüzey özelliklerini iyileştirmek, mukavemetlerini arttırmak, korozyona karşı direnç kazandırmak ve aşınmalarını engellemek amaçlı sertleştirme işlemi uygulanmaktadır. İndüksiyon ile sertleştirme, nitrasyon ile sertleştirme, karbonlama, vb. gibi malzeme yapısı, istenilen mekanik özelliklere göre çeşitli malzeme sertleştirme yöntemleri mevcuttur. Bu çalışmamızda 20MnCr5 malzeme için, atmosferik fırında karbonlama

yöntemi ile yüzey sertleştirme işlemi uygun görülmüştür. Ürünün yüzeyinden 0,9-1,3 mm kadar doku derinliği ve yüzeyde 59-62 HRC sertlik oluşacak şekilde malzemeye karbon takviyesi yapılarak sertleştirme yapılmıştır.

Isıl işlem fırınlarında parçalar Şekil 4.13.'deki gibi aparatlara dizilmiştir. Parçalar fırına rastgele değil, bir dizim şekline göre ve aralarında belli boşluklar olacak şekilde dizilmektedir. Aparatlara dizim konusu dişlinin deformasyona uğramaması açısından önemlidir. Bazı parçalar sepet için yatay konabilirken bazı parçalar çubuklara dizilmelidir. Bazı parçalar birden fazla çubuk ile desteklenirken bazı parçalarda ise açılı dizim söz konusudur. Parçanın geometrik yapısı, fırında kalacağı süre, fırının kapasitesi ve ısıl işlem yapabilme özelliği, fırına yüklenen parça sayısına kadar yükleme işlemi önemlidir. Fırına yerleştirilen parçalara yaklaşık 2 saat kadar ön ısıtma uygulanmaktadır. Bunun nedeni parçaların belli bir sıcaklığa kontrollü olarak ulaşmasıdır. Ön ısıtma sonrası 870°C – 920°C arasında semantasyon işlemi uygulanmaktadır. Talep edilen doku derinliğine göre semantasyon süresi uzamaktadır. Semantasyon sonrası difüzyon ve yağda soğutma işlemleri vardır. Soğuma sonrası parçalar meneviş adı verilen, düşük sıcaklıkta (150ºC ila 450ºC) gerçekleşen, yağda soğutma sırasında oluşan gerilim, gevreklik gibi durumları ortadan kaldıran ve parçaların özelliklerini iyileştiren ısıl işlem türü uygulanmaktadır. Meneviş sonrası parçalara ince taneli bilyalar ile ısıl işlem kirliliğini gidermek için kumlama adı verilen operasyon uygulanır.

Bazı parçalarda meneviş sonrası doğrultma operasyonunda doğrultma işlemi başarılı olamamakta ve bu sebeple bu tür parçalarda ısıl işlem sonrası doğrultma ve ardından meneviş yapılmaktadır. Bu malzemenin direnci ve menevişin gerilim giderici özelliğinden kaynaklanmaktadır. Aynalarda, çember dişlilerde, ince cidarlı dişlilerde de semantasyon sonrası döner fırın ve pres altında basıldıktan sonra meneviş operasyonu yapılmaktadır. Bu şekilde ısıl işlemde meydana gelen deformasyonlar azaltılabilmektedir.



Şekil 4.13. Isıl işlem operasyonu.

4.2.7 İç Çap ve Alın Taşlama

Isıl işlemde sertlik kazanan parçalar, nihai resme uygun olacak şekilde son operasyonlardan geçirilerek Şekil 4.14.'de görüldüğü gibi final resim ölçülerine getirilmektedir. Üretimini yaptığımız dişlilerde iç çap taşlama ve alın taşlama operasyonu aynı bağlamada arka arkaya yapılmaktadır. Bunun nedeni, iyi bir dişli üretimi için profil taşlama operasyonuna, iç çapa göre alın dikliğinin 0,015mm yi geçmeyen parçalar gelmelidir. İç çapın taşlanarak işlenmesinin sebebi yüzey kalitesinin iyi olması ve herhangi bir işleme izinin istenmemesidir. İç çap operasyonunda yüzey kalitesinin iyi olması, işleme süresine, talaş miktarına, kullanılan taşın kalitesine, taşın bileme frekansına, tezgâh titreşimlerine ve kullanılan soğutma yağının kalitesine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

İç çap, dış çap, alın taşlama ya da profil taşlama proseslerinde en önemli konulardan biri taşlama yanığının olmamasıdır. Taşlanan yüzeyde fazla paso, atılamayan talaş ya da taşın dolması ile oluşan ısı uzaklaştırılamaması durumunda ısının yükselmesi ile taşlanan yüzeyde oluşan ısı, yüzey sertliğinin düşmesine neden olmaktadır. Parçanın çalışma performansını düşürmektedir. Ürün ömrünü olumsuz etkileyen bu durum, uygun taşlama taşının kullanılmaması, uygun soğutma sıvısının kullanılmaması, soğutma sıvısının kesme noktasına yeterli miktarda ulaşmaması veya debisinin yetersiz oluşu, bileme frekansının uygun olmaması, taşlama pasosunun olması gerekenden fazla olması,

yanlış parametreler ile taşlama yapılmasının sonucudur. Çalışma şartlarının doğrulanması için ölçüsel olarak değerler yakalandıktan sonra ilk parçaya yanık kontrol testi yapılmalıdır. MPI test (Magnetic Particle Inspection) ile kılcal çatlak (taşlama çatlağı) oluşup oluşmadığı da kontrol edilmelidir.



Şekil 4.14. İç çap ve alın taşlama operasyonu.

4.2.8 Sert Tornalama

İç çap ve alnı taşlanmış olan dişlinin diğer alnı istenilen ölçülere getirilmesi ve diğer alına göre paralel olması için yapılan bir operasyondur. Taşlama operasyonuna göre daha hızlı bir operasyondur ancak Şekil 4.15.'de kullanılan CBN (Cubic Bor Nitrur) nedeni ile maliyeti daha yüksektir. Bu operasyonda alın ölçüsünün sağlanmasının dışında iç çapa göre diklik ve diğer alına olan paralellik profil taşlama operasyonu içinde önemlidir. Masuralı rulman, keçe kullanılan yerlerde sert torna yapılması tercih edilmeyen bir durumdur. Torna kalem izlerinin yüzeyde kalması nedeni ile keçelerde yağ kaçakları ve masuralı rulman ömründe azalmaya neden olmakta ve ürün ömrü azalmaktadır.

Çalışma yaptığımız dişlide iç çap ve alını beraber işlemişti. İşlenen iç çaptan tutarak diğer alının paralelliğini ve iç çapa göre dikliğini sert torna operasyonunda sağlamaktadır. Sert torna operasyonu taşlamaya göre daha esnek bir operasyondur. Parçanın birçok noktası aynı bağlamada, ayar değiştirmeden, hızlı bir şekilde farklı takım ve formlarda hassas olarak işlenebilmektedir. Tezgâh hassasiyeti, aynada boşluk

olmaması, çenelerin uygun şekilde işlenmesi, tarette boşluk olmaması, uygun takım ile kısa sürede doğru parça elde etmek mümkündür.



Şekil 4.15. Sert tornalama operasyonu.

4.2.9 Dişli Profil Taşlama

Dişli profil taşlama işlemi 2 yöntem ile yapılmaktadır. Dişli taşlama Şekil 4.16.'da görülen form taş ile yapılan dişli profili taşlama işlemi ve Şekil 4.17.'de görülen salyangoz taş ile yapılan dişli profil taşlamadır. Form taşla profil taşlama tezgâhları daha esnek tezgâhlardır, DIN 2 kaliteye kadar parça işleyebilmektedirler. Mn:5 üzeri dişlilerin taşlamasında modüllerin büyük olması nedeni ile tercih edilmektedirler ancak taş bileme süreleri ve parça işleme süreleri uzundur. Bu operasyonlarda kum taş yerine elmas kaplamalı özel takımlarda kullanılması mümkündür. Elmas kaplamalı takımların özelliği periyodik bileme ihtiyacının olmamasıdır. Takımın aşınması durumunda tekrar kaplama işlemine tabii olmaktadır. Taşın özellikleri CBN, Seramik, kum taş olması prosese göre, mevcut tezgâh ve parçanın geometrik şekline göre değişkenlik gösterebilmektedir. Dişli profil taşlama işlemi azdırma dişli açma operasyonunda diş yanağında bırakılan talaşın kaldırılması ile yapılmaktadır. Dişli yanağında azdırma operasyonunda profil taşlamaya 0,1-0,18 mm kadar taşlama pay bırakılmaktadır. Bu dişlinin modülüne, çapı ve ısıl işlemde meydana gelebilecek deformasyona bağlı olarak azalıp arttırılabilmektedir.

Bizim örnek parçamız NİLES ZE400 tezgâhında tek taş yöntemi ile profil taşlama yapılmıştır. 70 Kum SG taş kullanılarak yüzey kalitesi Ra 0.418 olarak sağlanmıştır. Dişlinin bölüm dairesinde ölçüm yaptığımızda dişli kalitesi DIN 7 değerlerde olduğu görülmektedir.



Şekil 4.16. Form taşla dişli profil taşlama operasyonu.

Profil taşlamalarda kullanılan taşın kum sayısı yüzey kalitesi üzerinde etkisi vardır. Kum sayısı arttıkça yüzey kalitesi iyileşmektedir. Ancak bileme frekansı ve taşlama yanığı riski taşın erken talaş ile dolması sonucu artmaktadır. Taşın rengi ise, taşın kum taneciklerini bağlayan bağlayıcının özelliklerini temsil eder. Prosese göre taşın sert ya da yumuşak olması, dökülmesi bağlayıcıların özelliklerindendir. Taşlama yanığı üzerine etkisi mevcuttur. Bağlayıcıların dayanabilme miktarına göre kesme hızı

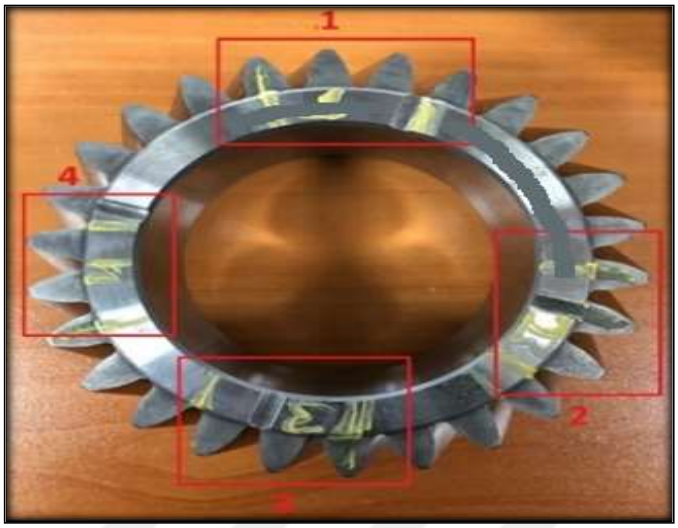
değişkenlik gösterebilmektedir. Bu durum enerji, işlem süreleri, işçilik ve ürün maliyetlerini de etkilemektedir.



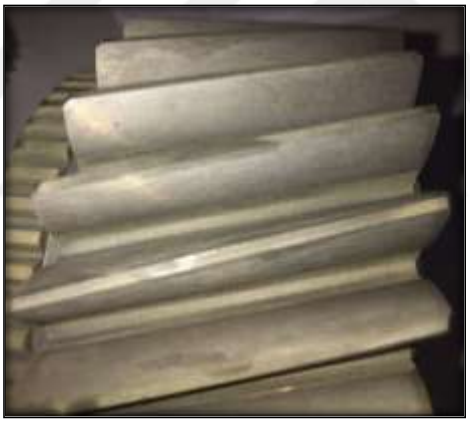
Şekil 4.17. Salyangoz taşla dişli profil taşlama operasyonu.

Şekil 4.18.'de profil taşlama yapılan parçanın, proses uygunluğu yanık kontrol testi ile yapılmaktadır. Yağdan arındırılmış parça, nitrik asitin etil alkoldeki %5 çözeltisinde 4 dk bekletilmektedir. Soğuk su ile parça durulanmakta ve hidroklorik asitin etil alkoldeki %10 çözeltisinde 8 dk bekletilmektedir. Soğuk su ile parça yine durulandıktan sonra amonyağın etil alkoldeki %15 çözeltisinde 4 dk nötr olması için bekletilmektedir. Parçalar sıcak suda iyice durulanmaktadır. Yanık olan kısımlar kararmalar gözlemlenmektedir. Gözle kontrol yapılmaktadır. Şekil 4.19. ve Şekil 4.20.'de gözle kararma olup olmadığı kontrol edilmektedir. Yanık olması durumunda siyah izler olacaktır. Yanık olmaması durumunda parlak bir görünüm elde edilmektedir. Test yapılan

parça çok hızlı bir şekilde oksitlenmektedir. Bu sebeple parça yağlanıp oksitlenmesinin önüne geçilmektedir.



Şekil 4.18. Örnek dişli yanık kontrol analiz bölgeleri.

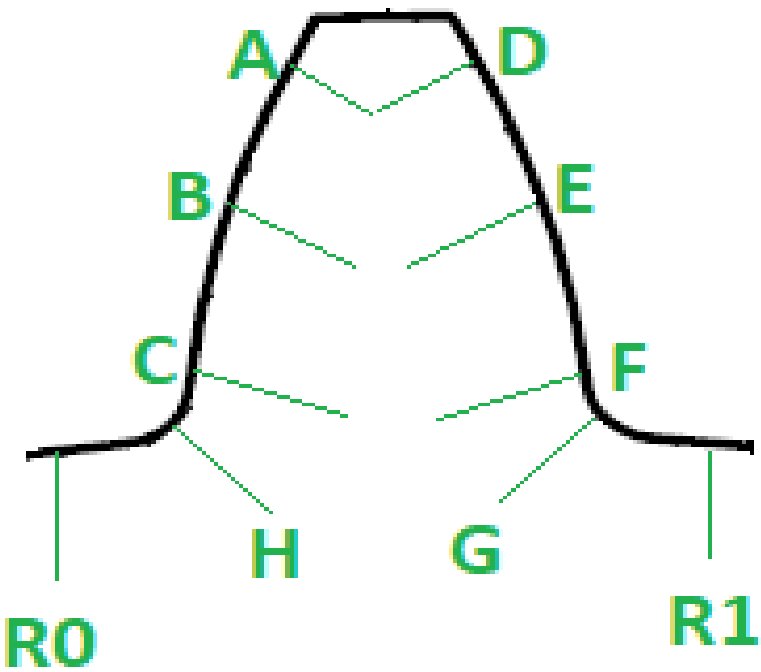


Şekil 4.19. Yüklü sürüş tarafı yanak yanık kontrol testi.

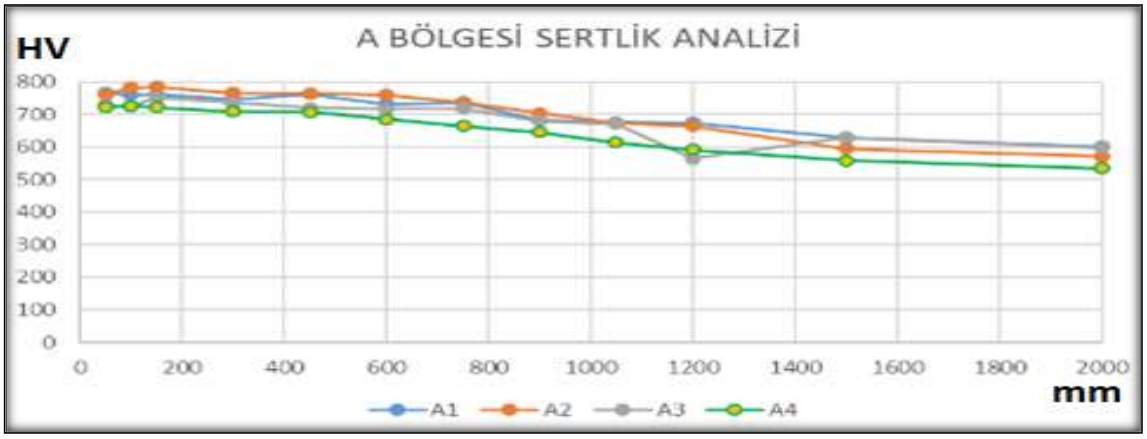


Şekil 4.20. Boşta sürüş tarafı yanak yanık kontrol testi.

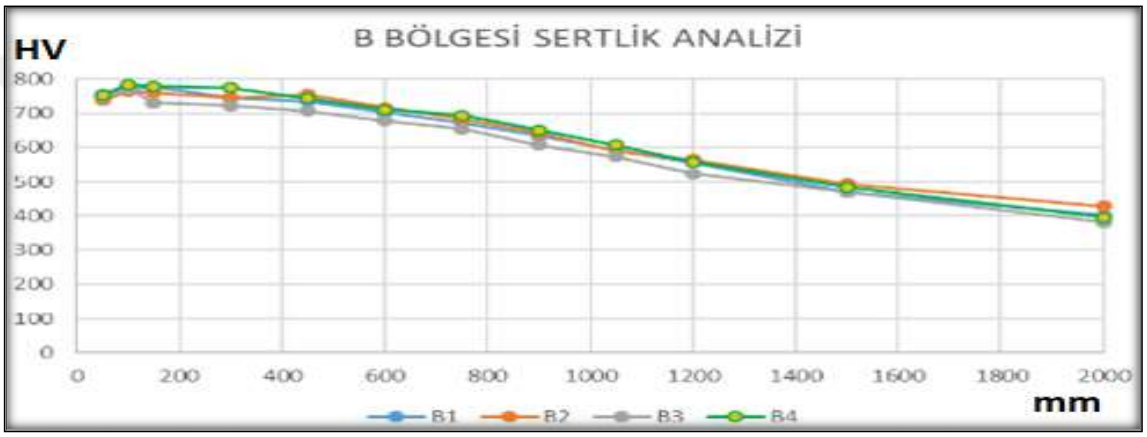
Dişlinin diş yanaklarında taşlama yanığı olması durumunda siyah izlenmeler olması bu kısmın yüksek ısıların oluşması nedeni ile tekrar ısıl işlem meydana geldiği ve lokal sertlik düşüşleri ya da tekrar sertleşme durumlarının olması anlamını taşımaktadır. Bu durum laboratuvar şartlarında parçanın kesilmesi ve Şekil 4.20.'deki gibi bölgelerden sertlik kontrol yapılması ile sertlik düşümü tespit edilebilmektedir. Örnek dişlimizde Şekil 4.21. A Bölgesi, Şekil 4.22. B Bölgesi, Şekil 4.23. C Bölgesi, Şekil 4.24. D Bölgesi, Şekil 4.25. E Bölgesi, Şekil 4.26. F Bölgesi, Şekil 4.27. G Bölgesi, Şekil 4.28. H Bölgesi, Şekil 4.29. R0 Bölgesi ve Şekil 4.30. R1 Bölgesi üzerinden sertlik taraması yapılmıştır. Ani sertlik düşüşünün olmaması nedeni ile yumuşayan bölge görülmemektedir. Bu işlem otomatik kontrol olarak tahribatsız muayene yapabilen Barkhausen cihazı ile de mümkündür.



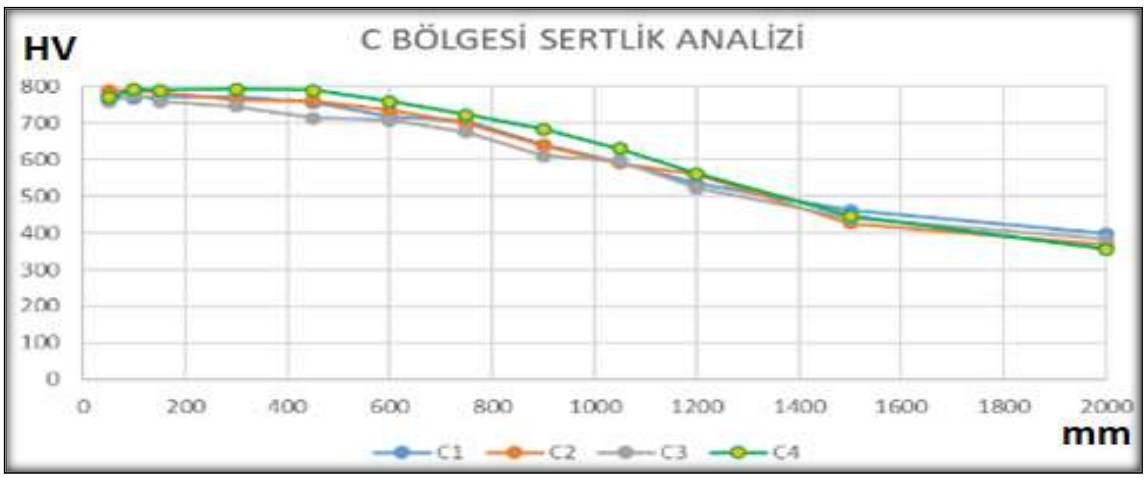
Şekil 4.21. Dişli sertlik analiz bölgeleri.



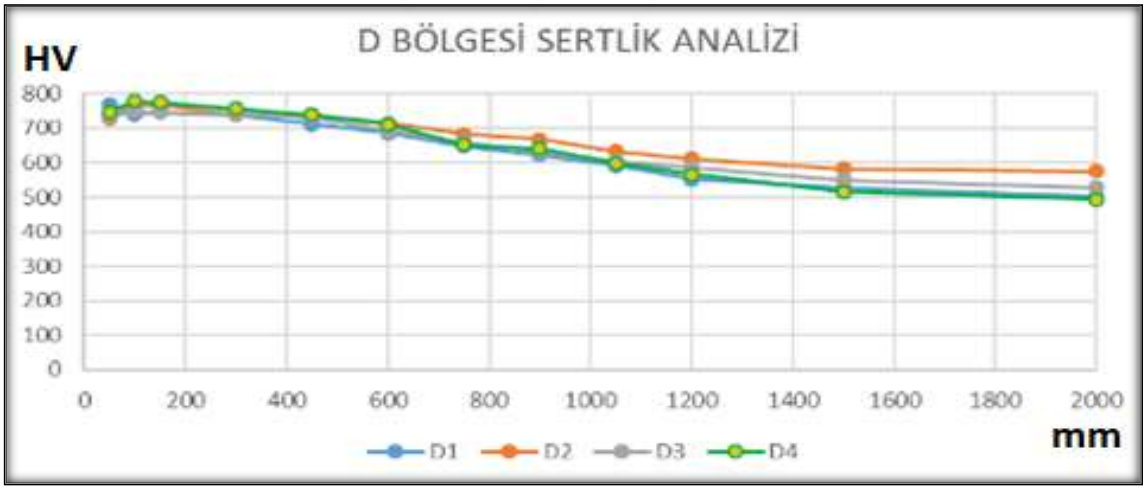
Şekil 4.22. A bölgesi sertlik analizi.



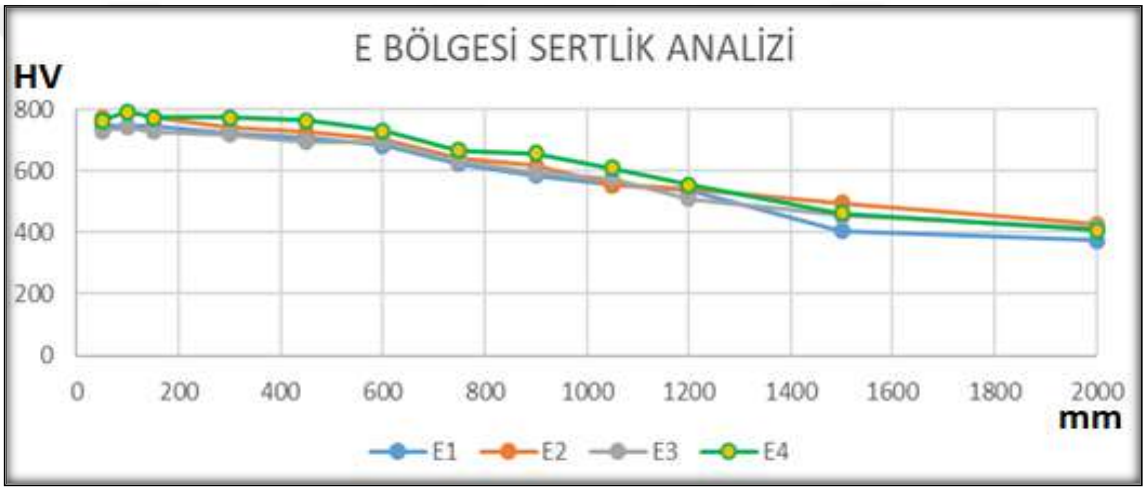
Şekil 4.23. B bölgesi sertlik analizi.



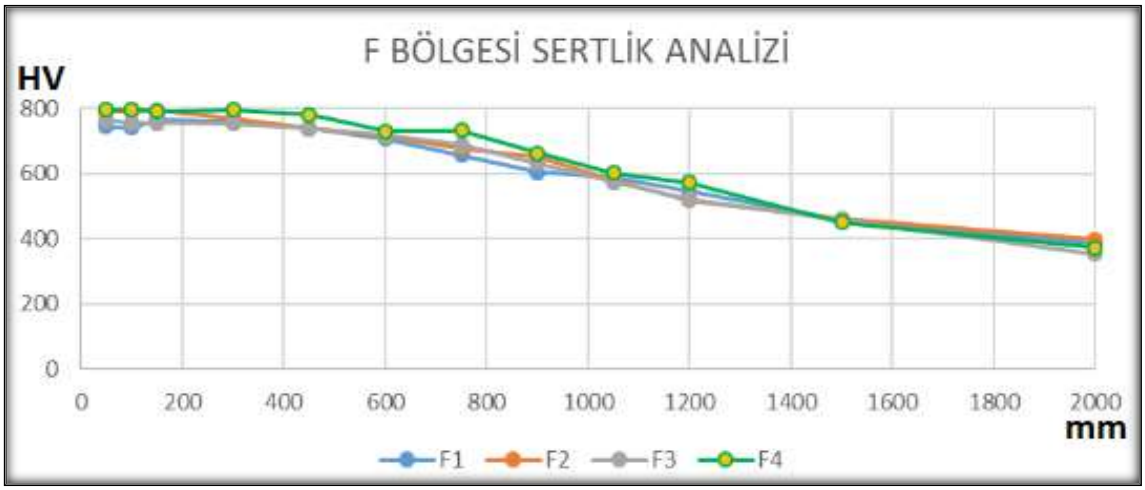
Şekil 4.24. C bölgesi sertlik analizi.



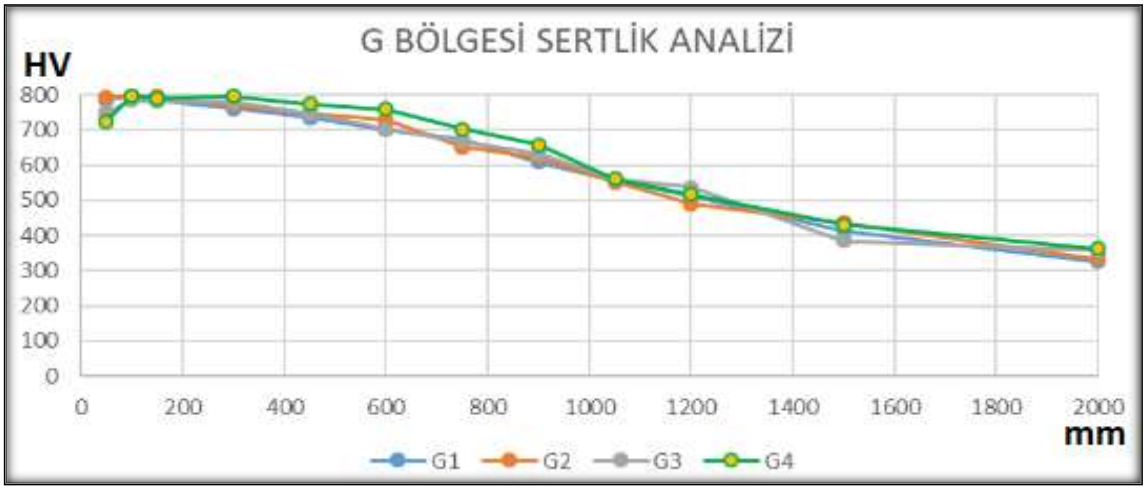
Şekil 4.25. D bölgesi sertlik analizi.



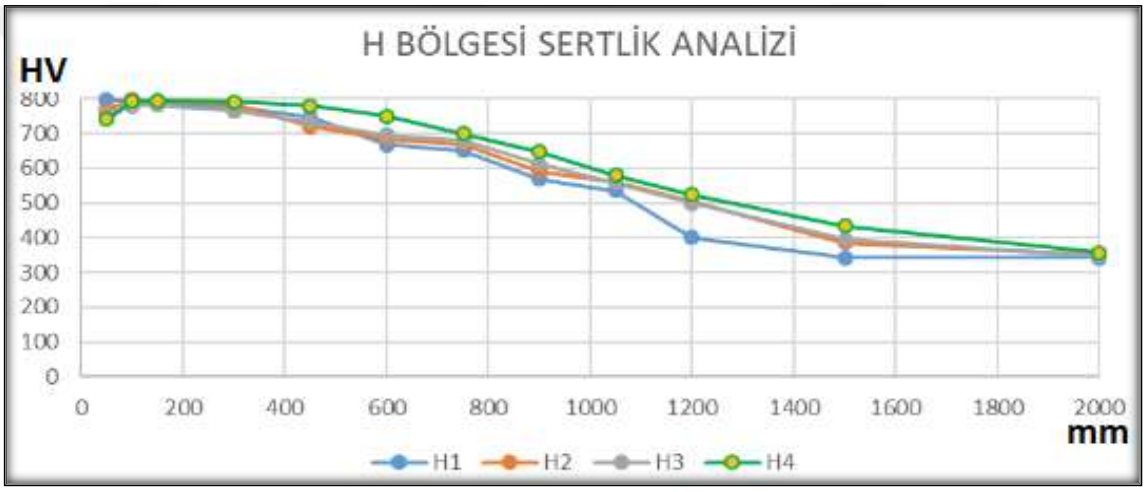
Şekil 4.26. E bölgesi sertlik analizi.



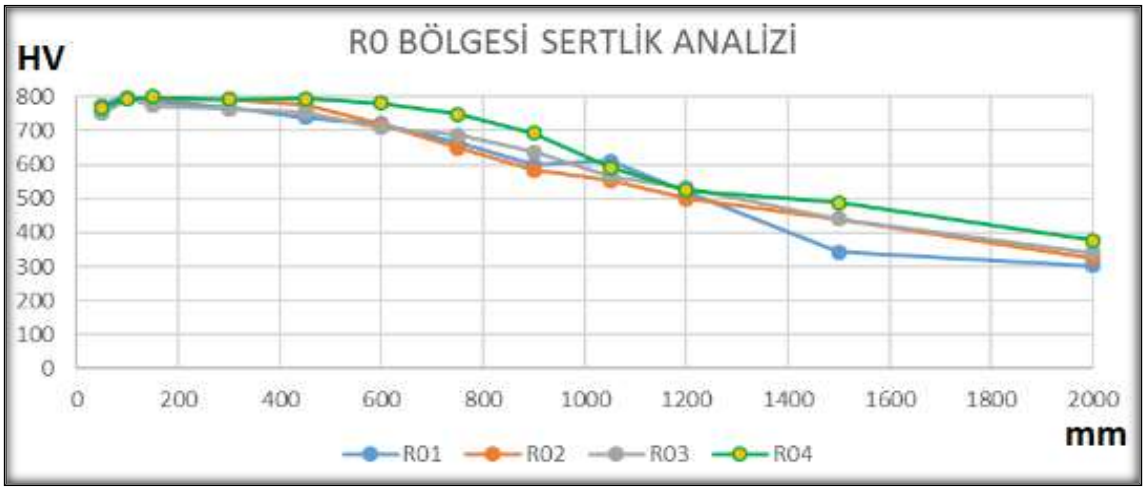
Şekil 4.27. F bölgesi sertlik analizi.



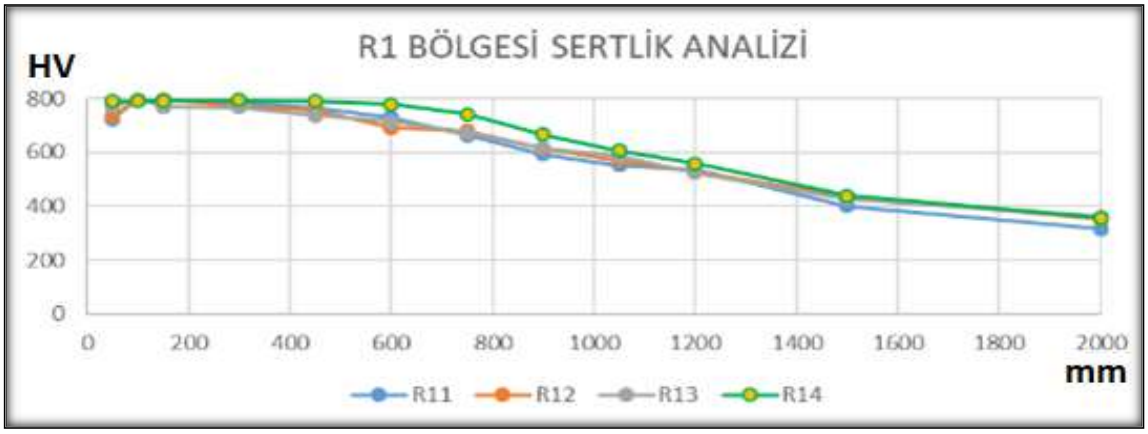
Şekil 4.28. G bölgesi sertlik analizi.



Şekil 4.29. H bölgesi sertlik analizi.

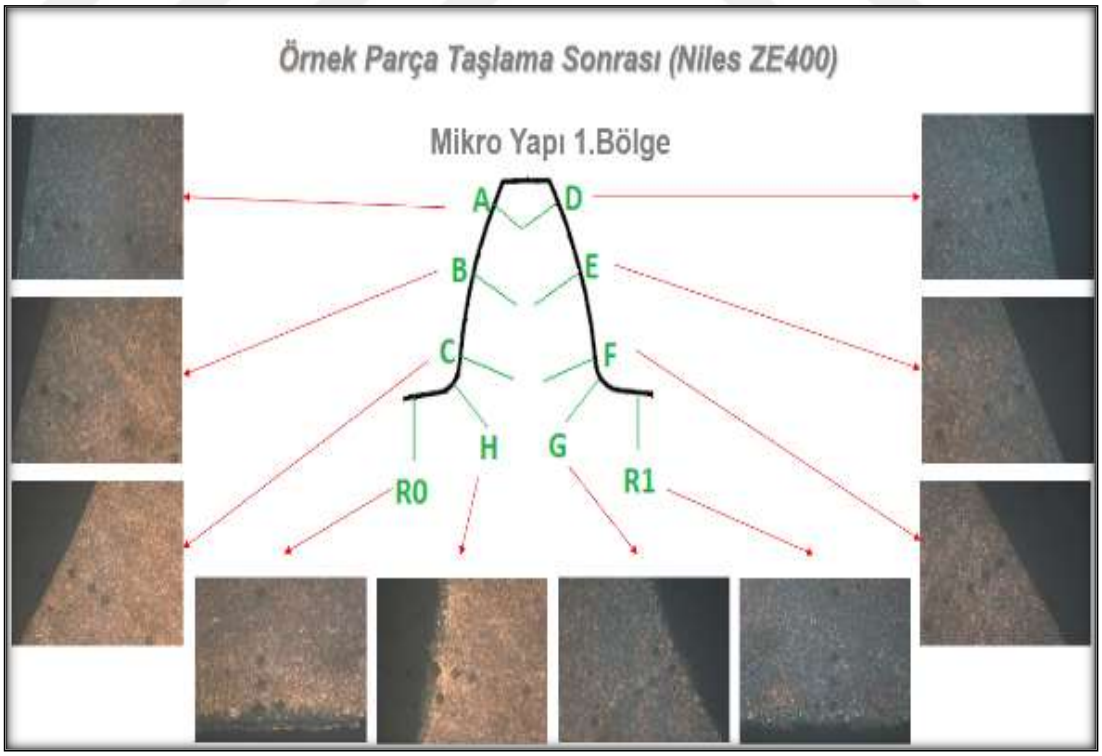


Şekil 4.30. R0 bölgesi sertlik analizi.

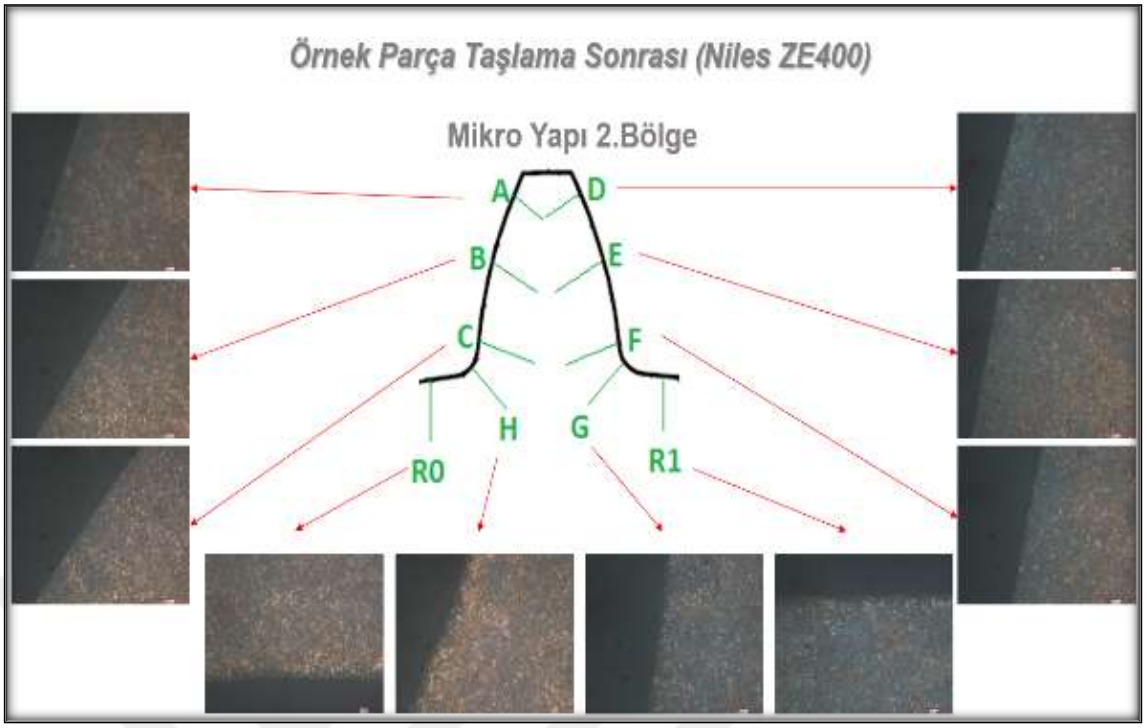


Şekil 4.31. R1 bölgesi sertlik analizi.

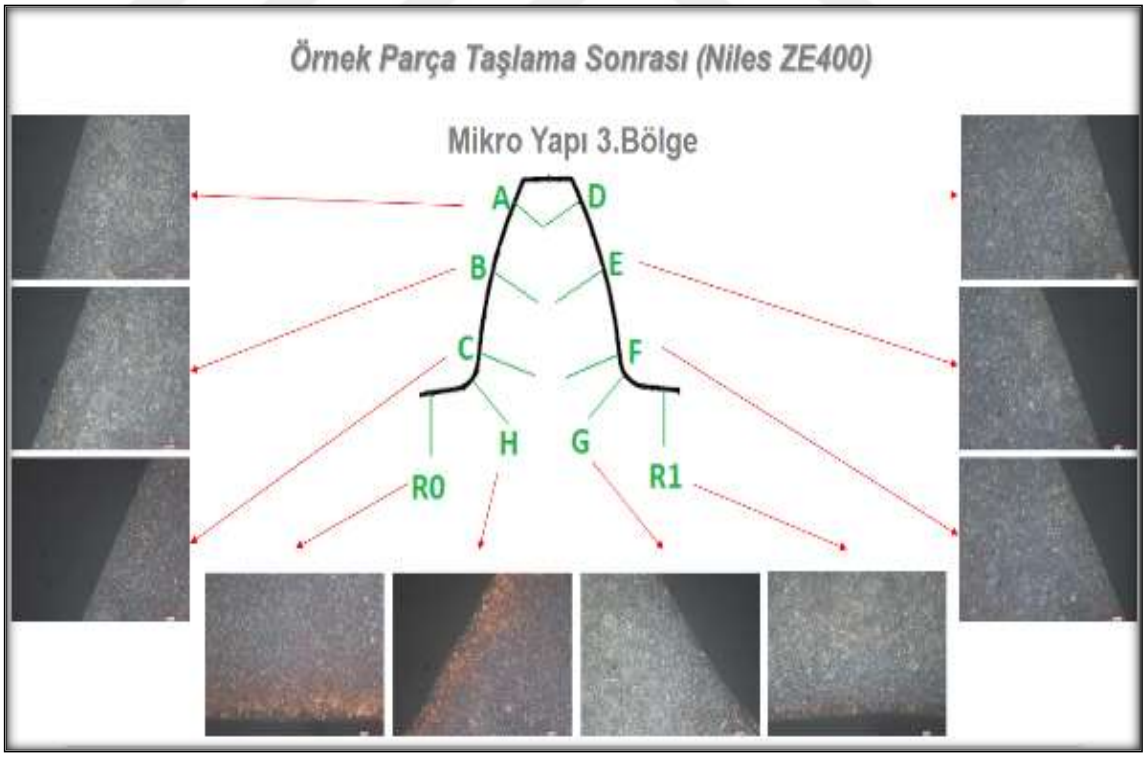
Örnek dişlimizde mikro yapı incelendiğinde taşlanmış bölgelerde herhangi bir problem olmadığı taşlanmayan diş dibinde atmosferik fırın kaynaklı oksit tabakasının olduğu tespit edilmiştir. Ürün mukavemetine olumsuz etkisi olan oksidasyon oluşumu shot peening (noktasal kumlama) yapılarak ya da vakum fırın kullanılarak nihai üründe bulunmasının önüne geçilir. Örnek dişlimizin 4 bölümünden kesit alınarak yapılan analizler sonucu Şekil 4.32., Şekil 4.33., Şekil 4.34. ve Şekil 4.35.'de bulunmaktadır.



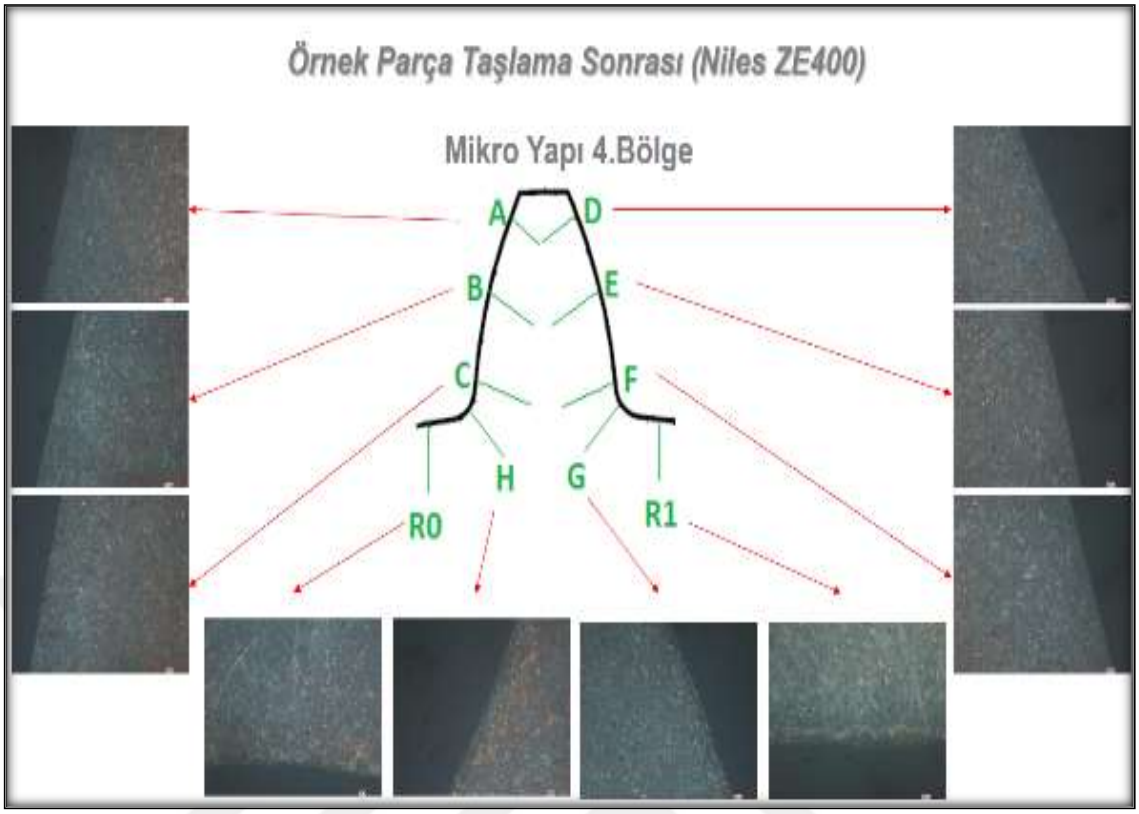
Şekil 4.32. Dişli 1.bölge taşlama sonrası mikro yapı analizi.



Şekil 4.33. Dişli 2.bölge taşlama sonrası mikro yapı analizi.



Şekil 4.34. Dişli 3.bölge taşlama sonrası mikro yapı analizi.



Şekil 4.35. Dişli 4.bölge taşlama sonrası mikro yapı analizi.

Taşlama yanığı, taşlama sırasında kesme parametrelerinin uygun olmayışı, kesme taşının uygun olmayışı, talaş kaldırılacak fazla malzeme bırakılması, soğutma sıvısının yetersiz ya da uygun olmayışı gibi birçok etkene bağlı olarak, anlık parça üzerinde yanık oluşmasıdır. Bu yanık gözle görülemez ve yanık oluşan kısımda sertlik düşüşleri mevcuttur. Dişlinin olması gereken sertlik değeri 59-62 HRC iken yanık kısımlar yanık miktarına göre ciddi sertlik düşüşleri gösterebilmektedir. Düşük sertlik gösteren bu kısımlardan erken aşınmalar, dişli kırılmaları meydana gelecek ve ürünün ömründe ciddi düşüş gözlemlenmektedir. Dişli üzerinde taşlama yanığı var ise çatlak kontrol testi (Magnetic Particle Inspection) yapılarak kılcal çatlakların tespiti de mümkündür.

4.2.10 Helisel Dişli Ölçümü

Üretimi tamamlanan dişlinin geometrik ölçülerinin ölçülmesinin dışında dişli bilgilerinin kontrolü için Şekil 4.36.'da görünen özel ölçüm tezgâhlarına ihtiyaç vardır. Bu cihazlar dişlinin ISO (Uluslararası Standartlar Organizasyonu), DIN vb. standartlara göre dişli profilini, istikametini, dişli adım hatalarını, salgısını, diş kalınlığını, diş dibi ve

diş üstü ölçümleri dahil olmak üzere dişlide profil ve istikamet form hataları, açısal sapmalarını ölçebilen cihazlardır. Ayrıca eklenebilecek ek modüller ile dişlilerde diş üstü boşaltması (Tip Relief), diş dibi boşaltması (Root Relief), istikamet boşaltması (End Relief) da ölçülebilmektedir.

Bizim çalışma yaptığımız cihaz Klingelnberg ZP 350 modelidir ve 350 mm çap, 25 kg ağırlığa kadar parça ölçümü yapabilmektedir. Bu tip cihazlarda dişli yanak yüzeylerinin taramasının yapılarak dişli yanağının topografını yani tüm yüzey ölçümünü de çıkartmak mümkündür. Dişli topografı dişlinin tüm yüzeyinin olması gerektiği durumu ve mevcut durumu ortaya koyan bir rapordur. Ancak bu tarz raporlamalar özel yazılımlar gerektirdiğinden her dişli ölçüm cihazında olmayan, ilave yüklenilmesi gereken yazılımlardır.



Şekil 4.36. Klingelnberg ZP350 ölçüm cihazı.



Şekil 4.37. Örnek helisel dişli ölçümü.

Örnek dişlimiz Şekil 4.37.'de göründüğü gibi referans yüzeyi spline alnı olan yüzeydir ve ölçüm probu ölçümü bu alından başlatmaktadır. Dişli yanakları simetrik olmaması nedeni ile dişlinin ters bağlanması durumunda dişli raporu hatalı çıkmaktadır. Makine ayarı yanlış bağlama sonucu ölçülen parçaya göre değiştirilmesi durumunda hatalı üretim meydana gelmektedir. Bu sebeple parçanın ölçüm tezgâhına bağlanması son derece önemi bir durumdur.

BÖLÜM 5

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Helisel Dişli Üretim Sonucu Grafiklerinin Değerlendirmesi

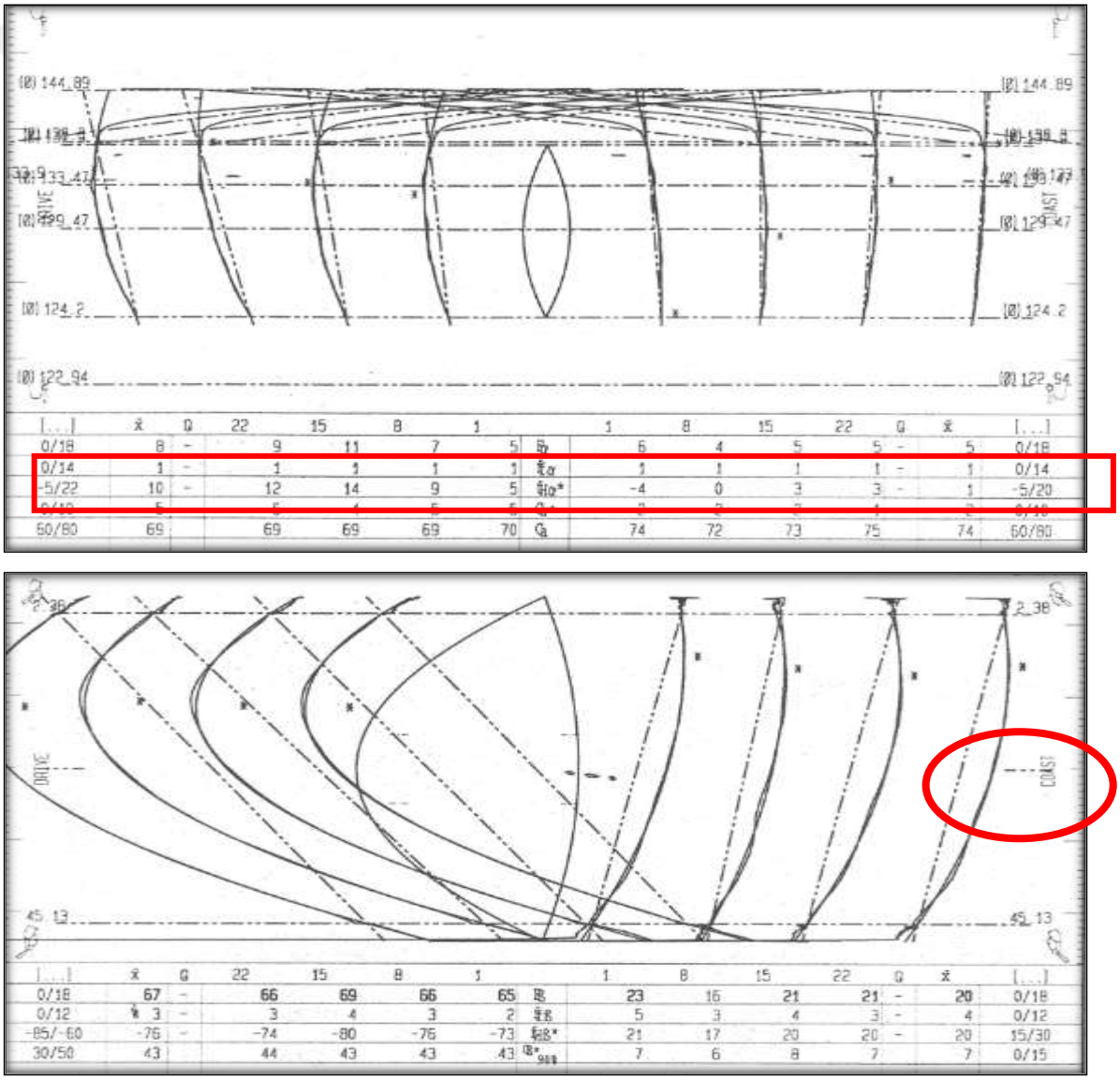
Profil taşlama yapılarak imalatı bitirilen helisel dişlinin, ölçümü Klingelnberg ZP 350 ölçüm tezgâhında 3 ayaklı ölçüm malafası ile yapılmıştır. Dişlilerde istikamet ölçümü bölüm dairesinden ve dişli profil ölçümü diş genişliğinin ortasından yapılmaktadır. Çalışmanın konusu olan dişli yanak burulmalarının tespiti için, profil açı sapmasının (fhα) istikamet boyunca kontrol edilmesi gereklidir. Bu kontrolün istikamet başı, ortası ve sonundan yapılması dişli yanak burulmasının tespiti için yeterlidir. Yapılan ölçümler sonucunda profil açı sapması (fhα) miktarı dişli burulması olup olmadığını ortaya koymaktadır.

Şekil 5.1.'de üretmiş olduğumuz dişliye ait profil ve istikamet ölçüm raporu bulunmaktadır. Profil ölçümleri dişli genişliğinin ortasından ve istikamet ölçümleri bölüm dairesinden alınmıştır. Ölçüm alınan yerler kırmızı yuvarlak içine alınmıştır ve buradan dişlinin ölçüm alınan yeri belirtilmiştir. Ana referansa göre yakınlığı ve uzaklığı belirtilmiştir. Ölçüm raporuna göre dişli tasarımda istenilen değerler içerisindedir. Dişli drive ve coast şeklinde tasarlanmış ve resme uygun olarak üretilmiştir. Dişli tasarımı gereği dişlinin sağ yanağı ve sol yanağı profil olarak simetrik ancak istikamet olarak farklıdır. Azdırma operasyonunda simetrik olarak kesilen dişli yanakları profil taşlamada nihai ölçü olarak asimetrik bir yapıya sahiptir.

Şekil 5.2.'de dişli istikameti ortadan profil ölçümü ise istikamet başlangıcından yapılmaktadır. Ölçüm raporlarının çıktılarını incelediğimizde profil açısal sapmalarının değiştiği görülmektedir. Dişli yanağı drive tarafı fhα 10µm iken 33µm olmakta ve coast

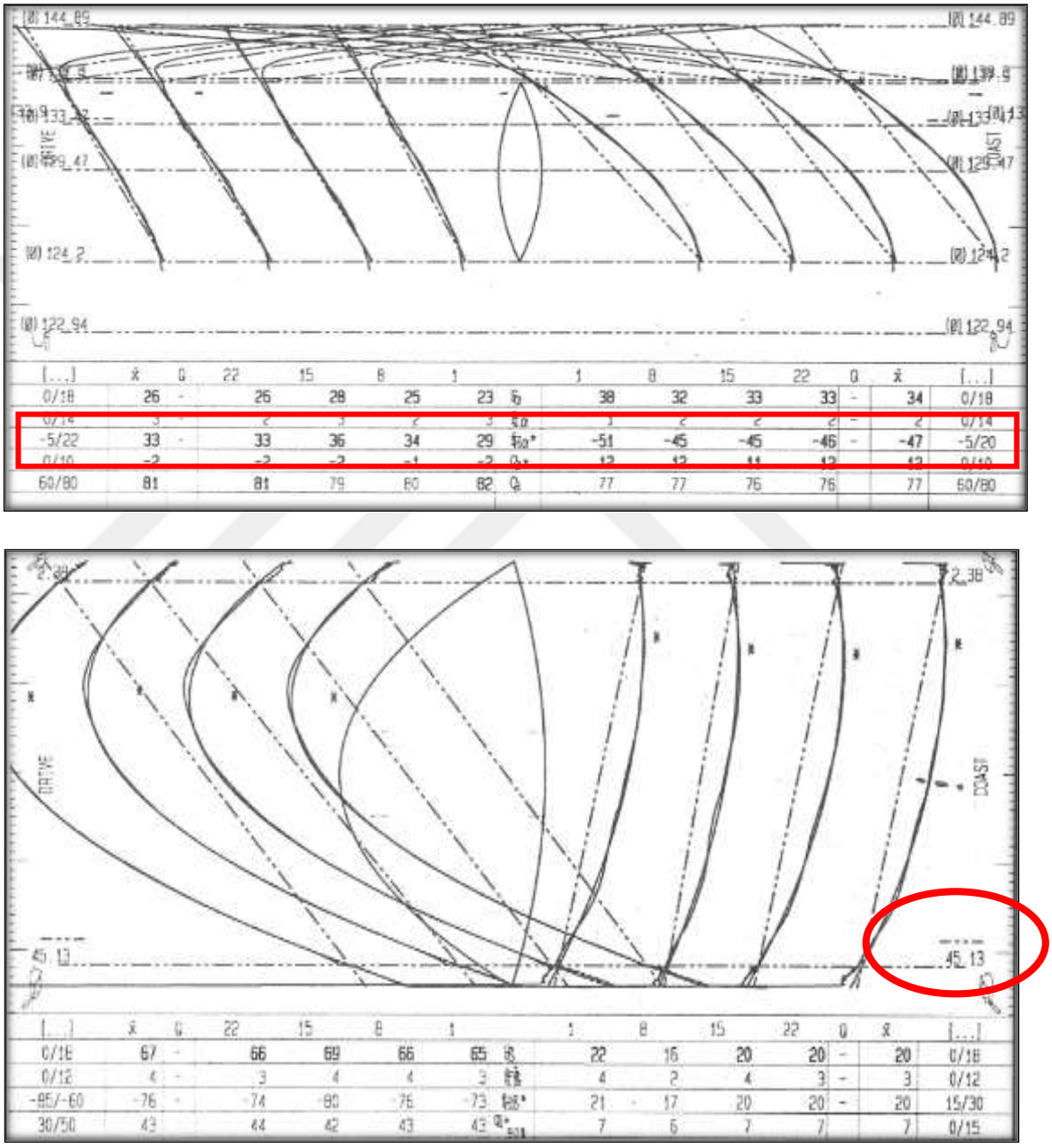
tarafı fhα 1µm iken -47µm olmaktadır. Bu durum bize dişlinin bir yanağının istenilen değerler dışında olduğunu raporlamaktadır.

Şekil 5.3.'de dişli istikameti ortadan profil ölçümü ise istikamet sonundan yapılmaktadır. Ölçüm raporlarını incelediğimizde dişli yanağının diğer ucunda da ters yönde bir değişim olduğu tespit etmiştir. Dişli yanağı drive tarafı fhα 10µm iken -46µm olmakta ve coast tarafı fhα 1µm iken 21µm olmaktadır. Bu durum bize dişlinin istikamet başlangıcının ve bitişinin istenilen değerler dışında olduğunu yani dişlinin yanaklarında burulma olduğunu ortaya koymaktadır. Yanaktaki burulma miktarı 75µm kadardır.



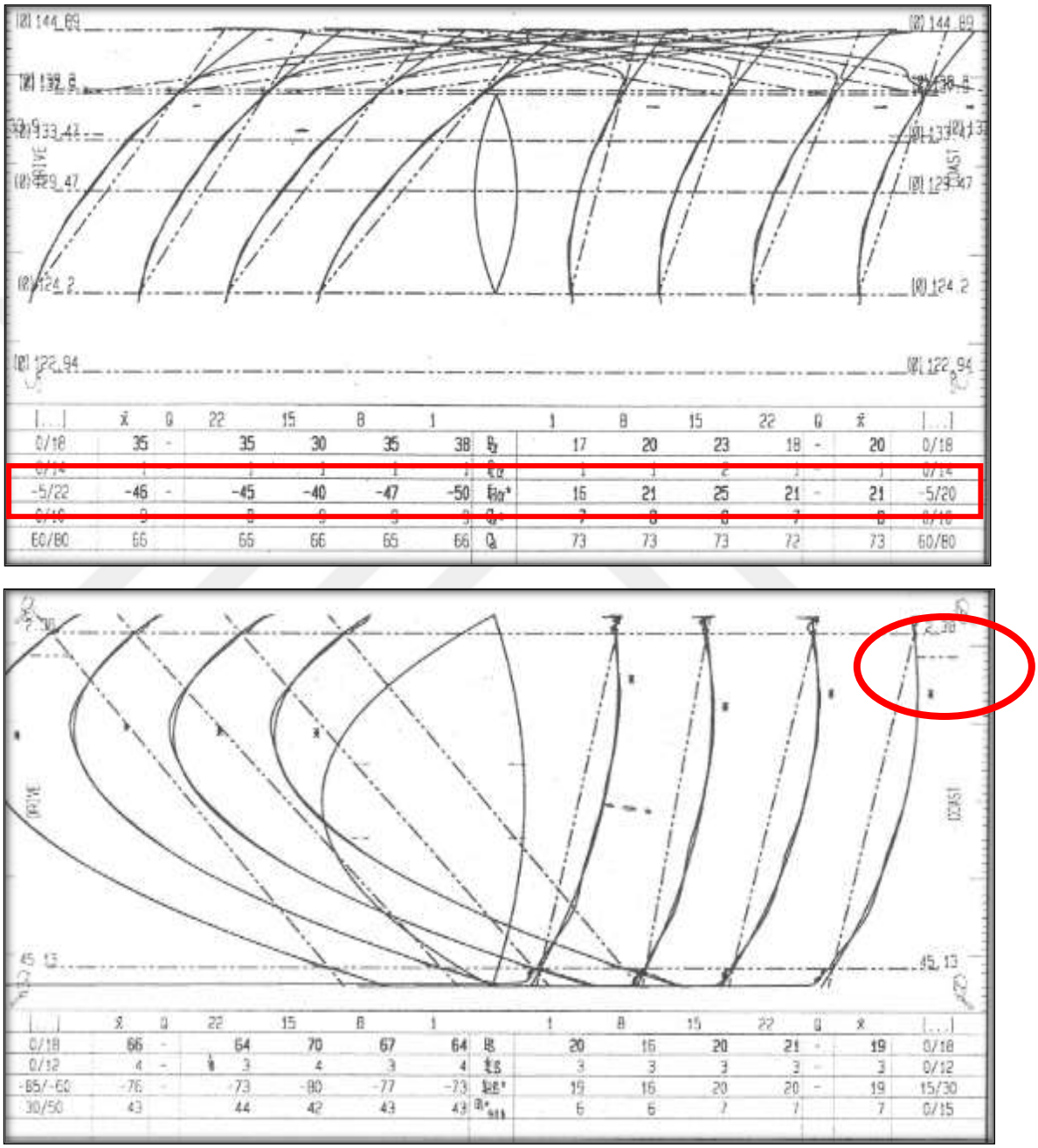
Şekil 5.1. Helisel dişli profil taşlama ölçümü (Orta).

Standart dişli ölçümleri bölüm dairesi ve dişli ortasından yapılmasına rağmen yeni nesil dişli ölçüm cihazlarında A,B,C olarak bir diş yanağının istikamet boyunca üç farklı yerden ölçümleri yer almaya başlamıştır. Bu ölçüm yönteminin yeni nesil tezgâhlara eklenmesi ile dişli daha kontrollü ve ilave program yazılmadan operatör insiyatifine bırakılmadan raporlama yapılabilmektedir.



Şekil 5.2. Helisel dişli profil taşlama ölçümü (Alt).

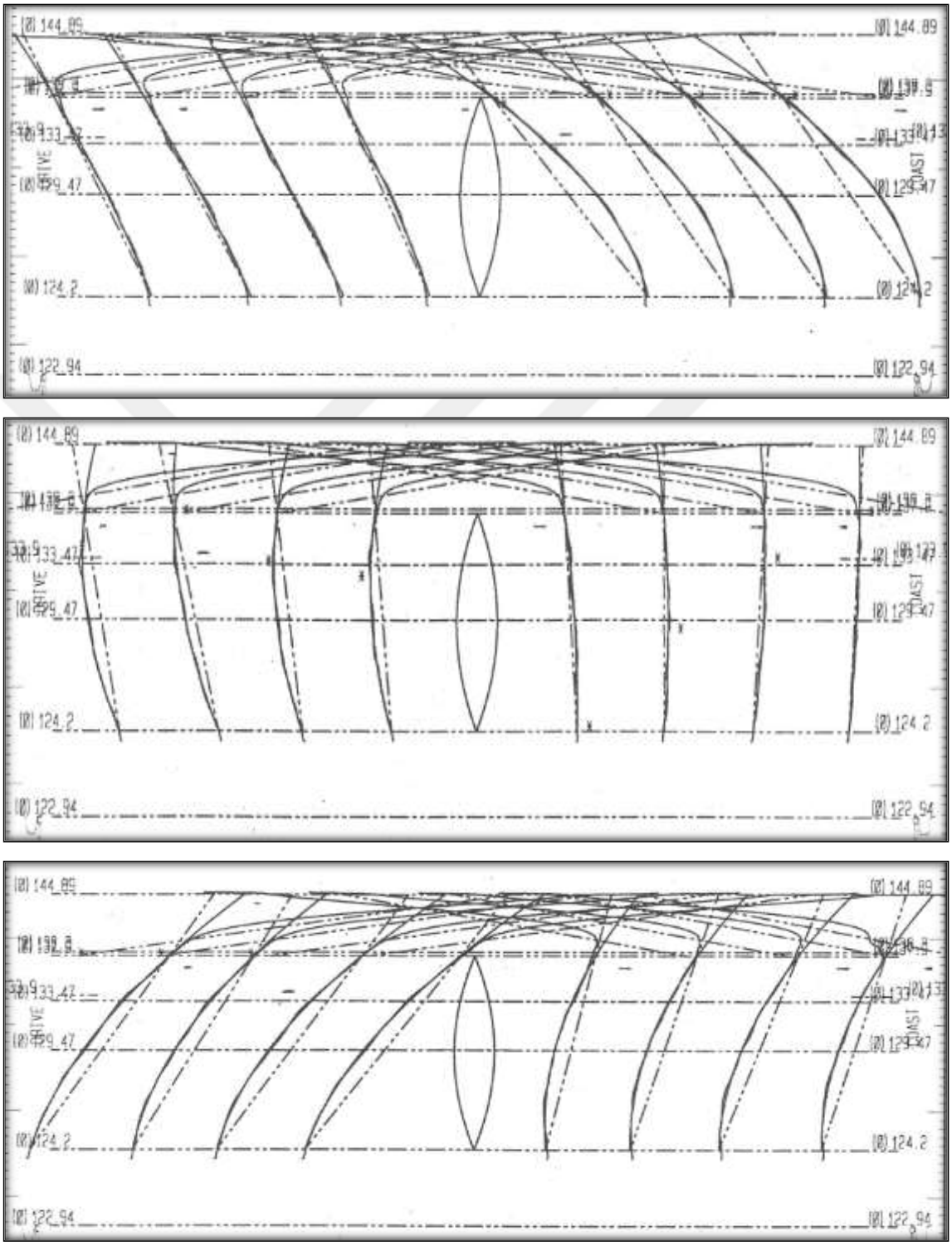
Dişli profil ölçümleri dişli istikametinin başlangıcından yapıldığında profil açısal sapması ölçüm raporundan tespit edilebilmektedir. Bu dişlinin mevcut tezgâhımızda raporlanabilmesi için programlamaları yapılıp farklı noktalardan ölçümler yapılmış ve raporlanmıştır.



Şekil 5.3. Helisel dişli profil taşlama ölçümü (Üst).

Ölçüm sonuçlarından alınan çıktılar, dişlinin olması gereken profilden farklı olduğunu göstermektedir. Dişlinin çalışması sırasında kuvveti iletecek olan kontak noktalarının olması istenen konumlarında olmadığı saptanmıştır. Ölçüm sonuçlarını

Şekil5.4.'de incelediğimizde görüldüğü gibi dişli çalışma yüzeyinde istenilen çalışma koşullarında olmadığı ve profil yüzeyinde iç bükey profil oluşumu gözlemlenmiştir.

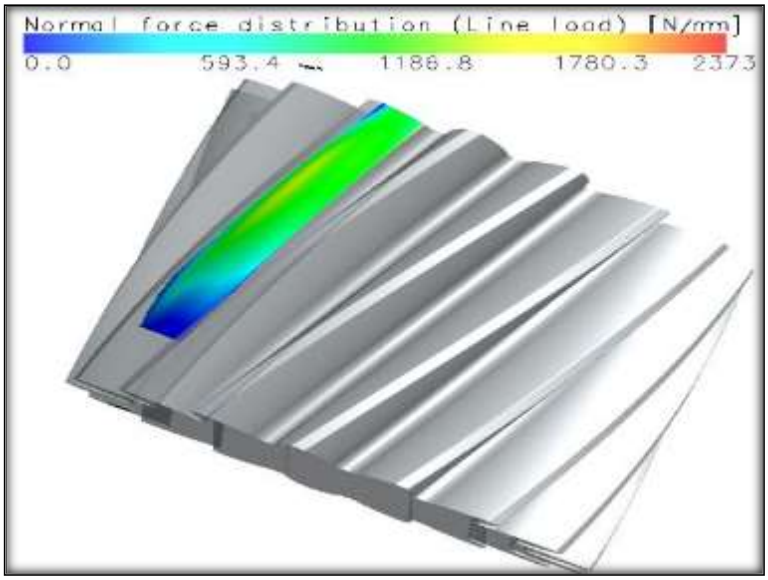


Şekil 5.4. Örnek dişli yanak burulması.

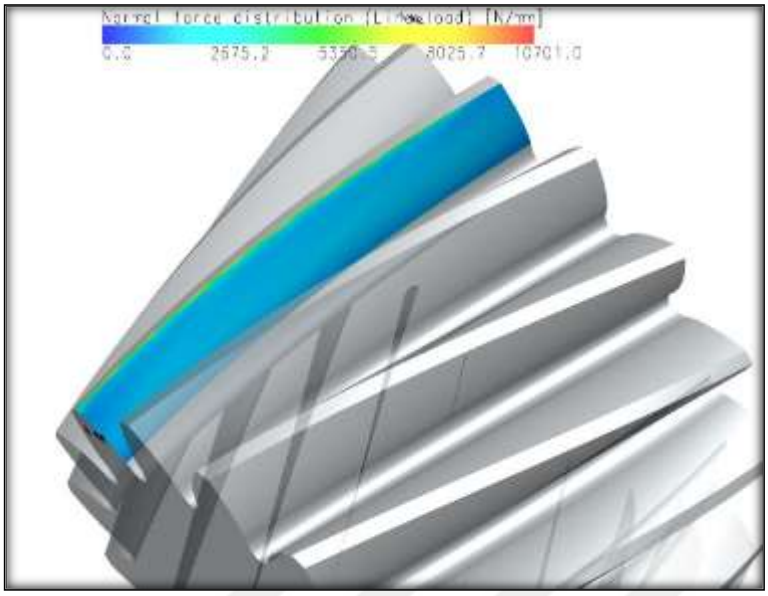
5.2 Dişlinin Bilgisayar Destekli Analizi ve Burulmasız Dişli Yanağı Elde Edilmesi

Yapılan üretim sonucunda elde edilen ölçüm raporları ışığında talep edilen ve ortaya konulan dişlinin farklılıkları mevcuttur. Bu durumun ortadan kaldırılması için makine elemanlarının boyutlandırılması hesaplamalarını yapabilen ve piyasa da paket program olarak satılan KissSoft programı kullanılmıştır. Bu program ile dişli tasarımı, şaft, rulman, bağlantı elemanları, kayış, kasnak, yay elemanlarının hesabı da yapılabilmektedir. Bu programda oluşturulan datalar tüm 3D programlama programlarında da açılabilmektedir. Yapılan KissSoft analizi sonucunda elde edilen çıktılar ışığında dişli istikamet bombeliğinin profil açısal sapmaları minimize edeceği tespit edilmiştir. Bu analizde dişli burulması ve dişli temas noktalarındaki uygunsuzluk Şekil 5.5. ve Şekil 5.6.'da belirtilmiştir. Bu uygunsuzluğun analizlerde mevcut olması ve düzeltilebileceği görülebilmektedir.

Şekil 5.5.'de görüldüğü gibi dişli burulmasından dolayı dişli temas noktası dişlinin bir yanına kaymıştır ve dişlinin bir kısmı temas halinde değildir. Dişli kontağı dişli profilinin orta noktasında olması gerekirken Şekil 5.5.'de görüldüğü gibi tip tepesine yani aktif profil bitişine yakın yerde oluşmaktadır.



Şekil 5.5. Örnek dişli burulma analizi.



Şekil 5.6. Dişli yanak burulması istikamet bombeliğinin düşürülmüş hali.

Yapılan analiz sonucunda istikamet bombeliğinin düşürülmesi ile Şekil 5.6.'da oluşan yük dağılımı görülmektedir. Bu şekilde yapılan tasarımla yanağa gelen yük tüm diş yanağına taşıtılmaktadır. Geniş bir yüzey alanı kullanılması biri yüzeye gelen kuvveti düşürmektedir. Bu durum sayesinde dişlinin taşıyacağı yük ve ürün ömrü arttırılabilmektedir.

Helisel dişlilerde dişli burulmasının ortadan kaldırılması için yapılan analizler ışığında istikamet bombeliğinin değiştirilerek dişli burulmasının düşürüldüğü tespit edilmiştir. Tekrar yapılan dişli üretimi sonucunda aynı metot ile üretim yapıldığında istenilen sonuçlara ulaşılamamıştır. Tasarımsal olarak yapılan değişikliğe imalat tezgâhının eksenel olarak gerekli cevabı veremediği görülmüştür. Yapılan inceleme sonucu dişli burulmasının ortadan kaldırılması dişli yanaklarının aynı anda taşlanması değil, her bir yanağın ayrı ayrı taşlanması gerektiğini ortaya koymaktadır. Taşlama taşı yanakları taşlaması sırasında her iki yanaktan talaş kaldırmakta ancak bu şekilde eksen hareketi yaptığında yanaklarda istenilen farklı özelliklerdeki formları çıkaramamaktadır. Bu sebeple taşlama yöntemi değiştirilmelidir ve tek yanak taşlama yapılmalıdır. Bu taşlama yöntemi için kullanılan makinede tek yanak taşlama yazılımı olmalı ve eksen hareketlerini sağlayacak hassasiyette olmalıdır. Bu şekilde belli bir tolerans aralığında dişli burulmasının kontrol altında tutulması mümkündür ancak tamamen ortadan kaldırılması mümkün değildir.

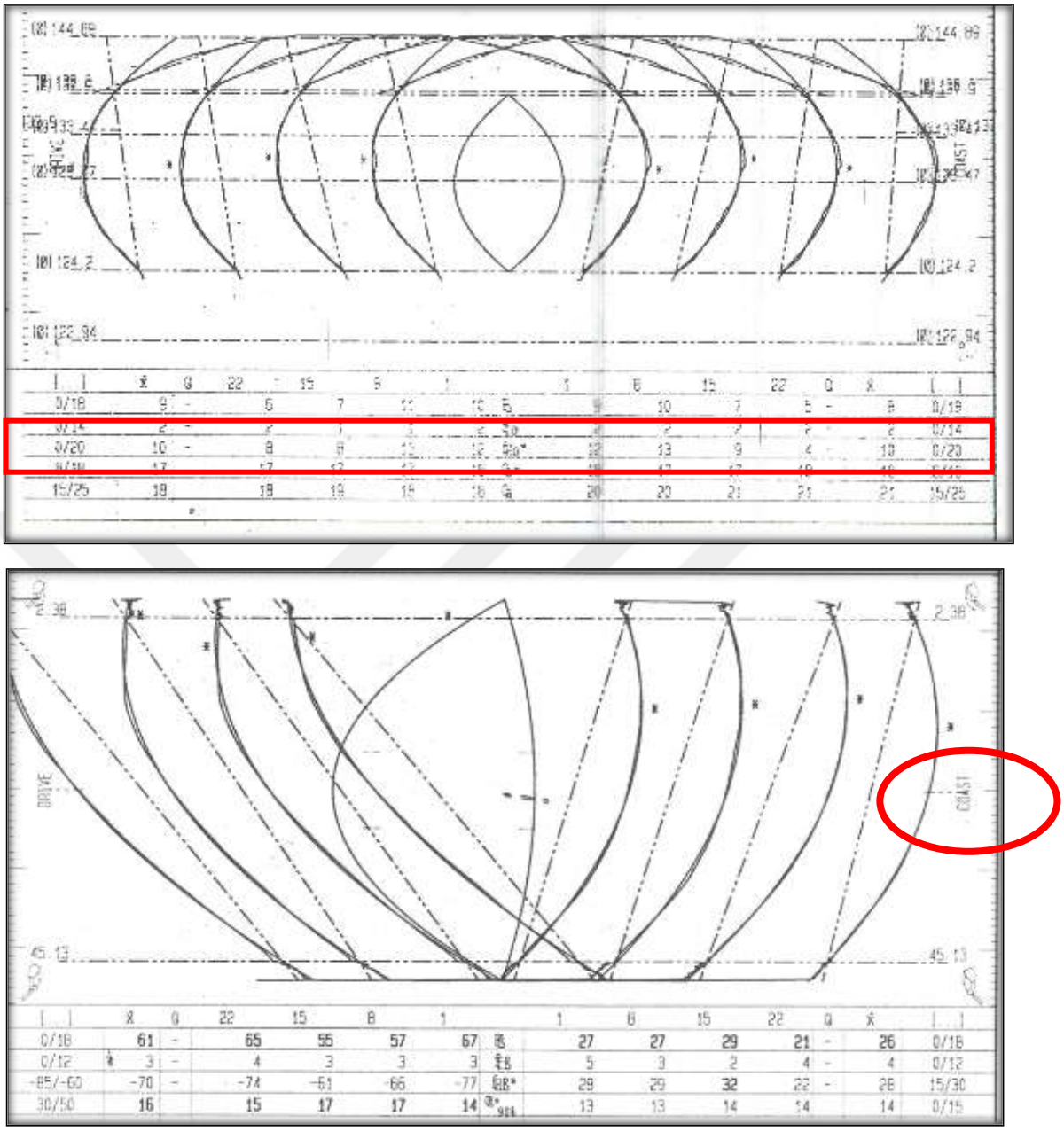
Çift yanak taşlama yönteminden tek yanak taşlama yöntemine geçtiğimizde tezgâh eksenleri enterpolasyon işlemine cevap verebilmekte ve dişli burulması minimize edilebilmektedir. Çift yanak yöntemi, form taşın diş arasına girerek dişlinin iki diş yanağından da talaş kaldırması işlemidir. Tek yanak yöntemi ise, dişlinin diş arasına girdiğinde sadece drive (sürüş) ya da coast (yüksüz sürüş) yanağından talaş kaldırması işlemidir. Çift yanak taşlama yapıldığında tezgâhın eksenel hareketleri her iki yanakta da ister değerleri karşılayamamaktadır. Bu sebeple tezgâh eksenlerini kullanarak enterpolasyon yaparak tek yanak üzerinde form taş ile talaş kaldırılmaktadır. Kullanılan kum taş 0.3 mm kadar inceltilmektedir ve tek yanak taşlama opsiyonu kullanılarak taşlama yapılmaktadır.

Üretimi yapılan örnek dişlimizin dişli burulması olayının olup olmadığını anlamak için fhα değerlerinin kıyaslaması yapılmaktadır. Bu kıyaslama istikamet ölçümlerinde aynı görülürken profillerde yatıklık olmaktadır. fhα değerleri arasındaki mutlak fark dişli yanak burulması miktarını vermektedir. Günümüz koşullarında bu değerin sıfır olması mümkün değildir.

Şekil 5.7., Şekil 5.8. ve Şekil 5.9.'da tek yanak taşlama yöntemi ile üretilmiş olan dişlinin ölçüm raporu gösterilmiştir. Dişlinin bölüm dairesinden ve dişli ortasından ölçüldüğünde dişlinin talep edilen kalitede olduğu yapılan çalışmalar ve ölçümler sonucunda tespit edilmiştir.

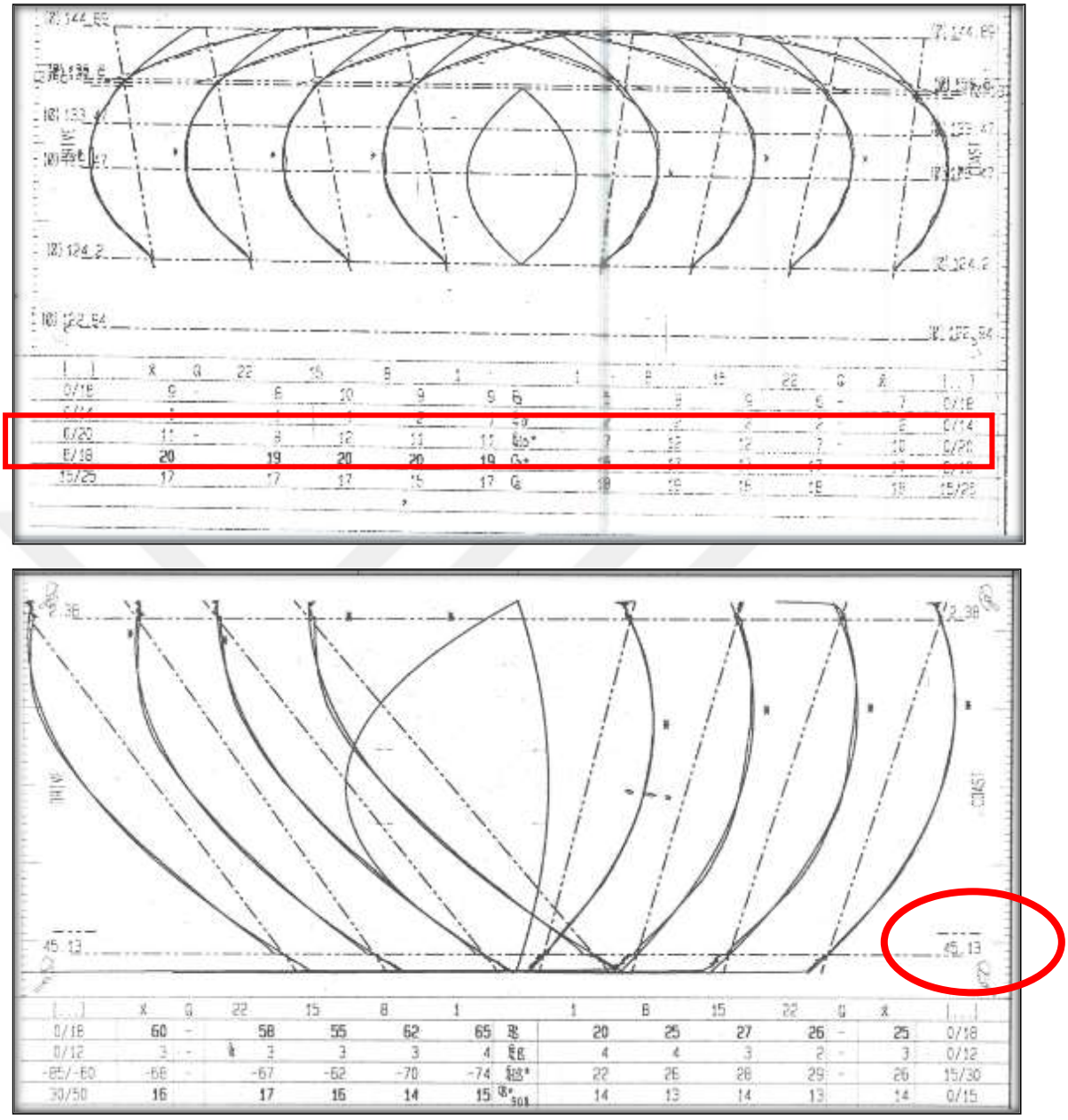
İlk çalışmamızda dişlilerde burulma tespit edilmiş ve bu durumun yanında profillerde iç bükey bir yapı meydana geldiği tespit edilmiştir. Profilde iç bükey bir yapının oluşması aktif profil başlangıç ve bitişi arasındaki yuvarlanmada düzensizlik oluşturacak ve çift kontak denilen anlık olarak iki temas noktası meydana gelecektir. Bu durum dişlinin sesli çalışmasına ve kullanıcı tarafından memnuniyetsizliğe yol açacaktır. Kontak noktasının vuruntulu çalışması sonucu ürün ömrü azalmakta ve müşteri şikayeti oluşmasına yol açmaktadır. Bu sebeple istikamet ve profil bombelikleri sıfır ya da eksi değerlerde olmamaktadır.

Şekil 5.7., Şekil 5.8. ve Şekil 5.9. profil grafikleri incelendiğinde kontak noktası profil ortasında yer almaktadır. * işaret ile belirtilen noktalarda profil temas edecek anlamını taşımaktadır.



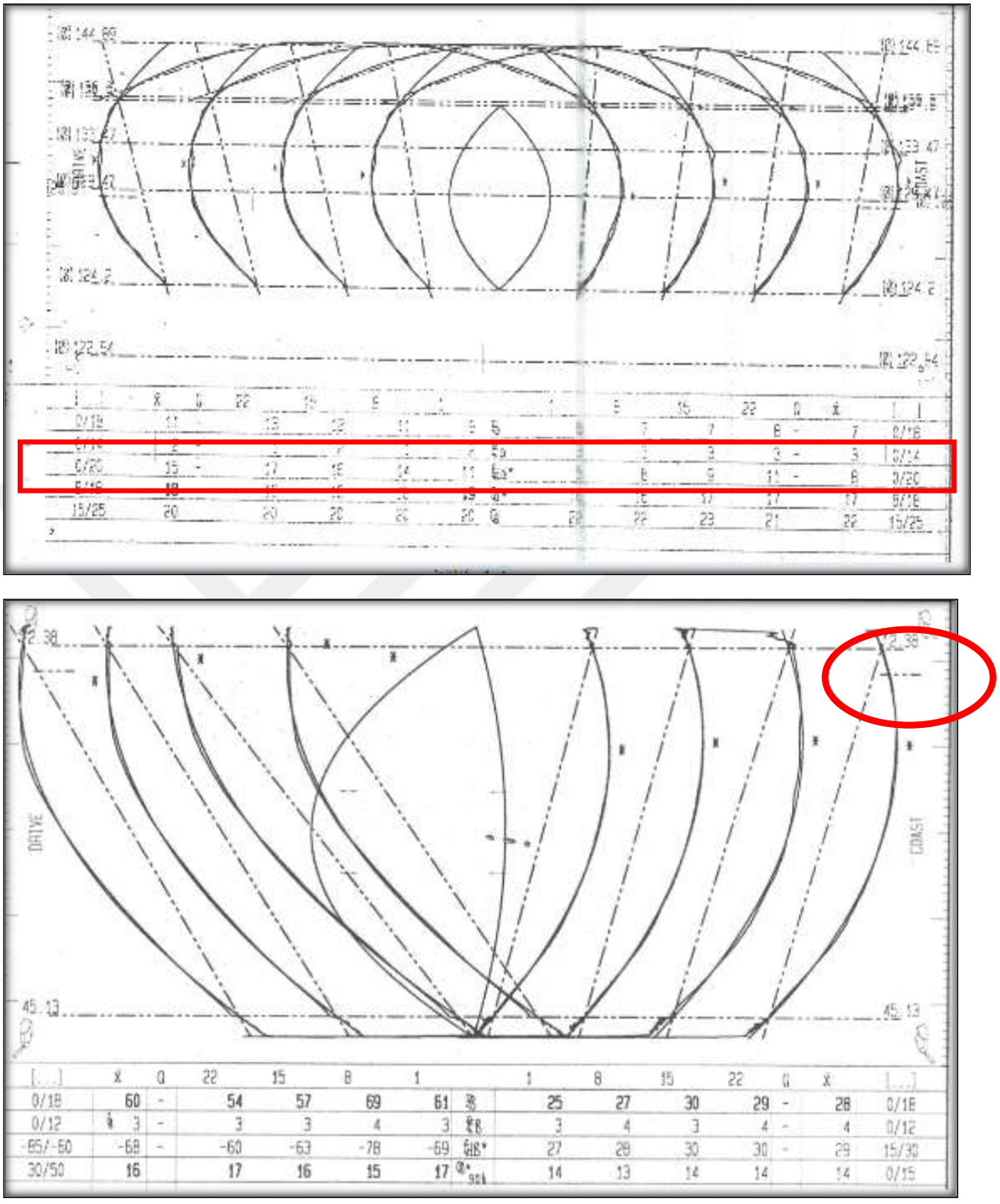
Şekil 5.7. Helisel dişli profil taşlama ölçümü (Orta).

Dişlinin istikamet başlangıcından profil ölçümü yapıldığında, dişli istikamet ortasından ölçüm yapıldığında elde edilen sonuçlar ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu durum dişli açısal yatmalarının uygun olduğunu ve dişlinin istikamet sonunun da uygun olması durumunda doğru parça elde edildiğini göstermektedir.

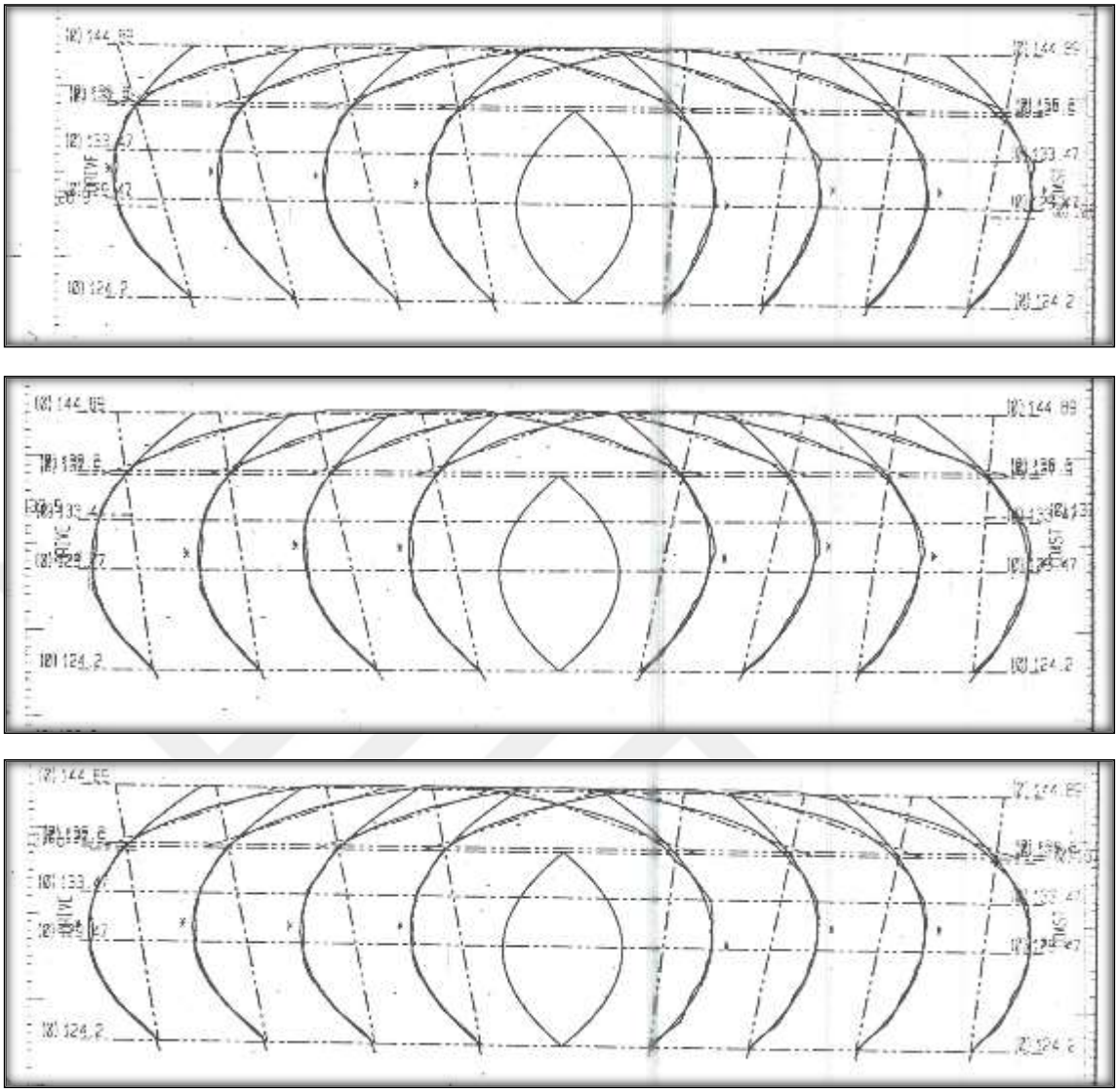


Şekil 5.8. Helisel dişli profil taşlama ölçümü (Alt).

Dişlinin istikamet sonundan profil ölçümü yapıldığında, dişli istikamet ortasından ve istikamet başından ölçüm yapıldığında elde edilen sonuçlar ile benzer profil ölçüm sonuçları tespit edilmiştir. Bu durum dişli açısal yatmalarının uygun olduğunu ve doğru parça elde edildiğini göstermektedir.



Şekil 5.9. Helisel dişli profil taşlama ölçümü (Üst).



Şekil 5.10. Örnek dişli yanak burulmasının minimize edilmesi.

Yapılan analiz ve tekrar dişli üretimi sonucu yapılan ölçüm sonuçlarından alınan çıktılar, dişli uygunluğunun olması gereken profilde olduğunu göstermektedir. Dişlinin çalışması sırasında kuvveti iletecek olan kontak noktalarının olması istenen konumlarında olduğu saptanmıştır. Dişli burulması sol yanakta 4µm ve sağ yanakta 2µm olarak tespit edilmiştir. Ölçüm sonuçlarını bir araya getirdiğimizde Şekil 5.10.'da görüleceği üzere dişli çalışma yüzeyinde istenilen çalışma koşullarının istenildiği gibi olduğu tespit edilmiştir. Bu dişlide istikamet başı, ortası ve sonu değerlendirildiğinde DIN 7 profil dişli kalitesi değerinin istikamet boyunca sağlandığı tespit edilmiştir.

BÖLÜM 6

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapılan deneysel çalışmaların çıktılarından elde edilen sonuçlar, dişli tasarımı ve imalatı ile ortaya çıkabilecek bir durum olan dişli burulmasının doğal bir durum olduğudur. Dişlinin temas noktalarının hesaplanan değerlerden farklı bir şekilde davrandığı ortaya konulmuştur. Bu durum dişlinin temas noktalarının dişli çalışmasına olumsuz etkilediğini göstermektedir. Helisel bir dişlinin bölüm dairesinden ve diş genişliği ortasından ölçüm yapıldığında, istenilen kalite değerleri içinde görüldüğü ancak deneysel çalışmalar ve araştırmalar sonucu dişli istikamet boyunca olması gerekli olan profil özellikleri, fiili durumda istikamet boyunca devam etmemektedir. Talep edilen dişli profil değerlerini karşılamamaktadır. Bu durum dişlinin çalıştığı yerde temas yüzey alanının değişimine neden olmaktadır.

Dişli kalitesinin hassasiyeti, dişlinin çalışacağı yere, çalışacağı devire, taşıyacağı yüzey basıncına ve aktaracağı torka göre belirlenmektedir. Bu sebeple dişli kalitesinin sağlanması, güç iletimi yapacak olan basınç yüzeyinin yani diş yanağının özelliklerine bağlıdır. Dişli temas alanlarının değişimi diş yanaklarına gelecek olan kuvvetin dağılımını etkilemektedir. Rulmanlara gelen kuvvet dağılımını da etkileyip rulmanların ömrünün azalmasına neden olmaktadır. Dişli yanak temas noktalarının düzenli birleşip ayrılamaması, çalışma sırasında ses oluşumuna neden olmaktadır. Çalışan yüzeyin düzensiz temas etmesi iletilen kuvvetlerin yüzeysel değil, çizgisel temasına yol açmakta ve erken yüzey hasarlanmalarına neden olmaktadır. Bu sebeple dişli burulması durumu, kullanıcı tarafından kullanım konforunun azalması, ürün ömrünün azalması, müşteri memnuniyetsizliği gibi olumsuz sonuçlar ile geri dönüşe neden olmaktadır. Tüm bu çıktılar neticesinde dişli burulmalarının öncelikli olarak tasarım sırasında göz önünde bulundurulması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu durumun dişli tasarımı sırasında ön

görülmesi maliyet, zaman, enerji ve işçilik açısından birçok kaybı önleyeceğinden göz ardı edilmemesi gereklidir.

Yapılan deneysel çalışmalardan aldığımız çıktılar sonucunda;

- Dişli istikamet bombeliğinin azaltılması dişli burulmasının azaltılmasında en önemli etkenlerden biridir. İstikamet bombeliği azaltıldıkça işleme sırasında tezgâh eksenlerinin yaptığı hareketler azalmakta ve taşlama taşının parça üzerindeki eksenel hareketleri azalmaktadır.
- Dişli modüllerinin büyük olması dişli taşlama yüzeylerinin artmasına ve tezgâh eksenel hareketlerinin büyük olmasına neden olmaktadır. Bu sebeple dişli tasarımında modül seçiminde dikkat edilmesi gerekli hususlardan biridir.
- Modülün artması ve tahvil oranının sağlanması için yapılan diş sayısının azaltılması işlemi, dişlideki yüksek helisel açı ile beraber diş burulmasının artmasına neden olmaktadır.
- Yüksek helis açıları düşük diş sayısı ile dişli burulmasında önemli bir etkendir. Dişli işlemesinde farklı eksenlerin çalışmasına neden olmaktadır. Tezgâh hassasiyeti de bu noktada önem kazanmaktadır.
- Dişli genişliği arttıkça işlenecek istikamet boyu artmaktadır ve işleme tezgâhının eksenel hareketlerin artmasına neden olmaktadır. Dişli genişliğinin artması dişli burulmasının artmasına neden olmaktadır.

Yapılan çalışmalar ve alınan sonuçlar gösteriyor ki dişli burulması tasarımdan öngörülebilmektedir. Numune dişli üretimi ile dişli burulması olup olmadığı kontrol edilebilmekte ve tasarımdan müdahale edilerek uygun dişli üretimi yapılması sağlanabilmektedir. Dişli burulmasını tamamen ortadan kaldırmak tasarıma ve işlenecek parçanın geometrisine bağlıdır. Bugün ki koşullarda belli bir tolerans aralığında tutmak, yeterli kalite ve maliyet açısından uygundur. Dişli burulmasının önlenmesi için tasarımdan modül, diş sayısı, helis açısı, dişli genişliği dikkate alınmalı, dişli burulması analizler ile tespit edilmeli, prototip ürünlerde dişli burulması kontrol edilmelidir. Bu şekilde tasarımdan, ürün ömrünü olumsuz etkileyecek olan dişli burulması durumunun önüne geçilebilmektedir.

Yapılan çalışmalar sonucu, sadece tasarım kaynaklı değil, imalat kaynaklı dişli burulmalarının etkisi de görülmüştür. Üretim teknolojisinin yetersiz oluşu, işleme tezgâhlarının istenilen değerleri sağlayamayacak durumda olması, tezgâh eksenel hareketlerinin kısıtlı ya da yetersiz oluşu dişli yanaklarının istenildiği gibi işlenememesine yol açabilmektedir. Yapılan çalışmada profil taşlama adı verilen tek taş ile taşlama yapılmıştır. Profil taşlama yönteminde tek yanak ve çift yanak taşlama yöntemi mevcuttur. Çift yanak yöntemi her iki dişli yanağını istikamet boyunca taşlayarak ilerlemektedir. Ancak örnek dişlimizde istenilen yüklü sürüş ve boşta sürüş yanakları farklı özelliklerde olması nedeni ile çift yanak yöntemi denenmiştir ve dişli yanak burulması gözlemlenmiştir ancak önüne geçilememiştir. Tek yanak yöntemi kullanılarak dişli yanak taşlanması yapılmıştır ve tezgâh farklı eksenel hareketlerinin istenildiği gibi hareket ettirilmesi sağlanmıştır. Her tezgâhta olan bir özellik olmaması nedeni ile örnek dişlimizin her tezgâhta istenilen değerlerin sağlanması mümkün değildir. Bu sebeple tezgâh yetenek ve kabiliyeti de dişli burulmasının önüne geçilmesi için imalat tarafından dikkate alınması gereken bir konudur. Salyangoz taş (Şekil 4.17) ya da sürekli taşlama da denilen diğer bir yöntem de mevcuttur. 5 modül altı dişliler için seri imalatta kullanılmaktadır. Teknolojik gelişmeler ile yapılan çalışmalarda 2015 yılından sonra imal edilen tezgâhlar da yanak burulmasını önleyici opsiyonlarda mevcuttur. Dişli burulması hatası kadar, bileyici tarafından taşlama taşına form verilmektedir ve hata miktarı kadar dişlinin yanaklarını farklı taşlamaktadır. Bu şekilde istikamet boyunca dişlinin yanakları farklı farklı taşlanmaktadır. Dişli burulması olayı ile birleştiğinde dişli tasarımda istenilen değerlere ulaşmaktadır. İstikamet boyunca dişli istenilen profil özelliklerini göstermekte ve istenilen dişli kalitesi sağlanabilmektedir. Ancak parçaya özel bileme diski gerekmesi nedeni ile pahalı bir prosestir. Tezgâh özelliklerinin yüksek olması nedeni ile tezgâh yatırım maliyetleri yüksektir. Patent sahiplerinin olması nedeni ile dişli burulmasının önüne geçilmesi için aynı taşlama yöntemini firmalar kullanamamaktadır. Bu sebeple çeşitli firmalar konu üzerine çalışmalar yapmakta, kendi patentlerine sahip olma çabası içindedirler. Tezgâh üreticileri makinelerine dişli burulmasının önüne geçecek ilave özellikleri eklemektedirler. Bu şekilde marka değerini arttırmakta ve yaptıkları makineler ile dişli kalitesini sağlayabilmektedirler.

7. KAYNAKLAR

Akkurt, M. (2000). *Makina Elemanları. .* İstanbul: Birsen Yayınevi.

Babalık, F. C. (1997). *Makine Elemanları ve Konstrüksiyon örnekleri Cilt- 1 Uludağ Üniversitesi.* İstanbul: Ceylan Matbaacılık.

DIN 3961. (1978). *Tolerances for Cylinderical Gear Teeth, Deutsches Institut für Normung.* Germany.

Dudley, D. (1984). *Handbook Practical Gear Design* . New York: McGraw-Hill Book Company.

Duman, A. (2015, Mart). Silindirik Helisel Çarklarda Gerilmelerin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi. Çorum: Yüksek Lisans Tezi.

Graf, W. (2017). "Twist Control Grinding (TCG)". *Gear Technology www.geartechnology.com. (Haziran 2017).*, 48-53.

Gülesin, M.; Güllü, A.; Buldum, B. B. (2003). *Birimler, Formüller ve Çizelgeler.* Ankara: Seçkin Yayıncılık.

Güventürk, F. (1990). *Çelik El Kitabı.* İzmir: Güven Çelik San. ve Tic. Ltd.Şti. Yayınları.

Hall, A. (1982). *Hall, A.S., 1982. Schaum'soutline of Theory and Problems of Machine Design.* New York: McGraw-Hill Book Company.

Hu Zhang, C. F. (2014). Accurate Tooth Lead Crowning Without Twist in Cylindrical Helical Gear Grinding. *Advances in Mechanical Engineering*, 9.

Ikeno, K., & Yoshino, H. (1991). Tooth-Trace Crowning in Form Grinding of Helical Gears. *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers C.*, 2144-2148.

Isel, B. (2007). Dişliler İçin Yüzey Yorulması Test Cihazı Geliştirilmesi ve Yağ Sıcaklığının Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi,. Afyon: Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kapelevich, A. S. (2016). Analysis and Optimization of Contact Ratio of Asymmetric Gears. *International Conference on Power Transmissions*, 437-441.

Karpuschewski, B. K.-J. (2008). Gear Finishing by Abrasive Process. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 54-62.

Kobayashi, Y., Nishida,N., Ougiya,Y,. Nagata,H. (1995). Tooth Trace Modification Processing of Helix Gear by Form Grinding Method. *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers C*, 4088-4093.

Kutay, M. (2010). *Dişli Çarklar.*

Kyouıkugear. (2021, Şubat 15). *www.kggear.co.jp.* kggear: https://www.kggear.co.jp/en/wp-content/themes/bizvektor-global-edition/pdf/TechnicalData_KGSTOCKGEARS.pdf#view=Fit adresinden alındı

Lange, J. (2009). "How Are You Dealing With the Bias Error in You Helical Gears?". *Geartechnology*, 47-54.

Litvin,F.L., Gonzalez-Perez,I., Fuentes,A., Carvenali,L., Kawasaki,K., Handschuh,R.F. (2003). Modified Involute Helical Gears: Computerized Design,Simulation of Meshing and Stress Analysis. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 3619-3655.

Mehr, A., & Yoders, S. (2017). Efficient Hard Finishing of Asymmetric. *Geartecnology.com*, 76-83.

Özçilingir, N. (2006). *Zeki, Ş.İ., 2006. Hareket ve Güç İletme Elemanları 2.*

Senthilvelan, S. G. (2006). *Senthilvelan, S., Gnanamoorthy, R., 2006. Damping charachteristics of unreinforced, glass and carbon fiber reinforcednyl on 6/6 spurgears. Polymer Testing, 25, 56-62.*

Turich, R. (2010). Producing Profile And Lead Modifications İn Threaded Wheel And Profile Grinding. *Geartechnology*, 54-62.

Weber, T. (2013, Haziran 13). *Handling Twist*. www.geartechonogy.com: https://gearsolutions.com/features/handling-twist/ adresinden alındı

Yu-Ren Wu, V.-T. T.-H. (2016). A Tooth Flank Crowning Method by Applying A Novel Crossed Angle Function Between the Hob Cutter and Work Gear in The Gear Hobbing Process. *EDP Sciences*, 52.