İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALIN DİŞLİLERİN BİLGİSAYAR SİMÜLASYONU

Mak. Müh. İlker DURGUT
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman
Y. Doç. Dr. Cüneyt FETVACI

Şubat, 2009

İSTANBUL

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALIN DİŞLİLERİN BİLGİSAYAR SİMÜLASYONU

Mak. Müh. İlker DURGUT
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman
Y. Doç. Dr. Cüneyt FETVACI

Şubat, 2009

İSTANBUL

Bu çalışma 12/02/2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

<u>Tez Jürisi</u>

Y. Doç. Dr. Cüneyt FETVACI
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
(Tez Danışmanı)

Prof. Dr. Salim ÖZÇELEBİ
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Erdem İMRAK
İstanbul Teknik Üniversitesi
Makina Fakültesi

Doç. Dr. Erol UZAL
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Serdar BARIŞ
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Y. Doç. Dr. Cüneyt FETVACI'ya en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Bu tezi hazırlarken desteklerini her zaman esirgemeyen aileme, arkadaşlarımdan Araş. Gör. Hasan Ömür Özer'e, Araş. Gör. Birkan Durak'a ve diğer tüm Makine Mühendisliği Bölümü hocalarıma teşekkürü borç bilirim.

Şubat, 2009 **İlker DURGUT**

İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ

TABLO LİSTESİ

SEMBOL LİSTESİ

$\mathbf{a_c}$	: Kesici takımın yüksekliğini tayin eden parametre
$\mathbf{a_t}$	: Kesici takımın dizayn parametresi
$\mathbf{b_c}$	: Kesici takım diş kalınlığının yarısı
$\boldsymbol{\beta}$	: Helis açısı
e	: Profil kaydırma faktörü
$\mathbf{l_i}$	: Kremayer takımın kurvilineer koordinatları, i=a, b, c, d, e, f
$\mathbf{[M_{cn}]}$	: S_n koordinat sisteminden S_c koordinat sistemine dönüşüm matrisi
$\mathbf{[M_{1c}]}$	: S_c koordinat sisteminden S_1 koordinat sistemine dönüşüm matrisi
$\mathbf{m_n}$	: Normal modül
$\mathbf{m_a}$	: Alın modül
$\mathbf{n_n}$	: Kremayer takımın birim normal vektörü
r	: Takım ucu yuvarlatma yarıçapı
$\mathbf{r_2}$	: Takım ucu yuvarlatma yarıçapı
$\mathbf{r_{p1}}$	: Taksimat dairesi yarıçapı
S	: Kremayer takımın ötelenme mesafesi
$\mathbf{S_n}$	: Kartezyen koordinat sistemi
$\mathbf{S_h}$	: Referans koordinat sistemi
$\mathbf{S_c}$	: Kremayer takımın koordinat sistemi
$\mathbf{S_1}$	: Dişlinin koordinat sistemi
$\mathbf{V_c^{c1}}$	: Takım ile taslak arasındaki izafi hız
$\boldsymbol{\phi_{c1}}$	: Dişli sol kenar kavrama açısı
$\boldsymbol{\phi_{c2}}$	: Dişli sağ kenar kavrama açısı
$\boldsymbol{\phi_{p1}}$	: Dişli taslağın yuvarlanma açısı

ÖZET

ALIN DİŞLİLERİN BİLGİSAYAR SİMÜLASYONU

"Alın Dişlilerin Bilgisayar Simülasyonu" isimli tez çalışmasında, bilgisayar simülasyonunda ilk basamak olan ve ileri nümerik analizler içinde referans teşkil eden dişli çarkların katı modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Sayısal metodlarla gerilme analizinide kapsayan güvenilir kompüterize edilmiş dişli dizaynı için öncellikle diş yüzeylerinin hassas geometrik ifadesi gereklidir.

Dişli çarkların analitik mekaniği esas alınarak, literatürde evolvent diş yanağı ve kök profilini tanımlayan ifadeler sunulmaktadır. Tez çalışmasında kullanılan matematiksel model profilin hassas ifadesini sağlayan Litvin'in Vektör Yaklaşımı'nı esas almaktadır. Vektör gösterim, matris dönüşüm, diferansiyel geometri ve eş çalışma denklemlerini kullanılarak dişli çark profili hassas olarak ifade edilmiştir. Alttan kesme incelenmiştir. Çeşitleme konstrüksiyonuna örnek olan asimetrik evolvent diş profili çalışmada göz önüne alınmıştır. Asimetrik profil mekanizmanın boyut ve ağırlığını düşürmekte ve yük taşıma kapasitesini artırmaktadır.

Dişli çark matematiksel modelinin bilgisayar ortamına aktarılması Matlab programlama dili ile yazılan bir program ile gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan bu programın çıkış dosyaları dişli çarkın geometrisini tayin eden noktaların koordinatları ile AutoCAD katı modelleme programında diş geometrisini otomatik çizen komut listesini içermektedir. İki ve üç boyutlu diş geometrisini gösteren grafikler elde edilmiştir. Ayrıca kesici takımın diş açmada takip ettiği yörüngesi simüle edilerek görselleştirilmiştir.

Geliştirilen program farklı dizayn parametreleri için çalıştırılmış ve kavrama açısının, asimetrinin ve profil kaydırmanın imal edilen asimetik evolvent profilli helisel dişli üzerindeki etkileri görselleştirilerek incelenmiştir. Sonuçlar karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

Sonuç olarak, bu çalışmada incelenen matematiksel model ve sunulan programlama yaklaşımı kremayer-tipi kesici takımın dizayn parametrelerinin imal edilen alın dişli çark geometrisi üzerindeki etkilerini imalattan önceleme inceleme fırsatını sağlamaktadır. Ayrıca bu simülasyon uygun düzenlemelerle bundan sonra yapılabilecek dişli çark sonlu eleman modellemesinde de kullanılabilir.

SUMMARY

COMPUTER SIMULATION OF SPUR AND HELICAL GEARS

In this thesis entitled “Computer simulation of spur and helical gears”, solid modeling of involute gears which is the first step of computer simulation and further numerical analysis first step of them have been studied. An accurate geometrical representation of gear tooth surfaces is necessary for a reliable computerized gear design which includes numerical methods for stress analysis.

Based on analytical mechanics of gears, parametric equations describing involute profile and root fillet profile of the gear teeth have been presented in literature. The matematical model used in this thesis is based on Litvin’s Vector Approach which provides accurate representation of tooth geometry. By applying the equations of designed profile of rack cutter, the principle of coordinate transformation, the theory of differential geometry, and the theory of gearing, the mathematical models of involute helical gear are given. Also undercutting of the generated gear has been studied. As an application of variety design, asymmetric involute tooth geometry is considered. This gear type can reduce the size and the weight of gear and increase its load capacity.

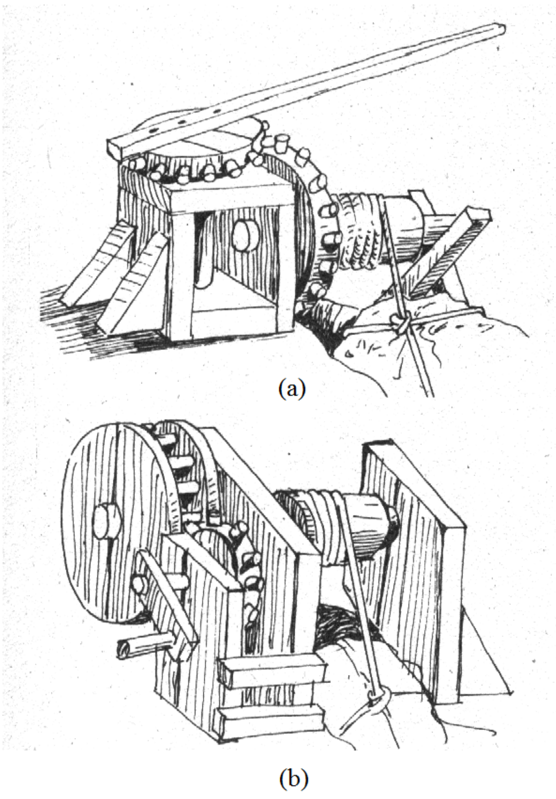
Computer implementation of the mathematical model is performed with a code written in Matlab programming language. The output of this program consists the coordinates of points which determines gear outline and list of commands that produces automatic generation of tooth profile in AutoCAD solid modelling software. Computer graphs of generated gears are obtained for two and three-dimensional gear geometry. Besides, the simulated motion path of the generating cutter is illustrated.

The program has been run for different design parameters and the effect of pressure angle, the degree of asymmetry, and the addendum modification on the generated tooth profile have been investigated using the computer graphs of helical gear with asymmetric involute teeth. The results are compared and discussed.

As a result we can say that, the matematical model and the proposed computer programming approach help us to investigate the effect of rack-type generating tool parameter on the generated tooth profile before manufacturing. For further studies, the proposed computer simulation based on the invesitgated mathematical model can be used for finite element modelling of asymmetric involute gears.

1. GİRİŞ

Dişli çarklar; aralarında bir kayma oluşmadan, iki mil arasında kuvvet ve hareket ileten elemanlardır. Güç iletme bakımından, mekanizmanın bir döndüren ve bir veya birkaç döndürülen elemanı vardır. Mekanizmanın çeviren dişlisine pinyon (genellikle küçük dişli), diğerine çark denir. Günümüzden takriben 3000 yıl öncesine kadar dişli çark düzenlerinden yararlanıldığı bazı arkeolojik kalıntı ve varsayımlardan anlaşılmaktadır. Bu tarihlerde daha çok büyük taş blokların taşınmasında manivela ve eğik düzlem düzenleri kullanılmaktaydı, çok primitif olmakla beraber dişli çark yöntemi de bu düzenlerle ortaklaşa kullanılmış, daha sonraları tahtadan yapılmış bu düzenler hareket ve yük iletiminde kullanılmıştır. Bu düzenekler Şekil 1.1'de (Çakmak, 1980) gösterilmiştir. Geçmiş yıllardan beri insanoğlunun kullandığı dişli çarklar kullanılma alanlarına göre çeşitli tiplerde üretilmeye başlanmış, her gün üretim teknikleri ve tipleri geliştirilmiştir.



Şekil 1.1: Dişli düzenleri a) konik, b) düz

Tezin ikinci bölümde daha önce yapılan çalışmalar özetlenmiştir. Alın dişli çarkların sınıflandırılması yapılarak bilgiler verilmiştir. İmalat yöntemleri hakkında ayrıntılı detaylara yer verilmiş olup şekillerle görselleştirilmiştir. Ayrıca düz ve helisel dişli çarkların boyutlandırılması konusunda ifadeler bazında bilgiler gösterilmiş olup bu bilgiler programlama bazında da kullanılmıştır. Asimetrik dişli çarklar konusuna da değinilmiştir.

Tezin üçüncü bölümde asimetrik evolvent helisel dişli çarkların kremayer tip takımla imalatının matematiksel modellenmesi yapılmıştır. Yang'ın (2005) sunduğu matematiksel ifadeler kullanılmıştır. Asimetrinin standart takıma adapte edilmesi dışında herhangi bir kök veya profil modifikasyonu (bombeli diş gibi) dikkate alınmamıştır. Takım taksimat hattının taslak taksimat dairesine göre kaydırılması yuvarlanma denklemine ilave edilmiştir. Kesici takım ile taslak arasındaki izafi hız ve eş çalışma denkleminin diferansiyeli göz önüne alınarak alttan kesme şartı ve alttan kesmeyi önlemek için gerekli profil kaydırmanın tayini verilmiştir. Ayrıca dönme düzleminde diş profil analizi konusunda da bilgiler verilmiştir.

Tezin dördüncü bölümünde bilgisayarda Matlab dilinde bir matematiksel program geliştirilmiş çeşitli dişli parametreleri girdileri sağlanarak, mevcut dişli bölgeleri denklemleri sayesinde çıkış dosyaları oluşturulmuştur. Çıkış dosyaları AutoCAD çizim programında okutularak çizimler elde edilmiştir. Elde edilen çizimler örnekler halinde sunulmuş, giriş değerlerine göre farklılıkları gösterilmiştir. Ayrıca imal edilen dişlilerde bazı durumlarda meydana gelen alttan kesme incelenmiştir. İki ve üç boyutlu dişli katı modelleme örnekleri verilmiş ve diş açma imalat simülasyonu görselleştirilmiştir.

Tezin son bölümünde çeşitli dizayn parametrelerinin, imal edilen asimetrik düz ve helisel evolvent dişli çarkların geometrileri üzerindeki etkileri üzerine yorumlar yapılmış ve daha sonra yapılacak olan çalışmalar için örnek teşkil edecek gerekli bilgiler üzerinde durulmuştur

2. GENEL KISIMLAR

Dişli çarkların geometrileri ve bilgisayar simülasyonları için literatürde çeşitli yaklaşımlar ile sunulan ifadeler mevcuttur. Standart ve modifiye edilmiş çeşitli profiller için gerek kremayer tipi takım ve gerekse pinyon kesici takımla imal edilen diş yüzeylerini matematiksel modelleyen çalışmalar (Tsay, 1988) literatürde sunulmaktadır. Rao ve Muthuveerappan (1992) helisel dişli çarkların gerilme analizini sonlu elemanlar metodu ile yaparken çalışmasında bir yandan da helisel dişli geometrisinin matematiksel model ifadeleri üzerinde çalışmıştır. Kapelevich ve diğ. (1999) çalışmaların da asimetrik düz dişli genel geometrisini ve faydalarını sunmuştur. Kleiss ve Kapelevich (2002) ise helisel ve düz evolvent dişlileri doğrudan dizayn metotu ile tasarımı üzerinde çalışmışlardır. Litvin (1994) vektör analiz, matris transformasyonu, diferansiyel geometri ve yuvarlanma denklemlerini kullanarak diş profillerini ve geometrik özelliklerini tanımlayan metotlar geliştirmiştir.

Yang (2005), Litvin'in (2004) vektör yaklaşımından hareketle asimetrik evolvent profilli alın dişli çarkların matematiksel modelini sunmuştur. Bunun yanısıra Yang (2007) asimetrik iç helisel dişlilerin, Liu ve Tsay (2000) ise konik dişli çarkların kesici takımının modellenmesinde aynı matematiksel model yaklaşımından faydalanmıştır. Ayrıca kremayer kesicinin simüle edilmiş hareketini görselleştirerek imal edilen düz ve helisel dişli üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar da literatürde (Chen and Tsay, 2005) mevcuttur. Fetvacı ve Imrak'ta (2008) çalışmalarında asimetrik düz dişli yüzeylerinin matematiksel modellenmesi üzerine çalışmalar yapmıştır ve kesici takımın diş açma simülasyonunu görselleştirerek sunmuştur. Kapelevich ve Shekhtman'da (2008) simetrik ve asimetrik dişli çarkların imalatında kullanılan kesici takımlardaki optimizasyonların dişlilerde ne gibi değişiklikler yaptığı üzerine çalışmalar yapmıştır.

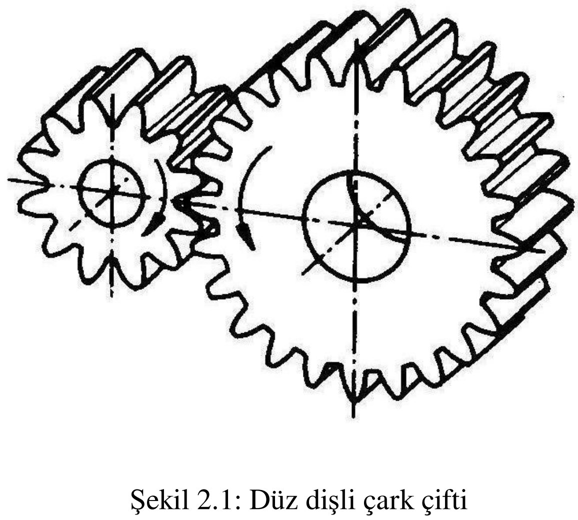
Çalışmada matematiksel modelinin sunulacağı evolvent profilli alın dişli çarkların sınıflandırılması, genel özellikleri ve imalatı ile ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir. Ayrıca son yıllarda ağırlık/güç optimizasyonu, gürültüsüz çalışma gibi yüksek performans istenen uygulamalarda tercih edilen asimetrik evolvent profilin özellikleri de açıklanmıştır.

2.1. ALIN DİŞLİ ÇARKLAR

Paralel millerin birbirlerine bağlanmasında kullanılan dişli çarklar alın dişli çarklar olarak adlandırılır. Alın dişli çarklar Düz, Helisel ve Herringbone dişliler olarak sınıflandırılır. Her bir tip aynı zamanda iç dişli olarak da imal edilebilir ve kremayer mekanizması olarak tertip edilebilir.

2.1.1. Düz Dişli Çarklar

Düz dişli çarkların imalatı, kontrol ve muayenesi helisel dişli çarklara nazaran daha kolaydır. Montaj sırasında gerektiğinde kolaylıkla rektifiye edilebilirler. Düz dişli çarkların helisel dişli çarklarla kıyaslandığında en önemli dezavantajı kavrama prosesindedir. Düz dişli çarklarda bir eş diş çiftinin teması kendi bütün uzunlukları boyunca ani olarak meydana gelir. Bu nedenle herhangi bir taksimat (diş boşluğu) hatası girişime ve gürültüye sebep olmaktadır. Genellikle taksimat hattı hızının 10 m/s'den küçük olduğu ve düşük yük taşıyan uygulamalarda kullanılır. Düz dişli çarklar kavrama esnasında veya haricinde çarkların eksenel hareket ettiği durumlarda da (vites kutuları) kullanılır. Şekil 2.1'de bir düz dişli çark mekanizması gösterilmektedir.

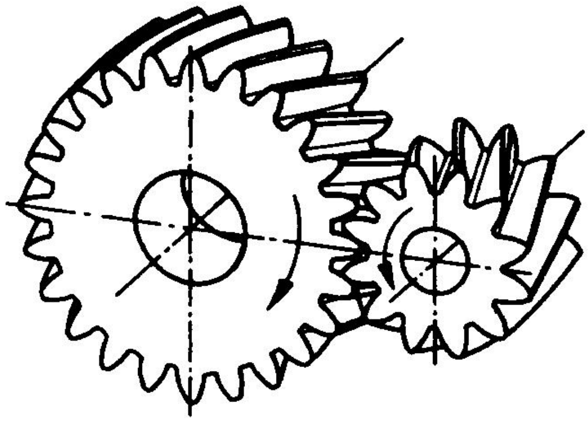


Şekil 2.1: Düz dişli çark çifti

2.1.2. Helisel Dişli Çarklar

Helisel dişli çarklar dişli imalat tezgahlarının çoğunda imal edilebilir. Daha geniş olduğu için imalatları uzun sürer, bu nedenle aynı boyuttaki düz dişliye göre pahalıdır.

Bununla birlikte aynı boyuttaki düz dişliye nazaran %50 daha fazla yük taşır. Helisel dişli çarklar verilen bir güçte düz dişliye nazaran kompakt bir dizayn arz ederler. Şekil 2.2'de bir helisel dişli çark mekanizması gösterilmektedir.



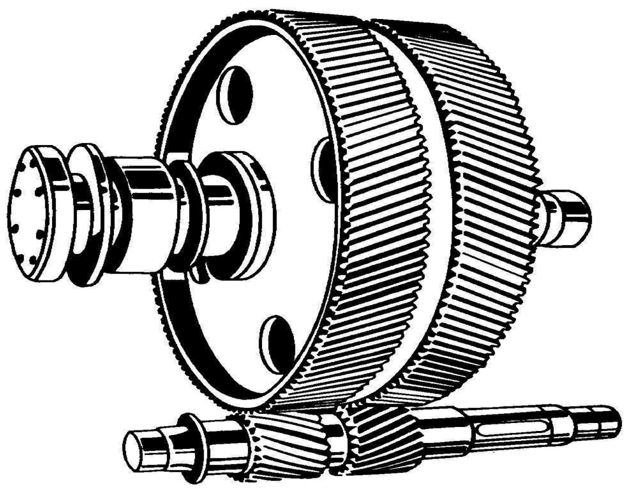
Şekil 2.2: Helisel dişli çark çifti

Dişlerin devreye girmesi tedrici olduğundan sessiz çalışırlar ve böylece taksimat hattı hızının 10 m/s den büyük olduğu uygulamalarda da kullanılırlar. Çalışma esnasında, helis açısı nedeniyle eksenel yönde de diş kuvveti meydana gelir. Bu da yatak seçimi bakımından düz dişlilere göre dezavantaj teşkil eder.

2.1.3. Ok (Herringbone veya çift helis) Dişli Çarklar

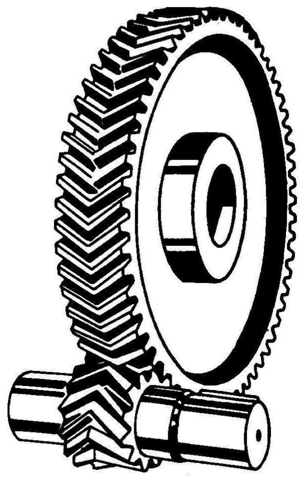
Herringbone (çift helis) dişli çarklar helisel dişli çark ile aynı karakteristik özellikleri taşımakla birlikte, zıt yöndeki helisler nedeniyle eksenel yöndeki kuvvetler birbirlerini dengelemekte ve böylece eksenel kuvvet meydana gelmemektedir.

Sağ ve sol helis arasında yiv varsa bu takdirde çift helis dişli olarak adlandırılır. Şekil 2.3'de bir çift helis mekanizması gösterilmektedir. Şekil 2.4'de gösterilen arada yivin olmadığı Herringbone dişlilerde ise yüksek hızlarda helislerin birleştiği uçlarda gürültüye sebebiyet veren yağ sıkışması meydana gelir. Aynı zamanda yüksek hızlarda sıcaklık artmaktadır. Yivin diğer bir faydası eksenel yüke bağlı olarak meydana gelen diş kırılmasını minimize etmesidir. Uygulamada en fazla kullanılan helis açısı 30° dir. İç dişli çark imalinde, kesici takımın hareketi açısından yiv olması zorunludur.



Şekil 2.3: Çift helis

Şekil 2.4'de bir Herringbone dişli mekanizması görülmektedir. Helislerin kesintisiz birleşmesi nedeniyle, yüksek hızlarda birleşme yerinde yağ sıkışması meydana gelmektedir. Bu nedenle gürültülü çalışırlar. Helislerin birleşme yerinde gerilme yığılması vardır. Bu da dişin kırılma ihtimalini arttıran olumsuz bir etkendir. Herringbone dişli çarklar iç dişli çark olarak imal edilemezler. Kesici takımın hareketi için arada yiv olması gerekmektedir.



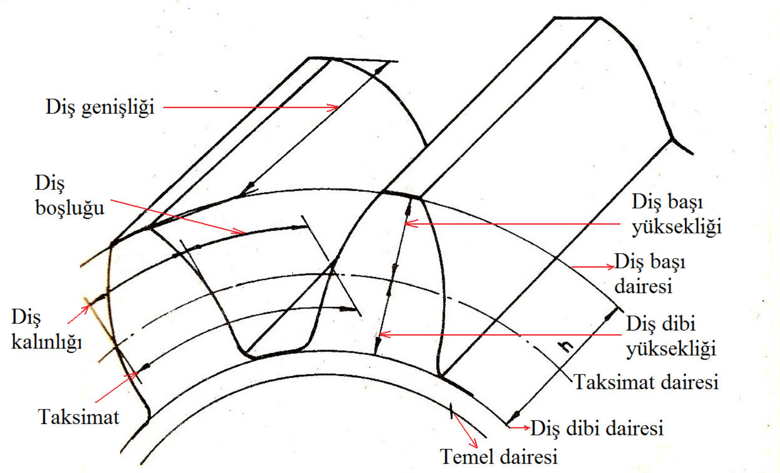
Şekil 2.4: Herringbone dişli

2.2. DİŞLİ ÇARKLARIN ANA BOYUTLARI

Düz dişli çarklar için ifade edilen temel kavramlar ve boyutlar genel bir anlam taşımaktadır. Bu kavramlar diğer dişli çarklar içinde geçerlidir ve burada elde edilen denklemler az bir değişiklikle diğer dişli çarklara da uygulanabilir.

2.2.1. Düz Dişli Çarkın Boyutlandırılması

Bir düz dişli çarkın ana boyutları Şekil 2.5'te ve boyutlar arasındaki bağıntılar ise aşağıda gösterilmiştir. Burada "z" diş sayısını, "m" modülü ifade etmektedir.



Şekil 2.5: Düz dişli çarka ait boyutlar

Taksimat;

$$t_0 = \pi m \qquad (1.1)$$

Diş başı yüksekliği;

$$h_b = m \qquad (1.2)$$

Diş dibi yüksekliği;

$$h_t = 1.25m \qquad (1.3)$$

Diş başı dairesi çapı;

$$d_b = d_0 + 2h_b = d_0 + 2m \qquad (1.4)$$

Diş dibi dairesi çapı;

$$d_t = d_0 - 2h_t = d_0 - 2.5m \qquad (1.5)$$

Temel dairesi çapı;

$$d_g = d_0 \cos \alpha_0 \qquad (1.6)$$

Taksimat dairesi çapı;

$$d_0 = mz \tag{1.7}$$

Diş kalınlığı;

$$S_0 = \frac{t_0}{2} \tag{1.8}$$

Diş başı boşluğu;

$$l_0 = \frac{t_0}{2} \tag{1.9}$$

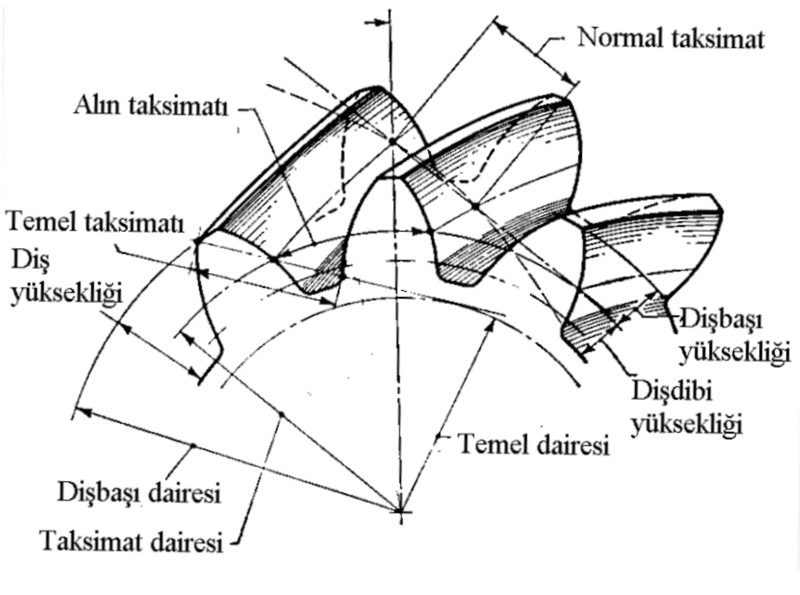
Toplam diş yüksekliği;

$$h = 2.25m \tag{1.10}$$

eşitlikleri ile ifade edilir (Cürgül, 1993).

2.2.1. Helisel Dişli Çarkın Boyutlandırılması

Bir helisel dişli çarkın ana boyutları Şekil 2.6'da ve boyutlar arasındaki bağıntılar aşağıda gösterilmiştir. Burada "z" diş sayısını, "m_n" normal modülü, "m_a" alın modülü ve "β_0" helis açısını ifade etmektedir.



Şekil 2.6: Helisel dişli çarka ait boyutlar

Alın modül;

$$m_a = \frac{m_n}{\cos\beta} \tag{1.11}$$

Alın taksimat;

$$t_a = \pi m_a \tag{1.12}$$

Normal taksimat;

$$t_n = \pi m_n \tag{1.13}$$

Diş başı yüksekliği;

$$h_b = m_n \tag{1.14}$$

Diş dibi yüksekliği;

$$h_t = 1.25 m_n \tag{1.15}$$

Diş başı dairesi çapı;

$$d_b = d_0 + 2m_n \tag{1.16}$$

Diş dibi dairesi çapı;

$$d_t = d_0 - 2.5m_n \tag{1.17}$$

Temel dairesi çapı;

$$d_g = d_0 \cos\alpha_{a0} \tag{1.18}$$

Taksimat dairesi çapı;

$$d_0 = \frac{m_n z}{\cos\beta} = m_a z \tag{1.19}$$

Taksimat dairesindeki diş kalınlığı;

$$S_{n0} = \frac{t_n}{2} = \frac{\pi m_n}{2} \tag{1.20}$$

Diş başı boşluğu;

$$S_b = 0.25 m_n \tag{1.21}$$

Toplam diş yüksekliği;

$$h = 2.25 m_n \tag{1.22}$$

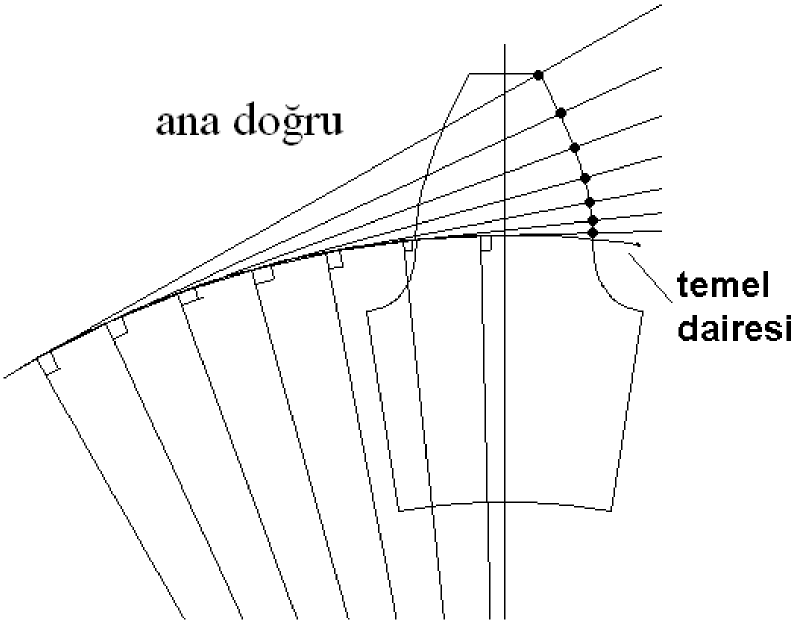
eşitlikleri ile ifade edilir (Cürgül, 1993).

2.3. DİŞLİ ÇARKIN İMALATI

Dişli çarkların imalatında ilk olarak dikkat edilecek husus dişlinin hangi profilde imal edileceğini belirlemektedir. Bunun içinde dişliyi imal edilecek takımda profil olarak evolvent ve sikloid profiller kullanılır. Fakat günümüzde çoğunlukla evolvent profilli dişliler imal edilmektedir. Evolvent bir daire üzerinde kaymadan yuvarlanan bir doğruya ait noktanın geometrik yeridir. Evolvent profilin sıklıkla kullanılmasının nedenleri;

- Hassas dişli çarkların kolaylıkla basit imalatına olanak verir.
- Aktarılabilen dönme momentini arttırarak verimi arttırır.
- Kavrama eğrisi bir doğru ve kavrama açısı sabit olduğundan diş yükü titreşimsiz olarak etki eder. Hareket düzgünlüğünü ve ömrü arttırır.
- Fazla ısınmaya engel olur.
- Dişlerin aşınmasına engel olur.
- Eksenler arasındaki mesafede küçük oynamalara toleranslıdır. Çevrim oranı etkilenmez.
- Yuvarlanma metodu ile verilen bir modül için tüm diş sayılarında dişliler imal edilebilir.

Şekil 2.7'de (Fetvacı ve İmrak, 2008) evolvent diş profilinin nasıl oluştuğu gösterilmektedir. Temel dairesine teğet doğrular aynı zamanda kavramada diş yükünün uygulanmasını simüle etmektedir.



Şekil 2.7: Diş profili olarak daire evolventi

2.3.1. Düz Dişli Çark İmalat Metotları

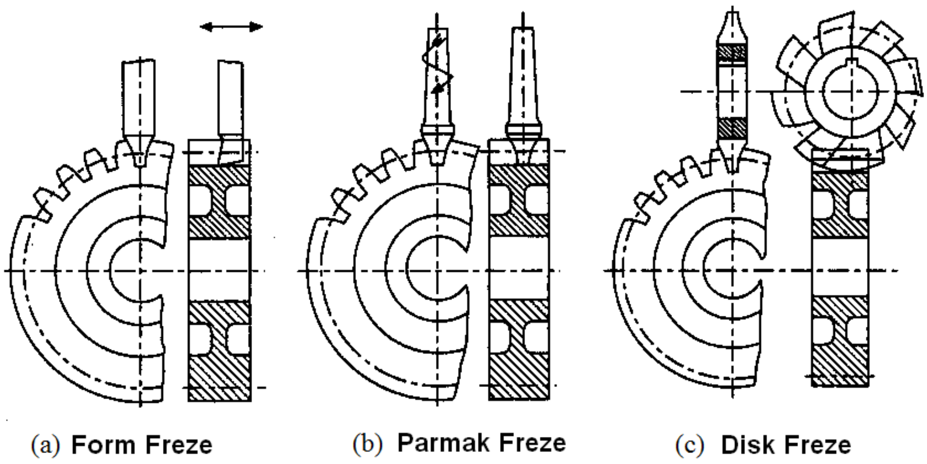
Dişli çarkların talaşlı imalatında kullanılan metotlar iki grupta toplanabilir.

- Kopyalama Metodu (Form Freze)
- Yuvarlanma Metodu (Çubuk Dişli Takım, Helisel Freze, Pinyon Bıçak)

2.3.1.1. Kopyalama Metodu (Form Freze)

Kopyalama metodunda imal edilen diş şekli kesici takımın aynısıdır. Kesici takımın profilinde herhangi bir hata aynı şekilde diş profilinde oluşur. Az sayıda imalat için küçük atölyelerde tercih edilmektedir. İmalatta Üniversal Freze Tezgahları kullanılır.

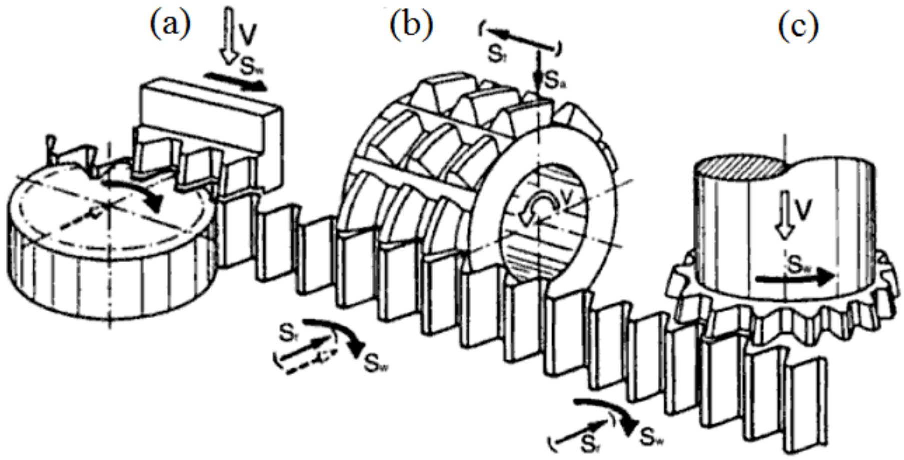
Form freze ile imalatta bıçak ham dişlide diş boşluğunu meydana getirmektedir. İşleme sırasında form freze kendi şeklini diş boşluğuna kopya eder ve böylece yan yana iki dişlinin iki yarım profilini meydana getirir. Kullanılan çeşitli takımlar Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



Şekil 2.8: Form freze ile imalat

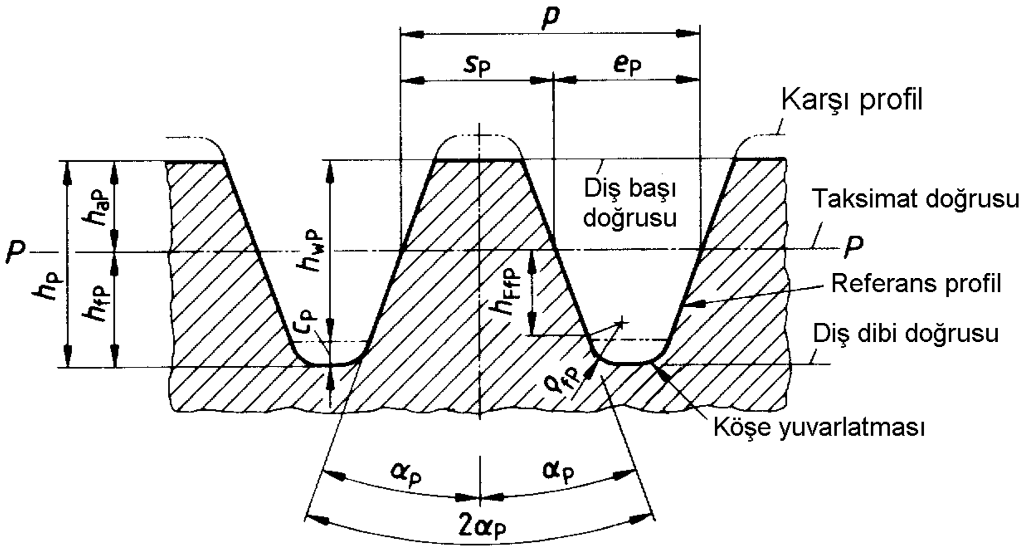
2.3.1.2. Yuvarlanma Metodu (Çubuk Dişli Takım, Helisel Freze, Pinyon Bıçak)

Yuvarlanma metodunda diş şekli kesici takımın ve ham dişlinin izafi hareketi ile oluşturulur. Bu metotla imalat daha kısa sürede büyük hassasiyetle gerçekleştirilir. Orta ve büyük ölçekli işletmelerde seri imalatta kullanılır. Yuvarlanma metodunun pratikte uygulanması Şekil 2.9'da (Akkurt, 1990) açıkça gösterilmektedir.



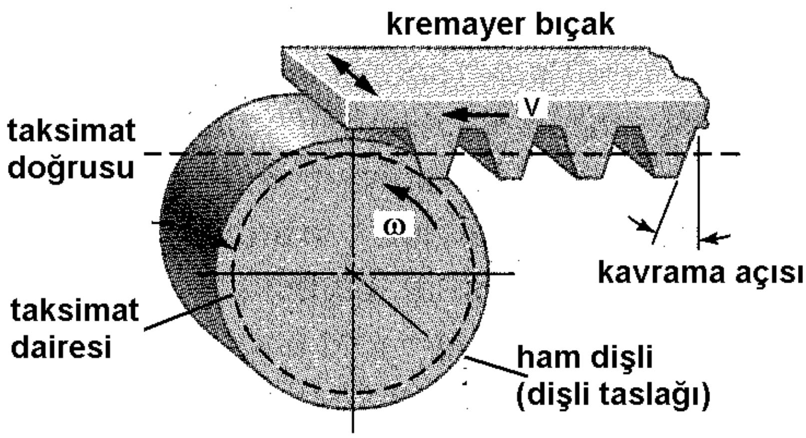
Şekil 2.9: Yuvarlanma metodunun pratikte uygulanması

Yuvarlanma metoduna göre imal edilmek koşulu ile bir grup evolvent profilli dişliden herhangi biri teorik olarak diğerlerinin kesici takımı olabilir. Böyle bir kesici takım kullanılarak imal edilecek bütün dişliler kendi aralarında eşleştirilebilirler. Buradan; çubuk dişlinin evolvent profilli dişli çarklar için referans olabilme özelliği ortaya çıkar. Referans profili diş sayısı sonlu olan profil kaydırmalı ve kaydırmasız dişlilerden oluşan aileye ait dişlilerin diş geometrisini belirler. Çubuk dişlinin profilinin bir doğru olması, bu dişlinin takım olarak kullanılması durumunda hassas ve düşük maliyetli olarak yapımına da imkân verir. Birçok standartta referans olarak kullanılan çubuk dişlinin ölçüleri Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.10: Evolvent profilli dişliler için referans profili.

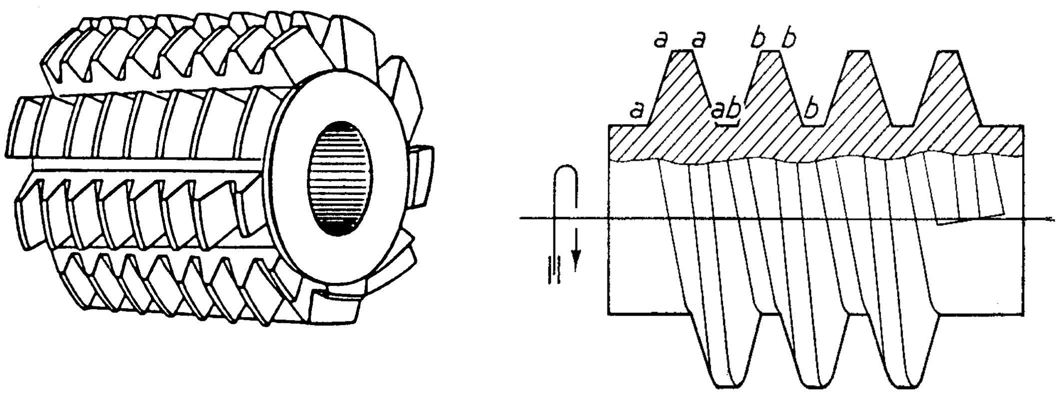
Şekil 2.11'de Çubuk dişli (kremayer) takımla diş imalatı prensibi görülmektedir. Takımın hareketi, v uniform hızlı sağdan sola düzgün bir yer değiştirmedir. Ham dişlinin hareketi ise, v hızına ve r_p ham dişli yarıçapına bağlı olarak, $\omega = v/r_p$ denklemi ile ifade edilen uniform açısal hızlı bir dönme hareketidir. Takıma aynı zamanda taslağın dönme eksenine paralel olarak bir ileri-geri hareketi verilmektedir.



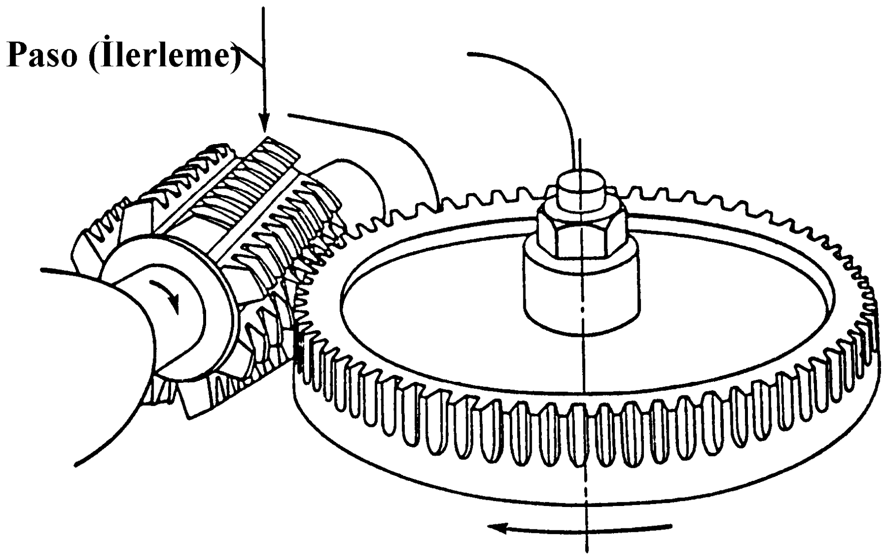
Şekil 2.11: Çubuk dişli takım (MAAG) ile dişli imalatı

Helisel Freze sonsuz vida olarak ele alınabilir (genel olarak ağız sayısı 1'dir). Vidaya eksenel yönde yivler açılarak kesici bıçak serisi oluşturulur. Vidanın eksenel kesiti Şekil

2.12’de gösterildiği gibi çubuk dişli olarak düşünülür. Frezenin dönmesi imajiner kremayerin öteleme hareketini simüle eder. Kesme işlemi esnasında freze ve ham dişli çark kendi eksenleri etrafında dönerler. Freze dönme hareketine ilave olarak çark eksenine paralel öteleme hareketi yapar. Helisel Freze (Azdırma) ile profil oluşturma Şekil 2.13’de görülmektedir.

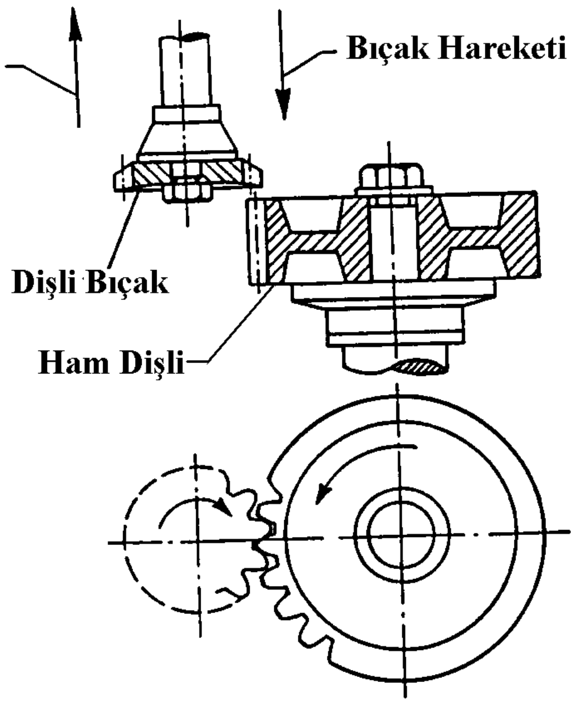


Şekil 2.12: Helisel freze bıçağı ve eksenel kesiti



Şekil 2.13: Helisel freze ile dişli imali

Pinyon bıçak gerçekte, diş alınlarının yüzeyleri taşlanıp arka kısımları boşaltılarak kesici ağız haline getirilmiş bir dişlidir. Bu kesici ile profil oluşturma biri takım olan iki dişli çarkın eş çalışmasını simüle etmektedir ve Şekil 2.14’te gösterilmektedir.



Şekil 2.14: Pinyon bıçak ile dişli imalatı

2.3.2. Helisel Dişli Çark İmalat Metotları

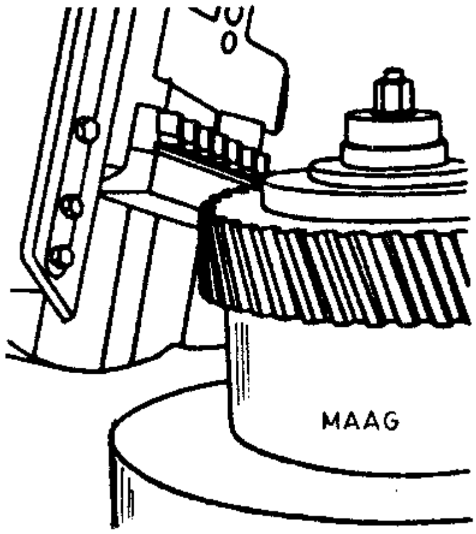
Düz dişli çarkların imalinde kullanılan talaşlı imalat metotları adapte edilerek helisel dişli çarkların imalinde de kullanılabilir.

2.3.2.1. Form Freze

Düz dişli çark imalinde form frezenin şekli ham dişli çark diş boşluğuna kopyalanmaktadır. Helisel dişlilerde diş boşluğu form freze ile aynı şekilde olmaz. Genel olarak form freze, ekseni dişlinin helis açısında olacak şekilde yerleştirilir. Form frezenin düzlemi imal edilecek helise teğettir. Bu yerleştirmede normal kesitte diş boşluğu kesici takım şeklindedir. Normal kesitte diş formu eşdeğer diş sayısındaki düz dişlinin formudur. Normal modüle ve eşdeğer diş sayısına göre form freze seçilir. Form freze ile diş açma metodu küçük atölyelerde tercih edilmektedir.

2.3.2.2. Çubuk Dişli Takım (MAAG)

Çubuk dişli takımla (düz dişli kremayer) helisel dişli imalatı yapılabilir. Takıma ham dişlinin ekseni ile helis açısı yapılacak şekilde kesme hareketi yaptırılır. Takım yine çark eksenine dik öteleme hareketi yapar. Şekil 2.15'te bu prensiple diş imal eden MAAG tezgahı gösterilmiştir.

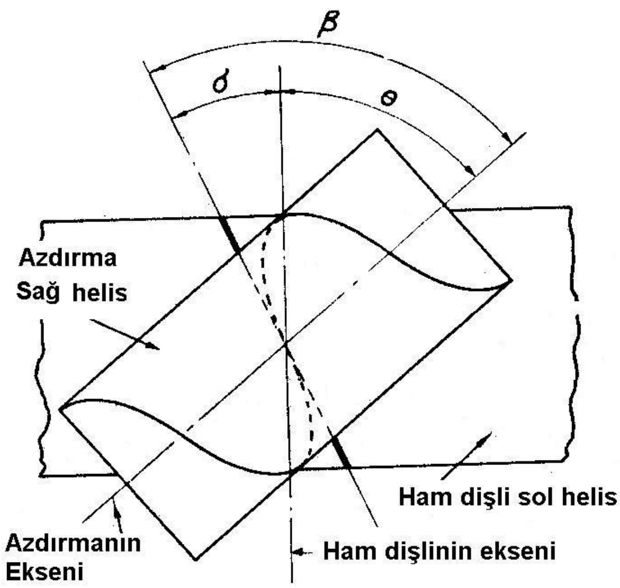


Şekil 2.15: Çubuk dişli takım (MAAG) ile helisel dişli imalatı

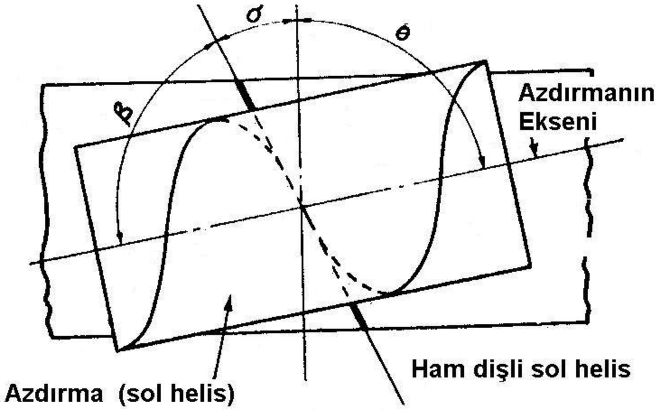
2.3.2.3. Helisel Frezeleme

Helisel frezelemede helisel dişli çark imalinin düz dişli çark imalinden farkı helisel freze bıçağının (Azdırmanın) ham dişliye olan konumu ve ham dişli ile olan diş sayıları oranıdır. Frezenin açısal konumu freze diş helisinin ham dişli diş helisine teğet olacak şekilde ayarlanır. Bu konumu sağlayacak θ açısı freze ve ham dişlinin helislerinin yönlerine (aynı veya farklı) bağlıdır.

Helislerin farklı yönde olduğu Şekil 2.16'da gösterilen $\theta = \beta - \sigma$'dir. Helislerin aynı olduğu Şekil 2.17'de gösterilen $\theta = 180 - (\beta - \sigma)$'dir. $\theta = \beta - \sigma$ ise freze sağ helis, $\theta = 180 - (\beta - \sigma)$ ise sol helis konumundadır.

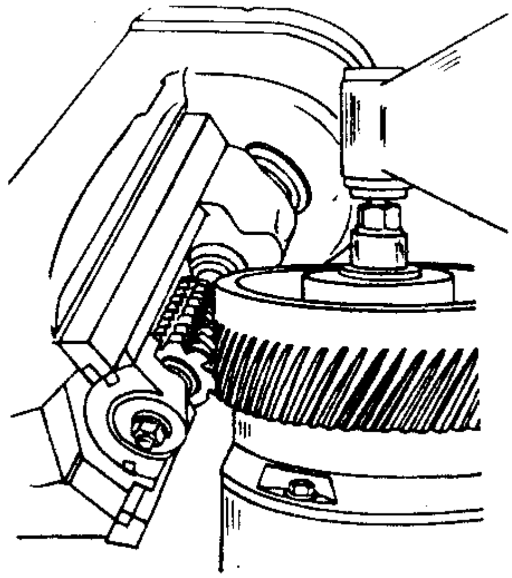


Şekil 2.16: Helisel frezenin sağ helis konumu



Şekil 2.17: Helisel frezenin sol helis konumu

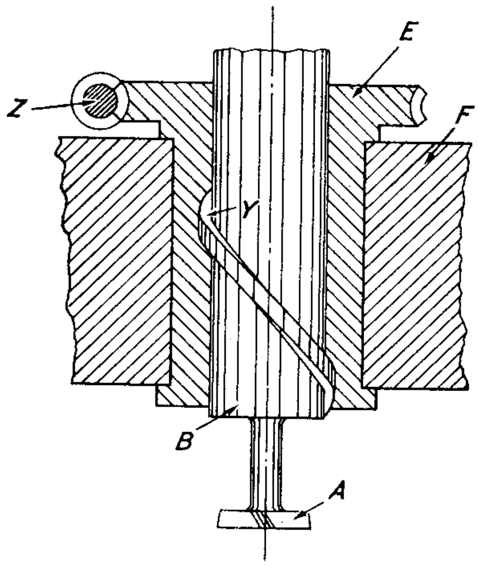
Frezenin ilerleme (paso) hareketi sırasında ham dişli (çark) genişliği boyunca helisel bir hareket yapabilmesi için çarkın ilave olarak dönmesi gereklidir. Verilen modül ve kavrama açısı için helisel freze tüm diş sayıları ve helis açılarında evolvent düz ve helisel dişlileri imal eder. Şekil 2.18’de tezgah resmi gösterilmiştir.



Şekil 2.18: Helisel freze ile helisel dişli imalatı

2.3.2.4. Pinyon Şeklinde Takım

Bu metot da kesici takım helisel dişli çark şeklindedir. Takıma genişlik boyunca helisel kesme hareketi verilerek helisel dişli imal edilebilir. Kesici takıma helisel hareketi veren vidalı hareket tertibatı Şekil 2.19'da görülmektedir.

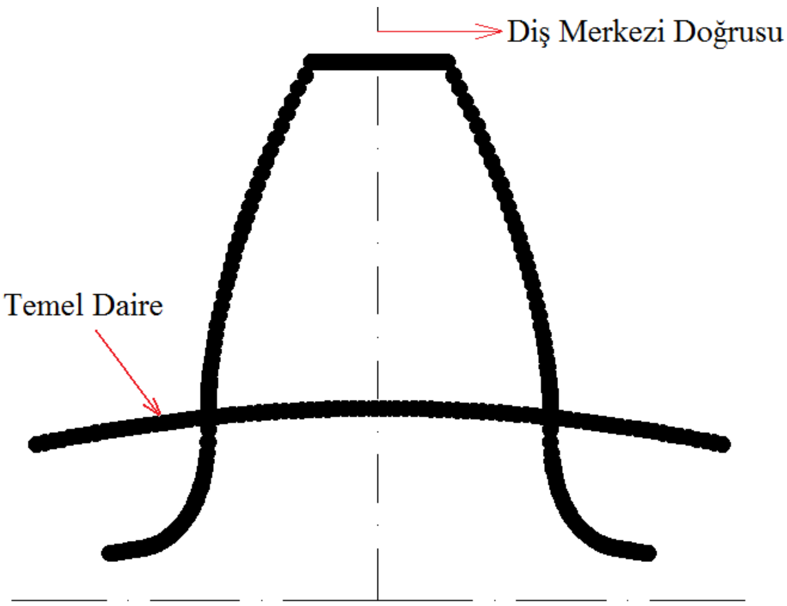


Şekil 2.19: Takıma helisel hareket verilmesi

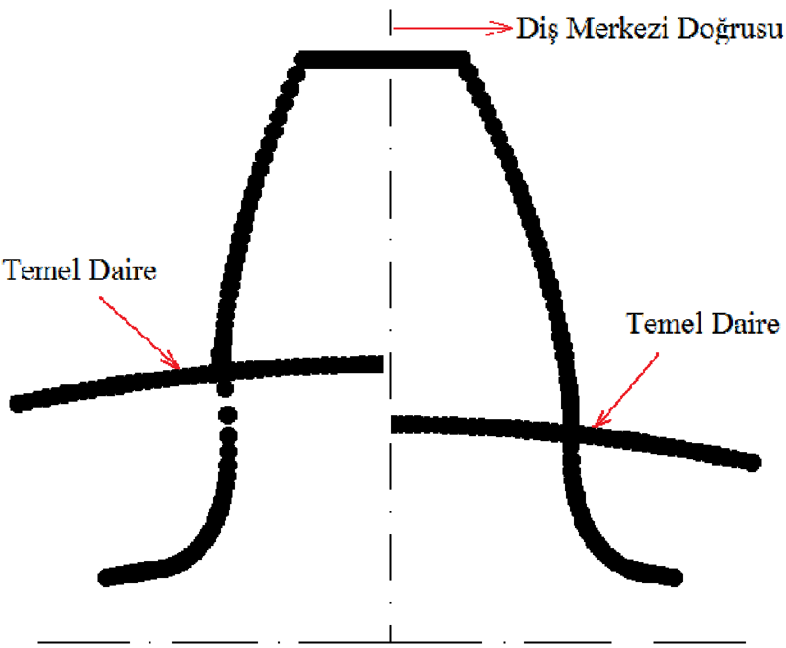
2.4. ASİMETRİK DİŞLİ ÇARKLAR

Dişli çark imalatçıları ve tasarımcıları daha kompakt ve yüksek yük taşıma kapasiteli dişli çiftlerini geliştirmek için çalışmalarına devam etmektedir. İmalatta kesici takıma verilen pozitif kaydırma veya yüksek kavrama açılı takım kullanılması kök kalınlığını arttırarak diş mukavemetini yükseltmektedir. Sivri tepe tehlikesi nedeniyle simetrik dişli çarklarda kavrama açısını arttırmak veya profil kaydırma miktarını arttırmak sınırlıdır. Performansı arttırmanın bir diğer yöntemi ise dişin tahrik ve arka tarafta farklı açı ile dizayn edildiği asimetrik dişli kullanmaktır. Birçok uygulamada moment tek bir yönde iletildiğinden tahrik yüzeyi ile pasif yüzeyin aynı açı ile dizayn edilmesine gerek yoktur. Tahrik tarafında 20°, pasif yüzeyde daha yüksek kavrama açısı kullanmak diş kökündeki eğilme gerilmelerini düşürmektedir. Pasif yüzeyde 20°, tahrik tarafındaki kavrama açısını arttırmak ise temas yüzey mukavemetini iyileştirmekte, yaylanma rijitliği ve yük paylaşımını ayarlayarak gürültü ve titreşimi azaltmaktadır (Kapelevich, 2000).

Özetle mekanizma ağırlık ve boyut bakımından optimize edilmekte, yük taşıma kabiliyeti iyileştirilmektedir. Havacılıkta turbo motorlu uçakların iki-kademeli planet dişli kutularında, otomotiv sanayinde taşıtların vites kutularında asimetrik profilli dişliler kullanılmaktadır. Kremayer tipi takım (kremayer veya azdırma kesici) ve pinyon şeklinde kesici yuvarlanma metodu ile dişli imalatında kullanılmaktadır. Şekil 2.20 ve Şekil 2.21’de simetrik bir dişli ile asimetrik bir dişli yapısı görsel olarak sunulmuştur.



Şekil 2.20: Simetrik dişli model



Şekil 2.21: Asimetrik dişli model

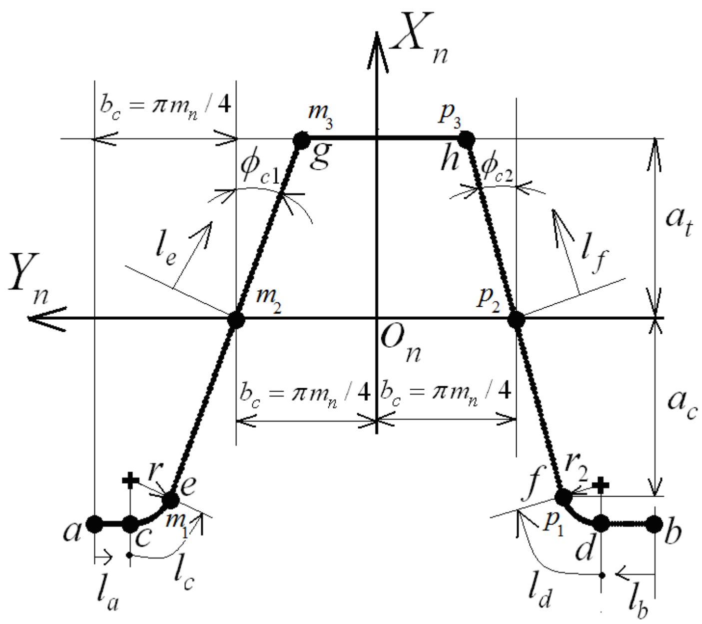
3. MALZEME VE YÖNTEM

Çalışmanın bu bölümünde alın helisel dişli çarkların bilgisayar simülasyonu için matematiksel modellenmesi ele alınmaktadır. Modellemede Litvin'in (2004) vektör metodunun esas alarak literatürde geliştirilen ifadeler kullanılmaktadır. Vektör metodunda ilk olarak kesici takımın vektörel ifadesi tesis edilir. Koordinat dönüşümü, diferansiyel geometri ve dişli ana kanunu esasları kullanılarak imal edilen dişlinin matematiksel modeli elde edilir. Kremayer tipi takım ve dişli model için matematiksel ifadeler aşağıdaki başlıklar da verilmektedir.

3.1. KESİCİ TAKIMIN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ

3.1.1. Normal Kesitte Kesici Takımın Matematiksel Modellenmesi

Kesici takımın matematiksel ifadesi, dişli çarkın matematiksel modellenmesinde ilk adımdır. Şekil 3.1'de asimetrik evolvent dişli çark imalatında kullanılan kremayer tipi takımın normal kesiti gösterilmektedir.



Şekil 3.1: Normal düzlemde asimetrik dişli kesici takım geometrisi

Takım sağ ve sol yanlarda referans eksenine göre farklı açılı üç bölgeden oluşmaktadır. Düz uçlar imal edilen asimetrik dişli çarkın tabanını, yuvarlatılmış köşeler dişli çarkın diş kökünü ve aktif kenarlarda evolvent yüzeyleri oluşturmaktadır. Sağ el kuralına göre tayin edilen kartezyen $S_n\left(X_n, Y_n, Z_n\right)$ koordinat sisteminin merkezi O_n noktası takım diş boşluğunun ortasında konumlandırılmıştır. Pozitif X_n ekseni diş boşluğu merkez ekseni doğrultusunda yukarı doğru ve Y_n ekseni taksimat hattı doğrultusunda sola doğru konumlandırılmıştır.

Şekil 3.1'de gösterildiği üzere, kesici takımın $\overline{ac}$ ve $\overline{bd}$ bölgeleri asimetrik helisel dişlinin tabanını oluşturmaktadır. $\overline{ac}$ bölgesindeki bir noktanın X_n eksenine göre yerini l_a parametresi tayin etmektedir. $\overline{ac}$ bölgesindeki l_a parametresi $0 \langle l_a \langle w$ aralığında tanımlıdır. w parametresinin değeri;

$$w = \frac{\pi m_n}{4} - a_c \tan\phi_{c1} - r\cos\phi_{c1} \tag{3.1}$$

formülü ile hesaplanır. Benzer şekilde $\overline{bd}$ bölgesinde bir noktanın X_n eksenine göre yerini l_b parametresi tayin etmektedir. $\overline{bd}$ bölgesindeki l_b parametresi $0 \langle l_b \langle w_2$ aralığında tanımlıdır. w_2 parametresinin değeri;

$$w_2 = \frac{\pi m_n}{4} - a_c \tan\phi_{c2} - r_2\cos\phi_{c2} \tag{3.2}$$

formülü ile hesaplanır. $S_n(X_n, Y_n)$ koordinat sisteminde $\overline{ac}$ ve $\overline{bd}$ bölgelerinin denklemleri aşağıdaki ifadeler ile tayin edilir.

$$R_n^{ac} = \begin{bmatrix} x_n^{ac} \\ y_n^{ac} \\ z_n^{ac} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a_c + r\sin\phi_{c1} - r \\ \dfrac{\pi m_n}{2} - l_a + c_y \pi m_n \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \tag{3.3}$$

$$R_n^{bd} = \begin{bmatrix} x_n^{bd} \\ y_n^{bd} \\ z_n^{bd} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a_c + r_2 \sin\phi_{c2} - r_2 \\ -\dfrac{\pi m_n}{2} + l_b + c_y \pi m_n \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \qquad (3.4)$$

$c_y = 0,1,2,...$ seçilerek takım istenilen sayıda diş oluşturularak tanımlanabilir. ϕ_{c1} ve ϕ_{c2}, sol ve sağ kenarların kavrama açılarıdır. a_c kesici takım diş başı yüksekliğini tayin eden parametredir.

$$b_c = \frac{\pi m_n}{4} \qquad (3.5)$$

takım diş kalınlığının yarısıdır. Normal modül m_n sembolüyle ve takım ucunun yuvarlatma yarıçapları r ve r_2 sembolleriyle gösterilmektedir.

$$r_2 = \frac{r\left(1-\sin\phi_{c1}\right)}{1-\sin\phi_{c2}} \qquad (3.6)$$

formülü ile hesaplanır.

Şekil 3.1'de gösterildiği üzere, kesici takımın $\overline{ce}$ ve $\overline{df}$ bölgeleri imal edilen dişli çarkın kök bölgelerini oluşturmaktadır. $\overline{ce}$ bölgesindeki bir noktanın yerini l_c parametresi tayin etmektedir. $\overline{ce}$ bölgesindeki l_c parametresi $0 \langle l_c \langle \frac{\pi}{2} - \phi_{c1}$ aralığında tanımlıdır. Benzer şekilde $\overline{df}$ bölgesinde bir noktanın yerini l_d parametresi tayin etmektedir. $\overline{df}$ bölgesindeki l_d parametresi $0 \langle l_d \langle \frac{\pi}{2} - \phi_{c2}$ aralığında tanımlıdır. $S_n(X_n, Y_n)$ koordinat sisteminde $\overline{ce}$ ve $\overline{df}$ bölgelerinin denklemleri aşağıdaki ifadeler ile tayin edilir.

$$R_n^{ce} = \begin{bmatrix} x_n^{ce} \\ y_n^{ce} \\ z_n^{ce} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a_c + r\sin\phi_{c1} - r\cos l_c \\ b_c + a_c \tan\phi_{c1} + r\cos\phi_{c1} - r\cos l_c + c_y \pi m_n \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \tag{3.7}$$

$$R_n^{df} = \begin{bmatrix} x_n^{df} \\ y_n^{df} \\ z_n^{df} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a_c + r_2\sin\phi_{c2} - r_2\cos l_d \\ -b_c - a_c \tan\phi_{c2} - r_2\cos\phi_{c2} + r_2\cos l_d + c_y \pi m_n \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \tag{3.8}$$

Şekil 3.1'de gösterildiği üzere, kesici takımın $\overline{eg}$ ve $\overline{fh}$ bölgeleri asimetrik sol ve sağ evolvent yüzeylerini oluşturmaktadır. $\overline{eg}$ bölgesindeki bir noktanın yerini l_e parametresi tayin etmektedir. $\overline{eg}$ bölgesindeki l_e parametresi $-\overline{m_1m_2}\langle l_e \langle \overline{m_2m_3}$ aralığında tanımlıdır. $\overline{m_1m_2}$ parametresinin değeri $\overline{m_1m_2} = \dfrac{a_c}{\cos\phi_{c1}}$ formülü ile hesaplanır. $\overline{m_2m_3}$ parametresinin değeri ise

$$\overline{m_2m_3} = \frac{a_t}{\cos\phi_{c1}} \tag{3.9}$$

olur. Benzer şekilde $\overline{fh}$ bölgesinde bir noktanın yerini l_f parametresi tayin etmektedir. $\overline{fh}$ bölgesindeki l_f parametresi $-\overline{p_1p_2}\langle l_f \langle \overline{p_2p_3}$ aralığında tanımlıdır. $\overline{p_1p_2}$ parametresinin değeri

$$\overline{p_1p_2} = \frac{a_c}{\cos\phi_{c2}} \tag{3.10}$$

formülü ile hesaplanır. $\overline{p_2p_3}$ parametresinin değeri ise

$$\overline{p_2p_3} = \frac{a_t}{\cos\phi_{c2}} \tag{3.11}$$

olur. $S_n(X_n, Y_n)$ koordinat sisteminde $\overline{eg}$ ve $\overline{fh}$ bölgelerinin denklemleri aşağıdaki ifadeler ile tayin edilir.

$$R_n^{eg} = \begin{bmatrix} x_n^{eg} \\ y_n^{eg} \\ z_n^{eg} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_e \cos\phi_{c1} \\ b_c - l_e \sin\phi_{c1} + c_y \pi m_n \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \tag{3.12}$$

$$R_n^{fh} = \begin{bmatrix} x_n^{fh} \\ y_n^{fh} \\ z_n^{fh} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_f \cos\phi_{c2} \\ -b_c + l_f \sin\phi_{c2} + c_y \pi m_n \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \tag{3.13}$$

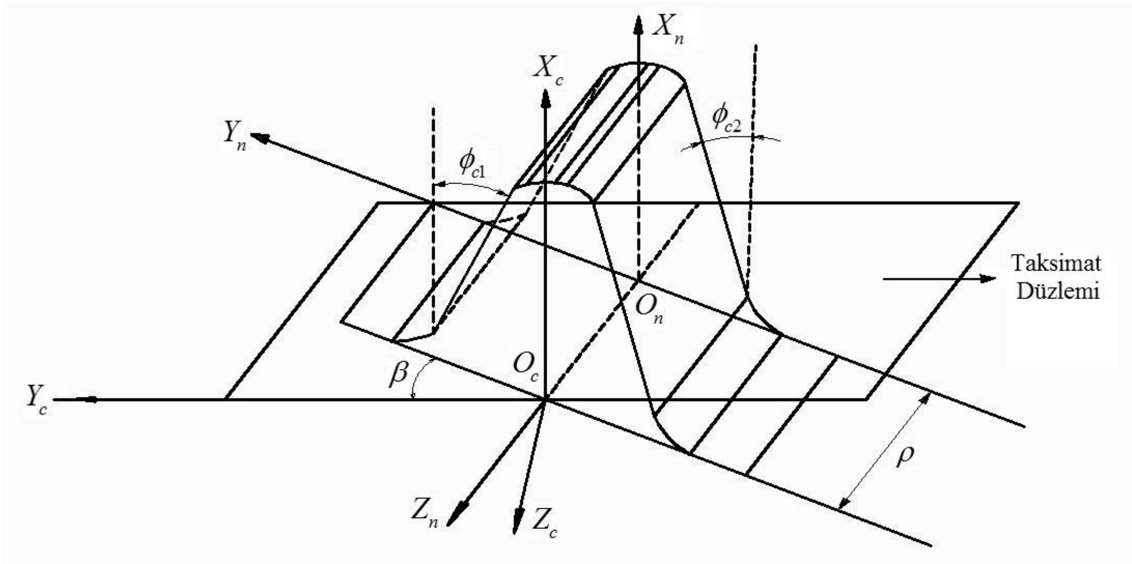
Diferansiyel geometriden, $S_n(X_n, Y_n)$ koordinat sisteminde tanımlı takım yüzeylerinin birim normal vektörleri aşağıdaki denklemle ifade edilir. Z ekseninin birim normal vektörü $\mathbf{k}_n$ ile gösterilmektedir.

$$\mathbf{n}_n^i = \frac{\dfrac{\partial \mathbf{R}_n^i}{\partial l_j} \times \mathbf{k}_n}{\left| \dfrac{\partial \mathbf{R}_n^i}{\partial l_j} \times \mathbf{k}_n \right|} \qquad \begin{matrix} (i = ac \sim fh) \\ (j = a \sim f) \end{matrix} \tag{3.14}$$

3.1.2. TAKIM YÜZEYİNİN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ

Helisel dişli çark imal için kremayer takım yüzeyinin simülasyonunda, O_n merkezli S_n koordinat sistemine bağlı normal kesit, $\overline{O_n O_c}$ doğrusu boyunca Şekil 3.2'de görüldüğü üzere ötelenir. Bu nedenle $\rho = \left|\overline{O_n O_c}\right|$ kesici yüzeyinin dizayn parametrelerinden biridir ve β imal edilen helisel dişlinin helis açısıdır. Helisel dişli çark profili oluşturmak için kullanılan S_c koordinat sisteminde kesici takımın yüzeyi homojen koordinatlarda ifade edilen dönüşüm matrisinin uygulanması ile elde edilir.

$$R_c^i = [M_{cn}] R_n^i \qquad (i = \overline{ac} \sim \overline{fh}) \tag{3.15}$$



Şekil 3.2: S_n ve S_c koordinat sistemleri arasındaki ilişki

Burada dönüşüm matrisi homojen koordinatlarda,

$$M_{cn} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\beta & -\sin\beta & -\rho\sin\beta \\ 0 & \sin\beta & \cos\beta & \rho\cos\beta \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{3.16}$$

ifadesiyle verilmektedir ve üst indis i sırasıyla $\overline{ac}$, $\overline{bd}$, $\overline{ce}$, $\overline{df}$, $\overline{eg}$ ve $\overline{fh}$ bölgelerini gösterir.

Böylelikle helisel kremayer kesicinin bölgelerinin denklemleri elde edilmektedir. Tabanını oluşturan $\overline{ac}$ yüzeyinin denklemleri aşağıdaki ifadelerle tayin edilir.

$$R_c^{ac} = M_{cn} R_n^{ac} \tag{3.17}$$

$$R_c^{ac} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\beta & -\sin\beta & -\rho\sin\beta \\ 0 & \sin\beta & \cos\beta & \rho\cos\beta \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -a_c + r\sin\phi_{c1} - r \\ \left(\dfrac{\pi m_n}{2} - l_a + c_y \pi m_n\right) \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \tag{3.18}$$

$$R_c^{ac} = \begin{bmatrix} x_c^{ac} \\ y_c^{ac} \\ z_c^{ac} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a_c + r\sin\phi_{c1} - r \\ \left(\dfrac{\pi m_n}{2} - l_a + c_y \pi m_n\right)\cos\beta - \rho\sin\beta \\ \left(\dfrac{\pi m_n}{2} - l_a + c_y \pi m_n\right)\sin\beta + \rho\cos\beta \\ 1 \end{bmatrix} \tag{3.19}$$

Tabanını oluşturan $\overline{bd}$ yüzeyinin denklemleri aşağıdaki ifadelerle tayin edilir.

$$R_c^{bd} = M_{cn} R_n^{bd} \tag{3.20}$$

$$R_c^{bd} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\beta & -\sin\beta & -\rho\sin\beta \\ 0 & \sin\beta & \cos\beta & \rho\cos\beta \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -a_c + r_2\sin\phi_{c2} - r_2 \\ \left(-\dfrac{\pi m_n}{2} + l_b + c_y \pi m_n\right) \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \tag{3.21}$$

$$R_c^{bd} = \begin{bmatrix} x_c^{bd} \\ y_c^{bd} \\ z_c^{bd} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a_c + r_2\sin\phi_{c2} - r_2 \\ \left(-\dfrac{\pi m_n}{2} + l_b + c_y \pi m_n\right)\cos\beta - \rho\sin\beta \\ \left(-\dfrac{\pi m_n}{2} + l_b + c_y \pi m_n\right)\sin\beta + \rho\cos\beta \\ 1 \end{bmatrix} \tag{3.22}$$

Kökü oluşturan $\overline{ce}$ bölgesinin denklemleri aşağıdaki ifadeler ile tayin edilir.

$$R_c^{ce} = M_{cn} R_n^{ce} \tag{3.23}$$

$$R_c^{ce} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\beta & -\sin\beta & -\rho\sin\beta \\ 0 & \sin\beta & \cos\beta & \rho\cos\beta \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -a_c + r\sin\phi_{c1} - r\cos l_c \\ \left(b_c + a_c\tan\phi_{c1} + r\cos\phi_{c1} - r\cos l_c + c_y \pi m_n\right) \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

(3.24)

$$R_c^{ce}=\begin{bmatrix}x_c^{ce}\\ y_c^{ce}\\ z_c^{ce}\\ 1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}-a_c+r\sin\phi_{c1}-r\cos l_c\\ \left(b_c+a_c\tan\phi_{c1}+r\cos\phi_{c1}-r\cos l_c+c_y\pi m_n\right)\cos\beta-\rho\sin\beta\\ \left(b_c+a_c\tan\phi_{c1}+r\cos\phi_{c1}-r\cos l_c+c_y\pi m_n\right)\sin\beta+\rho\cos\beta\\ 1\end{bmatrix} \tag{3.25}$$

Kökü oluşturan $\overline{df}$ bölgesinin denklemleri aşağıdaki ifadeler ile tayin edilir.

$$R_c^{df}=M_{cn}R_n^{df} \tag{3.26}$$

$$R_c^{df}=\begin{bmatrix}1&0&0&0\\0&\cos\beta&-\sin\beta&-\rho\sin\beta\\0&\sin\beta&\cos\beta&\rho\cos\beta\\0&0&0&1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}-a_c+r_2\sin\phi_{c2}-r_2\cos l_d\\ \left(-b_c-a_c\tan\phi_{c2}-r_2\cos\phi_{c2}+r_2\cos l_d+c_y\pi m_n\right)\\ 0\\ 1\end{bmatrix}$$

(3.27)

$$R_c^{df}=\begin{bmatrix}x_c^{df}\\ y_c^{df}\\ z_c^{df}\\ 1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}-a_c+r\sin\phi_{c2}-r_2\cos l_d\\ \left(-b_c-a_c\tan\phi_{c2}-r_2\cos\phi_{c2}+r_2\cos l_d+c_y\pi m_n\right)\cos\beta-\rho\sin\beta\\ \left(-b_c-a_c\tan\phi_{c2}-r_2\cos\phi_{c2}+r_2\cos l_d+c_y\pi m_n\right)\sin\beta+\rho\cos\beta\\ 1\end{bmatrix}$$

(3.28)

Evolvent profili oluşturan $\overline{eg}$ bölgesinin denklemleri aşağıdaki ifadeler ile tayin edilir.

$$R_c^{eg}=M_{cn}R_n^{eg} \tag{3.29}$$

$$R_c^{eg}=\begin{bmatrix}1&0&0&0\\0&\cos\beta&-\sin\beta&-\rho\sin\beta\\0&\sin\beta&\cos\beta&\rho\cos\beta\\0&0&0&1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}l_e\cos\phi_{c1}\\ \left(b_c-l_e\sin\phi_{c1}+c_y\pi m_n\right)\\ 0\\ 1\end{bmatrix} \tag{3.30}$$

$$R_c^{eg} = \begin{bmatrix} x_c^{eg} \\ y_c^{eg} \\ z_c^{eg} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_e \cos\phi_{c1} \\ \left(b_c - l_e \sin\phi_{c1} + c_y \pi m_n\right)\cos\beta - \rho\sin\beta \\ \left(b_c - l_e \sin\phi_{c1} + c_y \pi m_n\right)\sin\beta + \rho\cos\beta \\ 1 \end{bmatrix} \tag{3.31}$$

Evolvent profili oluşturan $\overline{fh}$ bölgesinin denklemleri aşağıdaki ifadeler ile tayin edilir.

$$R_c^{fh} = M_{cn} R_n^{fh} \tag{3.32}$$

$$R_c^{fh} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\beta & -\sin\beta & -\rho\sin\beta \\ 0 & \sin\beta & \cos\beta & \rho\cos\beta \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} l_f \cos\phi_{c2} \\ \left(-b_c + l_f \sin\phi_{c2} + c_y \pi m_n\right) \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \tag{3.33}$$

$$R_c^{fh} = \begin{bmatrix} x_c^{fh} \\ y_c^{fh} \\ z_c^{fh} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_f \cos\phi_{c2} \\ \left(-b_c + l_f \sin\phi_{c2} + c_y \pi m_n\right)\cos\beta - \rho\sin\beta \\ \left(-b_c + l_f \sin\phi_{c2} + c_y \pi m_n\right)\sin\beta + \rho\cos\beta \\ 1 \end{bmatrix} \tag{3.34}$$

$\beta = 0$ alındığında düz dişliyi imal eden takımın üç boyutlu matematiksel modeli elde edilir.

Diferansiyel geometriden, S_c koordinat sisteminde 3.15 numaralı denklemde verilen kremayer kesici yüzeyinin birim normal vektörleri 3.35 numaralı denklem ile tayin edilir.

$$\mathbf{n}_c^i = \frac{\dfrac{\partial \mathbf{R}_c^i}{\partial l_j} \times \dfrac{\partial \mathbf{R}_c^i}{\partial \rho}}{\left| \dfrac{\partial \mathbf{R}_c^i}{\partial l_j} \times \dfrac{\partial \mathbf{R}_c^i}{\partial \rho} \right|} \qquad \begin{matrix} (i = \overline{ac} \sim \overline{fh}) \\ (j = a \sim f) \end{matrix} \tag{3.35}$$

Her bölge için kremayer kesici takımın birim normal vektörleri bulunur ve bu vektörler sonrasında eş çalışma denklemlerinin tayininde kullanılır. Aşağıda kesici takımın her bölgesinin birim normal vektörleri verilmiştir.

$\overline{ac}$ bölgesi için normal vektör aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\mathbf{n}_c^{ac} = \frac{\dfrac{\partial \mathbf{R}_c^{ac}}{\partial l_a} \times \dfrac{\partial \mathbf{R}_c^{ac}}{\partial \rho}}{\left| \dfrac{\partial \mathbf{R}_c^{ac}}{\partial l_a} \times \dfrac{\partial \mathbf{R}_c^{ac}}{\partial \rho} \right|} \tag{3.36}$$

$$\overrightarrow{n_c^{ac}} = n_{c_X}^{ac} \cdot \vec{i} + n_{c_Y}^{ac} \cdot \vec{j} + n_{c_Z}^{ac} \cdot \vec{k} \tag{3.37}$$

$$n_c^{ac} = \begin{Bmatrix} n_{c_X}^{ac} \\ n_{c_Y}^{ac} \\ n_{c_Z}^{ac} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -1 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \tag{3.38}$$

$\overline{bd}$ bölgesi için normal vektör aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\mathbf{n}_c^{bd} = \frac{\dfrac{\partial \mathbf{R}_c^{bd}}{\partial l_b} \times \dfrac{\partial \mathbf{R}_c^{bd}}{\partial \rho}}{\left| \dfrac{\partial \mathbf{R}_c^{bd}}{\partial l_b} \times \dfrac{\partial \mathbf{R}_c^{bd}}{\partial \rho} \right|} \tag{3.39}$$

$$\overrightarrow{n_c^{bd}} = n_{c_X}^{bd} \cdot \vec{i} + n_{c_Y}^{bd} \cdot \vec{j} + n_{c_Z}^{bd} \cdot \vec{k} \tag{3.40}$$

$$n_c^{bd} = \begin{Bmatrix} n_{c_X}^{bd} \\ n_{c_Y}^{bd} \\ n_{c_Z}^{bd} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \tag{3.41}$$

$\overline{ce}$ bölgesi için normal vektör aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\mathbf{n}_c^{ce} = \frac{\dfrac{\partial \mathbf{R}_c^{ce}}{\partial l_c} \times \dfrac{\partial \mathbf{R}_c^{ce}}{\partial \rho}}{\left| \dfrac{\partial \mathbf{R}_c^{ce}}{\partial l_c} \times \dfrac{\partial \mathbf{R}_c^{ce}}{\partial \rho} \right|} \tag{3.42}$$

$$\overrightarrow{n_c^{ce}} = n_{c_X}^{ce} \cdot \vec{i} + n_{c_Y}^{ce} \cdot \vec{j} + n_{c_Z}^{ce} \cdot \vec{k} \tag{3.43}$$

$$n_c^{ce} = \begin{Bmatrix} n_{c_X}^{ce} \\ n_{c_Y}^{ce} \\ n_{c_Z}^{ce} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -\cos l_c \\ \sin l_c \cos\beta \\ \sin l_c \sin\beta \end{Bmatrix} \tag{3.44}$$

$\overline{df}$ bölgesi için normal vektör aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\mathbf{n}_c^{df} = \frac{\dfrac{\partial \mathbf{R}_c^{df}}{\partial l_c} \times \dfrac{\partial \mathbf{R}_c^{df}}{\partial \rho}}{\left| \dfrac{\partial \mathbf{R}_c^{df}}{\partial l_c} \times \dfrac{\partial \mathbf{R}_c^{df}}{\partial \rho} \right|} \tag{3.45}$$

$$\overrightarrow{n_c^{df}} = n_{c_X}^{df} \cdot \vec{i} + n_{c_Y}^{df} \cdot \vec{j} + n_{c_Z}^{df} \cdot \vec{k} \tag{3.46}$$

$$n_c^{ce} = \begin{Bmatrix} n_{c_X}^{ce} \\ n_{c_Y}^{ce} \\ n_{c_Z}^{ce} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \cos l_d \\ -\sin l_d \cos\beta \\ -\sin l_d \sin\beta \end{Bmatrix} \tag{3.47}$$

$\overline{eg}$ bölgesi için normal vektör aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\mathbf{n}_c^{eg} = \frac{\dfrac{\partial \mathbf{R}_c^{eg}}{\partial l_e} \times \dfrac{\partial \mathbf{R}_c^{eg}}{\partial \rho}}{\left| \dfrac{\partial \mathbf{R}_c^{eg}}{\partial l_e} \times \dfrac{\partial \mathbf{R}_c^{eg}}{\partial \rho} \right|} \tag{3.48}$$

$$\overrightarrow{n_c^{eg}} = n_{c_X}^{eg} \cdot \vec{i} + n_{c_Y}^{eg} \cdot \vec{j} + n_{c_Z}^{eg} \cdot \vec{k} \tag{3.49}$$

$$n_c^{eg} = \begin{Bmatrix} n_{c_X}^{eg} \\ n_{c_Y}^{eg} \\ n_{c_Z}^{eg} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -\sin\phi_{c1} \\ -\cos\phi_{c1} \cos\beta \\ -\cos\phi_{c1} \sin\beta \end{Bmatrix} \tag{3.50}$$

$\overline{fh}$ bölgesi için normal vektör aşağıdaki şekilde hesaplanır.

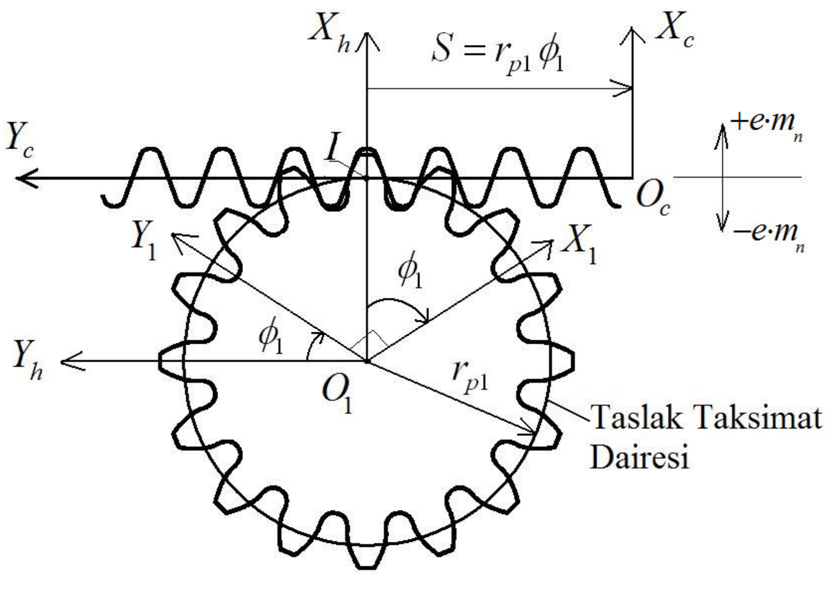
$$\mathbf{n}_c^{fh} = \frac{\dfrac{\partial \mathbf{R}_c^{fh}}{\partial l_f} \times \dfrac{\partial \mathbf{R}_c^{fh}}{\partial \rho}}{\left| \dfrac{\partial \mathbf{R}_c^{fh}}{\partial l_f} \times \dfrac{\partial \mathbf{R}_c^{fh}}{\partial \rho} \right|} \tag{3.51}$$

$$\overrightarrow{n_c^{fh}} = n_{c_X}^{fh} \cdot \vec{i} + n_{c_Y}^{fh} \cdot \vec{j} + n_{c_Z}^{fh} \cdot \vec{k} \tag{3.52}$$

$$n_c^{fh} = \begin{Bmatrix} n_{c_X}^{fh} \\ n_{c_Y}^{fh} \\ n_{c_Z}^{fh} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \sin \phi_{c2} \\ -\cos \phi_{c2} \cos \beta \\ -\cos \phi_{c2} \sin \beta \end{Bmatrix} \tag{3.53}$$

3.2.2. DİŞLİ ÇARKIN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ

İmal edilen dişli çarkın matematiksel modeli ise yuvarlanma (eş çalışma) denklemi ile kesici takımın geometrik yerinin bir kombinasyonudur. Kesici takım ile dişli taslağı arasındaki koordinat bağı Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Yuvarlanma prosesi

$S_c(X_c, Y_c, Z_c)$ kremayer takımın koordinat sistemi, $S_1(X_1, Y_1, Z_1)$ dişlinin koordinat sistemi ve $S_h(X_h, Y_h, Z_h)$ sabit olan referans koordinat sistemidir. Koordinat sistemleri sağ el kuralına uymaktadır.

Yuvarlanma prosesinde takım

$$S = r_{p1}\phi_{p1} \tag{3.54}$$

kadar öteleme hareketi yaparken dişli taslağı ϕ_{p1} açısı kadar dönmektedir.

Takım yüzeyinin geometrik yeri taslağın koordinat sisteminde 3.56 numaralı denklemde verilen dönüşüm matrisi uygulanarak ifade edilir.

$$R_1^i = M_{1c} R_c^i \qquad (i = \overline{ac} \sim \overline{fh}) \tag{3.55}$$

$$M_{1c} = \begin{bmatrix} \cos\phi_{p1} & -\sin\phi_{p1} & 0 & r_{p1}\left(\cos\phi_{p1} + \phi_{p1}\sin\phi_{p1}\right) + em_n\cos\phi_{p1} \\ \sin\phi_{p1} & \cos\phi_{p1} & 0 & r_{p1}\left(\sin\phi_{p1} - \phi_{p1}\cos\phi_{p1}\right) + em_n\sin\phi_{p1} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{3.56}$$

Dişli Ana Kanunu gereğince kremayer kesicinin alın kesiti ile dişli taslağının yüzeyinin ortak normali ani dönme merkezinden geçmelidir. Bu kanunun matematiksel ifadesi olan eş çalışma denklemi S_c koordinat sisteminde 3.57 numaralı denklem ile ifade edilebilir.

$$\frac{X_c^i - x_c^i}{n_{c_X}^i} = \frac{Y_c^i - y_c^i}{n_{c_Y}^i} = \frac{Z_c^i - z_c^i}{n_{c_Z}^i} \tag{3.57}$$

X_c^i, Y_c^i ve Z_c^i koordinat sistemi S_c’de takım-taslak mekanizmasının ani dönme ekseni I-I üzerindeki bir noktanın koordinatlarını; x_c^i, y_c^i ve z_c^i kremayer takımın yüzey koordinatlarını; $n_{c_X}^i$, $n_{c_Y}^i$ ve $n_{c_Z}^i$ yüzey birim normali n_c^i’nin doğrultman kosinüslerini ifade eder. ϕ_{p1} yuvarlanma parametresini ve r_{p1} imal edilen dişli çarkın taksimat dairesini gösterir. $\left[M_{1c}\right]$ koordinat dönüşüm matrisinde em_n terimi takımın taksimat doğrusunun taslağın taksimat dairesine göre ötelenmesini, diğer bir ifadeyle profil kaydırma miktarını ifade eder.

$\overline{ac}$ bölgesi için eş çalışma denklemi aşağıdaki denklemlerle tayin edilir.

$$\frac{X_c^{ac} - x_c^{ac}}{n_{c_X}^{ac}} = \frac{Y_c^{ac} - y_c^{ac}}{n_{c_Y}^{ac}} = \frac{Z_c^{ac} - z_c^{ac}}{n_{c_Z}^{ac}} \tag{3.58}$$

$$\phi_{p1} = \frac{y_c^{ac}}{r_{p1}} = \frac{\left(\frac{\pi m_n}{2} - l_a + c_y \pi m_n\right)\cos\beta - \rho \sin\beta}{r_{p1}} \tag{3.59}$$

$\overline{bd}$ bölgesi için eş çalışma denklemi aşağıdaki denklemlerle tayin edilir.

$$\frac{X_c^{bd} - x_c^{bd}}{n_{c_X}^{bd}} = \frac{Y_c^{bd} - y_c^{bd}}{n_{c_Y}^{bd}} = \frac{Z_c^{bd} - z_c^{bd}}{n_{c_Z}^{bd}} \tag{3.60}$$

$$\phi_{p1} = \frac{y_c^{bd}}{r_{p1}} = \frac{\left(-\frac{\pi m_n}{2} + l_b + c_y \pi m_n\right)\cos\beta - \rho \sin\beta}{r_{p1}} \tag{3.61}$$

$\overline{ce}$ bölgesi için eş çalışma denklemi aşağıdaki denklemlerle tayin edilir.

$$\frac{X_c^{ce} - x_c^{ce}}{n_{c_X}^{ce}} = \frac{Y_c^{ce} - y_c^{ce}}{n_{c_Y}^{ce}} = \frac{Z_c^{ce} - z_c^{ce}}{n_{c_Z}^{ce}} \tag{3.62}$$

$$x_c^{ce} = -a_c + r\sin\phi_{c1} - r\cos l_c \tag{3.63}$$

$$y_c^{ce} = \left(b_c + a_c \tan\phi_{c1} + r\cos\phi_{c1} - r\cos l_c + c_y \pi m_n\right)\cos\beta - \rho\sin\beta \tag{3.64}$$

$$\phi_{p1} = \frac{y_c^{ce} - \left(x_c^{ce} \tan\theta \cos\beta\right)}{r_{p1}}$$

$$\phi_{p1} = \frac{\left(b_c + a_c \tan\phi_{c1} + r\cos\phi_{c1} - r\cos l_c + c_y \pi m_n\right)\cos\beta}{r_{p1}} \tag{3.65}$$

$$-\frac{\rho\sin\beta}{r_{p1}} - \frac{\left(-a_c + r\sin\phi_{c1} - r\cos l_c \tan\theta\cos\beta\right)}{r_{p1}}$$

$\overline{df}$ bölgesi için eş çalışma denklemi aşağıdaki denklemlerle tayin edilir.

$$\frac{X_c^{df}-x_c^{df}}{n_{c_X}^{df}}=\frac{Y_c^{df}-y_c^{df}}{n_{c_Y}^{df}}=\frac{Z_c^{df}-z_c^{df}}{n_{c_Z}^{df}} \tag{3.66}$$

$$x_c^{df}=-a_c+r_2\sin\phi_{c2}-r_2\cos l_d \tag{3.67}$$

$$y_c^{df}=\left(-b_c-a_c\tan\phi_{c2}-r_2\cos\phi_{c2}+r\cos l_d\right)\cos\beta-\rho\sin\beta \tag{3.68}$$

$$\phi_{p1}=\frac{y_c^{df}+\left(x_c^{df}\tan\theta\cos\beta\right)}{r_{p1}} \tag{3.69}$$

$$\phi_{p1}=\frac{\left(-b_c-a_c\tan\phi_{c2}-r_2\cos\phi_{c2}+r_2\cos l_d\right)\cos\beta}{r_{p1}} \tag{3.70}$$

$$-\frac{\rho\sin\beta}{r_{p1}}+\frac{\left(-a_c+r_2\sin\phi_{c2}-r_2\cos l_d\tan\theta\cos\beta\right)}{r_{p1}}$$

$\overline{eg}$ bölgesi için eş çalışma denklemi aşağıdaki denklemlerle tayin edilir.

$$\frac{X_c^{eg}-x_c^{eg}}{n_{c_X}^{eg}}=\frac{Y_c^{eg}-y_c^{eg}}{n_{c_Y}^{eg}}=\frac{Z_c^{eg}-z_c^{eg}}{n_{c_Z}^{eg}} \tag{3.71}$$

$$\phi_{p1}=\frac{\left(y_c^{eg}\tan\phi_{c1}\right)-\left(x_c^{eg}\cos\beta\right)}{r_{p1}\tan\phi_{c1}} \tag{3.72}$$

$$\phi_{p1}=\frac{\left(\left(b_c-l_e\sin\phi_{c1}\right)\cos\beta-\rho\sin\beta\tan\phi_{c1}\right)-\left(l_e\cos\phi_{c1}\cos\beta\right)}{r_{p1}\tan\phi_{c1}} \tag{3.73}$$

$\overline{fh}$ bölgesi için eş çalışma denklemi aşağıdaki denklemlerle tayin edilir.

$$\frac{X_c^{fh}-x_c^{fh}}{n_{c_X}^{fh}}=\frac{Y_c^{fh}-y_c^{fh}}{n_{c_Y}^{fh}}=\frac{Z_c^{fh}-z_c^{fh}}{n_{c_Z}^{fh}} \tag{3.74}$$

$$\phi_{p1} = \frac{\left(y_c^{fh} \tan\phi_{c2}\right) + \left(x_c^{fh} \cos\beta\right)}{r_{p1} \tan\phi_{c2}} \tag{3.75}$$

$$\phi_{p1} = \frac{\left(\left(-b_c + l_f \sin\phi_{c2} + c_y \pi m_n\right)\cos\beta - \rho\sin\beta\tan\phi_{c2}\right)}{r_{p1}\tan\phi_{c2}} \tag{3.76}$$

$$+ \frac{\left(l_f \cos\phi_{c2} \cos\beta\right)}{r_{p1}\tan\phi_{c2}}$$

İmal edilen dişli çarkın matematiksel modeli 3.55 ve 3.57 numaralı denklemlerin eşzamanlı çözülmesi ile elde edilir. Örnek olarak, kesici takımın $\overline{eg}$ bölgesinin oluşturduğu dişli çark yüzeyinin denklemi 3.31, 3.48, 3.55 ve 3.57 numaralı denklemlere göre aşağıda verilmiştir.

$$R_1^{eg} = M_{1c} R_c^{eg} \tag{3.77}$$

$$\begin{aligned} x_1^{eg} &= l_e \cos\phi_{c1}\cos\phi_{p1} - \left(\left(b_c - l_e \sin\phi_{c1} + c_y \pi m_n\right)\cos\beta + \rho\sin\beta\right)\sin\phi_{p1} \\ &+ r_{p1}\cos\phi_{p1} + r_{p1}\phi_{p1}\sin\phi_{p1} \end{aligned} \tag{3.78}$$

$$\begin{aligned} y_1^{eg} &= l_e \cos\phi_{c1}\sin\phi_{p1} + \left(\left(b_c - l_e \sin\phi_{c1} + c_y \pi m_n\right)\cos\beta - \rho\sin\beta\right)\cos\phi_{p1} \\ &+ r_{p1}\sin\phi_{p1} - r_{p1}\phi_{p1}\cos\phi_{p1} \end{aligned} \tag{3.79}$$

$$z_1^{eg} = \left(b_c - l_e\sin\phi_{c1} + c_y\pi m_n\right)\sin\beta + \rho\cos\beta \tag{3.80}$$

$$\phi_{p1} = \frac{\left(b_c - l_e \sin\phi_{c1}\right)\cos\beta - \rho\sin\beta\tan\phi_{c1} - l_e\cos\phi_{c1}\cos\beta}{r_{p1}\tan\phi_{c1}} \tag{3.81}$$

Kesici takımın $\overline{fh}$ bölgesinin oluşturduğu dişli çark yüzeyinin denklemi 3.34, 3.51, 3.55 ve 3.57 numaralı denklemlere göre aşağıda verilmiştir.

$$R_1^{fh} = M_{1c} R_c^{fh} \tag{3.82}$$

$$\begin{aligned} x_1^{fh} &= l_f \cos\phi_{c2}\cos\phi_{p1} + r_{p1}\cos\phi_{p1} + r_{p1}\phi_{p1}\sin\phi_{p1} \\ &-\left(\left(-b_c + l_f\sin\phi_{c2} + c_y\pi m_n\right)\cos\beta - \rho\sin\beta\right)\sin\phi_{p1} \end{aligned} \tag{3.83}$$

$$y_1^{fh} = l_f \cos\phi_{c2} \sin\phi_{p1} + r_{p1} \sin\phi_{p1} - r_{p1}\phi_{p1} \cos\phi_{p1} + \left(\left(-b_c + l_f \sin\phi_{c2} + c_y \pi m_n\right)\cos\beta - \rho \sin\beta\right)\cos\phi_{p1} \tag{3.84}$$

$$z_1^{fh} = \left(-b_c + l_f \sin\phi_{c2} + c_y \pi m_n\right)\sin\beta + \rho\cos\beta \tag{3.85}$$

$$\phi_{p1} = \frac{\left(-b_c + l_f \sin\phi_{c2}\right)\cos\beta - \rho\sin\beta\tan\phi_{c2} + l_f \cos\phi_{c2}\cos\beta}{r_{p1}\tan\phi_{c2}} \tag{3.86}$$

Neticede; takımın vektörel gösteriminden hareketle, koordinat dönüşüm, diferansiyel geometri ve yuvarlanma prensiplerini uygulayarak çark geometrisi elde edilmektedir. Bu matematiksel model uygun yazılımlarla programlanarak takımın ve dişli çarkın CAD grafik modeli elde edilebilir.

3.3. ALTTAN KESME ANALİZİ

Alttan kesme imal edilen diş yüzeylerinde, küçük diş sayılarında, küçük kavrama açılarında ve negatif kaydırılmış profillerde meydana gelir. Kremayer kesicinin aktif yüzeyi tarafından oluşturulan helisel dişli çark evolvent yüzeyinde tekil noktanın hangi koşullar altında meydana gelebileceği incelenmelidir. Bu çalışmada alttan kesmenin incelenmesi için Litvin (2004) tarafından teklif edilmiş metot kullanılmıştır. S_c koordinat sisteminde, imal edilen dişli çark ile kremayer kesici arasındaki izafi hız 3.87 numaralı denklemde verilmiştir.

$$V_c^{c1} = \begin{bmatrix} r_{p1}\phi_{p1} - y_c \\ x_c \\ 0 \end{bmatrix} \tag{3.87}$$

Bu denklemde ω_1 imal edilen dişlinin açısal hızıdır ve $\frac{d\phi_{p1}}{dt}$ ifadesiyle elde edilir. Eş çalışma denklemi 3.35 ve 3.57 numaralı denklemler kullanılarak aşağıdaki formda da ifade edilebilir.

$$f\left(l_h, \rho, \phi_{p1}\right) = \left(l_h - b_c \sin\phi_{c1}\right)\cos\beta + \left(r_{p1}\phi_{p1} + \rho\sin\beta\right)\sin\phi_{c1} = 0 \tag{3.88}$$

İmal edilen diş yüzeyinde tekilliği tayin etmek için 3.89, 3.90 ve 3.91 numaralı denklemler sağlanmalıdır.

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} \dfrac{\partial x_c}{\partial l_h} & \dfrac{\partial x_c}{\partial \rho} & V_{xc}^{12} \\ \dfrac{\partial y_c}{\partial l_h} & \dfrac{\partial y_c}{\partial \rho} & V_{yc}^{12} \\ \dfrac{\partial f}{\partial l_h} & \dfrac{\partial f}{\partial l\rho} & \dfrac{\partial f}{\partial \phi_{p1}}\dfrac{d\phi_{p1}}{dt} \end{vmatrix} = 0 \tag{3.89}$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} \dfrac{\partial x_c}{\partial l_h} & \dfrac{\partial x_c}{\partial \rho} & V_{xc}^{12} \\ \dfrac{\partial z_c}{\partial l_h} & \dfrac{\partial z_c}{\partial \rho} & V_{zc}^{12} \\ \dfrac{\partial f}{\partial l_h} & \dfrac{\partial f}{\partial l\rho} & \dfrac{\partial f}{\partial \phi_{p1}}\dfrac{d\phi_{p1}}{dt} \end{vmatrix} = 0 \tag{3.90}$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} \dfrac{\partial y_c}{\partial l_h} & \dfrac{\partial y_c}{\partial \rho} & V_{yc}^{12} \\ \dfrac{\partial z_c}{\partial l_h} & \dfrac{\partial z_c}{\partial \rho} & V_{zc}^{12} \\ \dfrac{\partial f}{\partial l_h} & \dfrac{\partial f}{\partial l\rho} & \dfrac{\partial f}{\partial \phi_{p1}}\dfrac{d\phi_{p1}}{dt} \end{vmatrix} = 0 \tag{3.91}$$

Buna göre imal edilen dişli yüzeyinde tekillik için yeterli şart aşağıda ifade edilmiştir.

$$g(l_h, \rho, \phi_{p1}) = \Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 = 0 \tag{3.92}$$

Sonuç olarak imal edilen dişli çarkta tekillik durumu 3.93 numaralı denklem uygulanarak tayin edilir.

$$l_h = \frac{1}{\cos\phi_{c1}}\left(\frac{-r_{p1}\sin^2\phi_{c1}}{\cos^2\beta\sin^2\phi_{c1} + \sin^2\phi_{c1}}\right) \tag{3.93}$$

Kremayer kesicinin imal edilen dişliyi alttan kesmemesi için verilmesi gereken profil kaydırma faktörü aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$e \geq \frac{1}{m_n}\left(\frac{-r_{p1}\sin^2\phi_{c1}}{\cos^2\beta\cos^2\phi_{c1}+\sin^2\phi_{c1}}+a_c\right) \tag{3.94}$$

Asimetrik dişli çarkta alttan kesme analizi düşük kavrama açılı evolvent yanak için yapılır. Alttan kesmeyi önlemek için gerekli kaydırma faktörü hesaplanarak takıma uygulanır.

3.4. DÖNME DÜZLEMİNDE DİŞ PROFİL ANALİZİ

Helisel dişli çarkların bilgisayar destekli dizayn programların da modellenmesi için çeşitli kesitlerindeki iki boyutlu geometrilerinden faydalanılır. 3.16 numaralı eşitlikte verilen dönüşüm matrisi helisel yüzeyi oluşturmaktadır. Helisel yüzeyin mesela $z_1 = 0$ ve $z_1 = sbt.$ kesitleri iki farklı noktada aynı düzlem eğriyi ifade eder.

Diğer bir anlatımla bir kesit diğer bir kesitten z ekseninde vida hareketiyle döndürülmesiyle elde edilmektedir. Böylelikle iki kesit arasında helis doğrultusunda ekstrüzyon işlemi uygulanarak üç boyutlu model kolaylıkla elde edilir. (Chen, 2005). Bu ekstrüzyon işleminde helis açısı ve diş genişliği gerekli hareketi tayin etmektedir. Bu nedenle kesici takımın dönme düzleminde profilinin elde edilmesi gerekmektedir. 3.15 numaralı eşitlikte verilen helisel kremayer takım yüzeyinin matematiksel modeli genel olarak aşağıdaki denklemlerle ifade edilebilir.

$$x_c^i = x_n^i \tag{3.95}$$

$$y_c^i = y_n^i \cos\beta - \rho\sin\beta \tag{3.96}$$

$$z_c^i = y_n^i \cos\beta + \rho\sin\beta \tag{3.97}$$

Herhangi bir kesitte profili incelemek için 3.97 numaralı denklem aşağıdaki şekilde düzenlenir.

$$\rho = \frac{z_c^i - y_n^i \sin\beta}{\cos\beta} \tag{3.98}$$

3.98 numaralı denklem 3.96 numaralı denklemde yerine konulursa dönme düzleminde takımın matematiksel modeli elde edilir.

$$x_c^i = x_n^i \tag{3.99}$$

$$y_c^i = \frac{y_n^i - z_c^i \sin\beta}{\cos\beta} \tag{3.100}$$

halini alır. Böylelikle z_c 'nin sabit bir değeri için iki boyutlu kremayer kesitin modeli elde edilir ve dönme düzleminde ifade edilebilir. İmal edilen dişli çarkın dönme düzlemindeki modelide takım yüzeyinin vektörel ifadesinden sonra bölüm 3.2.2'de açıklanan denklemlerin uygulanması ile elde edilir.

4. BULGULAR

Matlab programlama dili daha çok teknik alanlarda, matematik ve hesaplama, algoritma gelişimi, modelcilik, benzetim, prototip, veri analizi, araştırma ve canlandırma, bilimsel ve mühendislik grafikleri gibi uygulamalarda kullanılan bir dildir (Uzunoğlu ve diğ., 2003). AutoCAD ise mühendislikte her alanda kullanılan bir çizim programıdır. Bu çalışmada Matlab programlama dilinin matematik ve hesaplama kısmı kullanılmıştır. Önceki bölümlerde verilen matematiksel modeli ve alttan kesme analizini görselleştirmek için Matlab dili ile bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Program çıkışları AutoCAD programı ile görselleştirilmiştir. Giriş değerlerine göre matematiksel modelden elde edilen çıkış dosyaları AutoCAD programında gönderilerek iki ve üç boyutlu dişli şekilleri elde edilmiş olup tezin bu bölümünde örnekler halinde aşağıdaki başlıklar da sunulmuştur.

4.1. İKİ BOYUTLU GRAFİK MODELLEME

Dişli çark imalatının matematiksel modellenmesi ve bilgisayar simülasyonu çeşitli dizayn parametrelerinin dişli çark geometrisindeki etkilerini imalattan önce inceleme fırsatı sağlar. Bu da ilk olarak elde edilecek geometrinin iki boyutlu görselinin düzgünlüğünün kontrolünden sonra gerekli giriş parametre değerleri ile sağlanır.

Matlab dilinde gerçekleştirilen matematiksel model düz ve helisel dişli tipi, ayrıca simetrik ve asimetrik olarak dört farklı şekilde grafik çıktısı alınmasına olanak vermektedir.

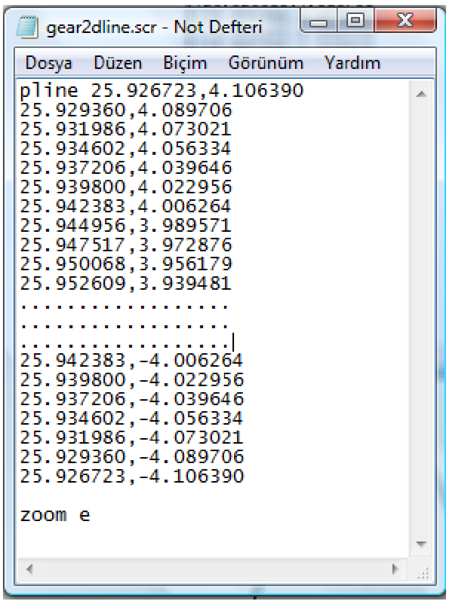
4.1.1. İki Boyutlu Düz Dişli Modeller

Matlab programlama dilinde Şekil 4.1'de bir kısmı gösterilen tamamı Ek A1'de verilen matmod2dline.m adlı matematiksel model dosyası çalıştırılarak aşağıdaki giriş parametre değerleri yazılmış ve gear2dline.scr çıktı dosyasını oluşturmuştur. Bu script dosyası AutoCAD çizim programına gönderilmiş ve iki boyutlu tek dişli grafik modeli elde edilmiş olup farklı giriş parametre değerlerinde örnekler halinde sunulmuştur.


```
clc
clear all
ifade=fopen('pinion2Dline.scr','wt');
gear=fopen('gear2Dline.scr','wt');
mn=input('mn modul değerini giriniz: ');
z1=input('z1 diş sayısını giriniz: ');
tas=input('profil kaydırma faktörünü e değerini giriniz: ');
fic1=input('Kavrama açısı fic1 değerini giriniz: ');
fic2=input('Kavrama açısı fic2 değerini giriniz: ');
beta=input('Helis açısı beta değerini giriniz: ');
Z=input('Diş genişliği Z değerini giriniz: ');
Z1ac=Z;
Z1bd=Z;
Z1eg=Z;
Z1fh=Z;
Z1df=Z;
Z1ce=Z;
Z2ac=Z;
Z2bd=Z;
Z2eg=Z;
Z2fh=Z;
Z2df=Z;
Z2ce=Z;
r=0.38*mn;
ac=(1*mn)-(mn*tas);
at=1*mn;
bc=pi*mn/4;
fic11=fic1*pi/180;
fic22=fic2*pi/180;
bet=beta*pi/180;
r2=(r*(1-sin(fic11)))/(1-sin(fic22));
rp1=(mn*z1)/(2*cos(bet));
rt=rp1+mn*(1+tas);
kava1=atan((tan(fic11))/(cos(bet)));
kava2=atan((tan(fic22))/(cos(bet)));
rb1=rp1*cos(kava1);
```

Şekil 4.1: “matmod2dline.m” isimli matematiksel model dosyası

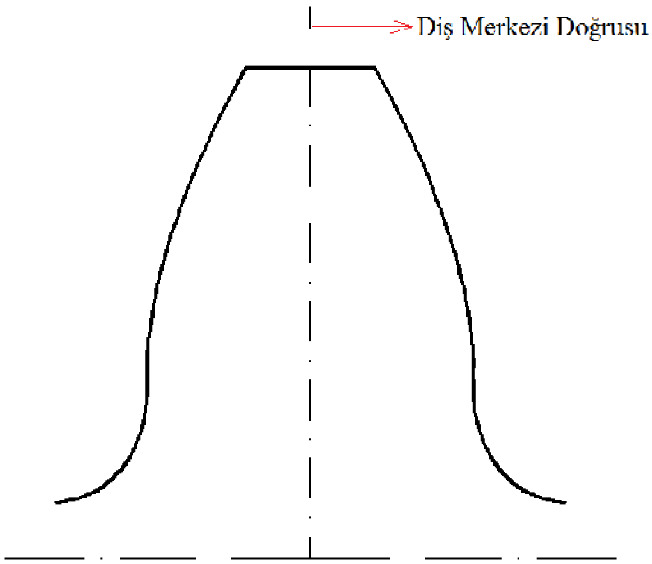
$m = 3$, $z1 = 20$, $e = 0$, $\phi_{c1} = 20$, $\phi_{c2} = 20$, $\beta = 0$, $Z = 0$ parametre değerleri girilerek Şekil 4.2’de gösterilen gear2dline.scr dosyası oluşturulmuştur.




```
pline 25.926723,4.106390
25.929360,4.089706
25.931986,4.073021
25.934602,4.056334
25.937206,4.039646
25.939800,4.022956
25.942383,4.006264
25.944956,3.989571
25.947517,3.972876
25.950068,3.956179
25.952609,3.939481
.................
.................
.................
25.942383,-4.006264
25.939800,-4.022956
25.937206,-4.039646
25.934602,-4.056334
25.931986,-4.073021
25.929360,-4.089706
25.926723,-4.106390

zoom e
```

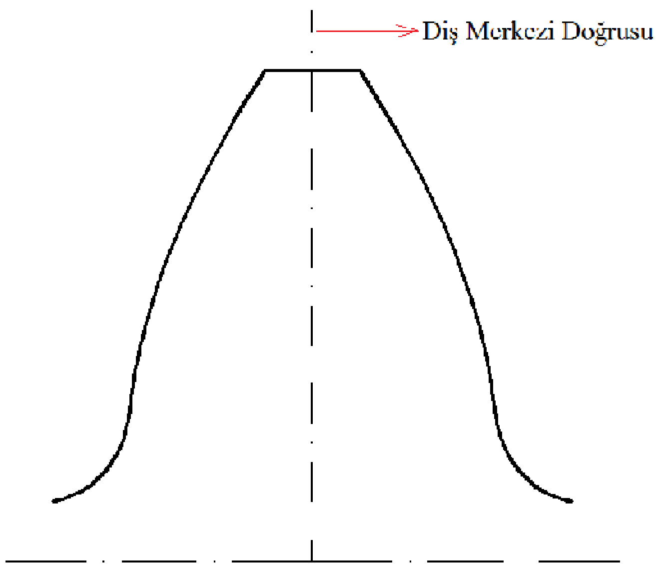
Şekil 4.2: “matmod2dline.m” program çıkış dosyası

Oluşturulan gear2dline.scr dosyası AutoCAD programında gönderilerek Şekil 4.3'te düz dişli model elde edilmiştir. $\phi_{c1} = \phi_{c2} = 20°$ kavrama açıları eşit olduğu için oluşturulan dişli model simetrik düz dişli olarak adlandırılır.



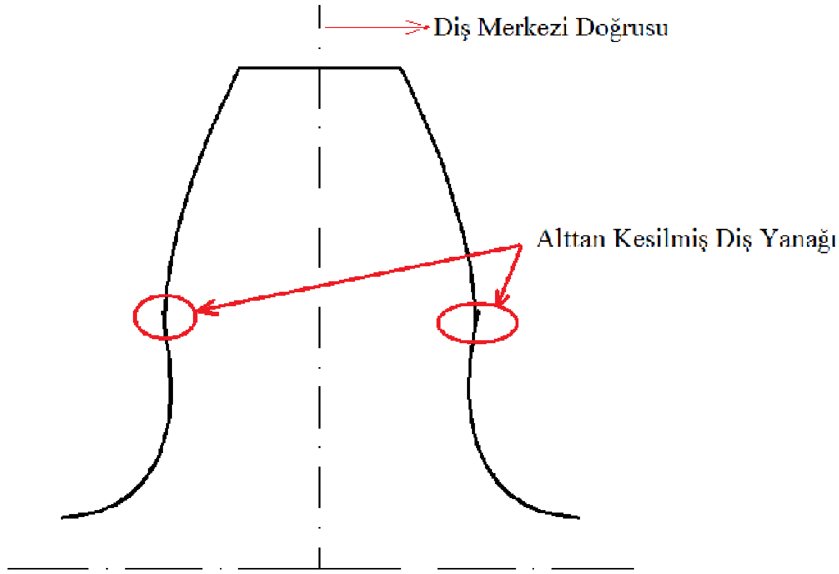
Şekil 4.3: $\phi_{c1} = \phi_{c2} = 20°$ açılı düz dişli model

Başka bir örnekte; $m = 3$, $z1 = 20$, $e = 0$, $\phi_{c1} = 25$, $\phi_{c2} = 25$, $\beta = 0$, $Z = 0$ parametre değerleri girilerek aynı şekilde gear2dline.scr dosyası oluşturulup AutoCAD'e gönderilerek bir önceki örneğe göre daha büyük $\phi_{c1} = \phi_{c2} = 25°$ kavrama açılarında Şekil 4.4'te gösterilen düz dişli modeli oluşturulmuştur. Kavrama açılarının artması nedeniyle diş başı dairesindeki diş kalınlığı azalmıştır.



Şekil 4.4: $\phi_{c1} = \phi_{c2} = 25°$ açılı düz dişli model

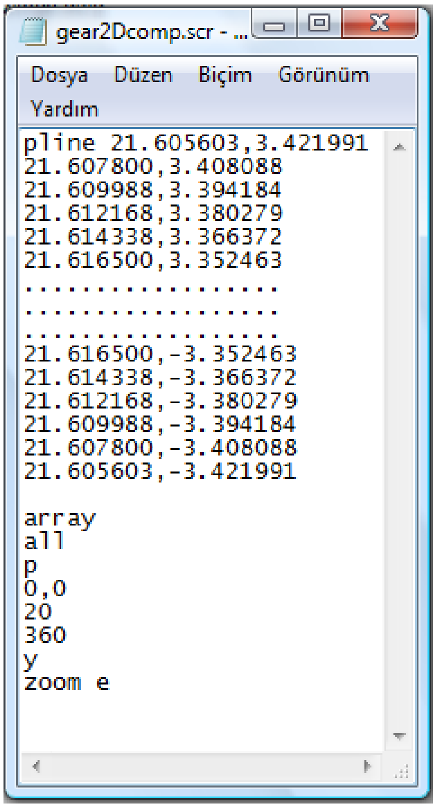
Diğer başka bir örnekte ise; $m = 3$, $z1 = 20$, $e = 0$, $\phi_{c1} = 15$, $\phi_{c2} = 15$, $\beta = 0$, $Z = 0$ parametre değerleri girilerek aynı şekilde gear2dline.scr dosyası oluşturulup AutoCAD'e gönderilerek bir önceki örneğe göre daha küçük $\phi_{c1} = \phi_{c2} = 15°$ kavrama açılarında Şekil 4.5'te gösterilen düz dişli modeli oluşturulmuştur. Düşük kavrama açılarında ise diş başı dairesindeki diş kalınlığının arttığı görülmüştür. Diş kökündeki kalınlık azaldığından diş mukavemeti düşmektedir.



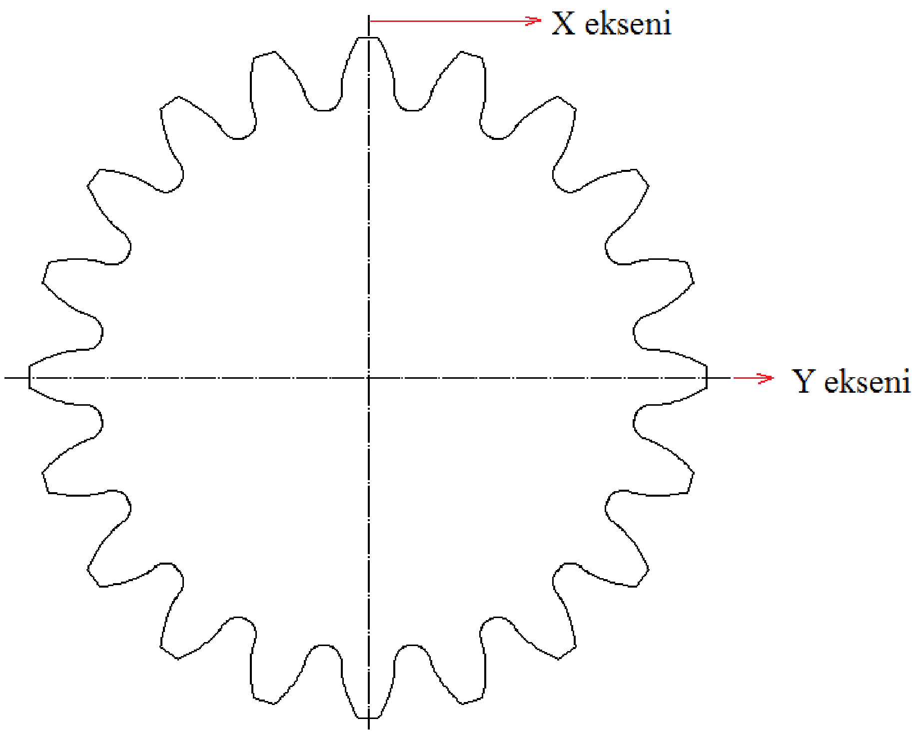
Şekil 4.5: $\phi_{c1} = \phi_{c2} = 15°$ açılı alttan kesilmiş düz dişli model

Şekil 4.5'te gösterilen modelde gösterildiği üzere düşük girilen değerlere ve özellikle küçük seçilen kavrama açılarına bağlı olarak dişli modelde alttan kesme durumu oluşmuştur.

Tam düz diş modeli için ise Ek A2'de verilen Matlab dilinde programlanan matmod2dtam.m adlı matematiksel model dosyası çalıştırılmış $m = 2.5$, $z1 = 20$, $e = 0$, $\phi_{c1} = 20$, $\phi_{c2} = 20$, $\beta = 0$, $Z = 0$ parametre değerleri girilmiştir. Bu giriş değerleri sonucunda Şekil 4.6'da gösterilen gear2dcomp.scr dosyası oluşmuş olup AutoCAD'e gönderilerek Şekil 4.7'de gösterilen $z1 = 20$ diş sayılı tam düz dişli model oluşturulmuştur.

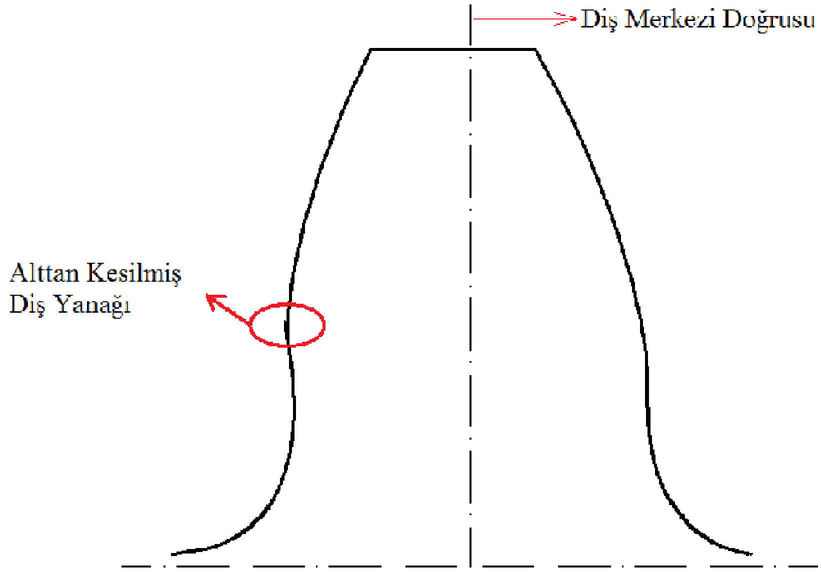


Şekil 4.6: “matmod2dtam.m” program çıkış dosyası



Şekil 4.7: $z1 = 20$ diş sayılı tam düz dişli modeli

Şimdiye kadar sunulmuş olan örneklerin hepsi simetrik düz dişli modelleri olup son olarak aşağıdaki parametre değerlerine göre asimetrik düz dişli modeli örneği gösterilmiştir. $m = 2.5$, $z1 = 20$, $e = 0$, $\phi_{c1} = 15$, $\phi_{c2} = 20$, $\beta = 0$, $Z = 0$ parametre değerleri girilerek aynı şekilde gear2dline.scr dosyası oluşturulup AutoCAD'e gönderilmiş ve Şekil 4.8'de gösterilen asimetrik düz dişli model elde edilmiştir. Bu değerler sonucunda dişli modelde düşük kavrama açılı yanakta alttan kesme durumu gözlenmiştir.

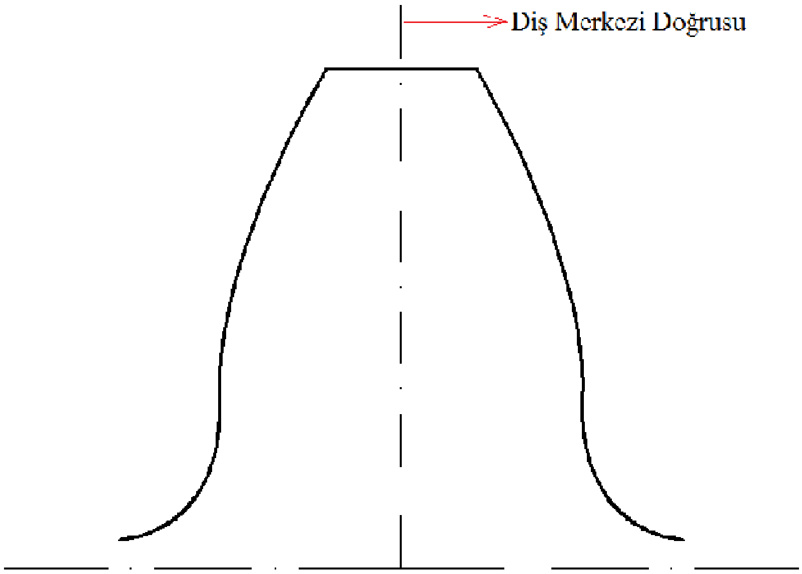


Şekil 4.8: Asimetrik düz dişli model

4.1.2. İki Boyutlu Helisel Dişli Modeller

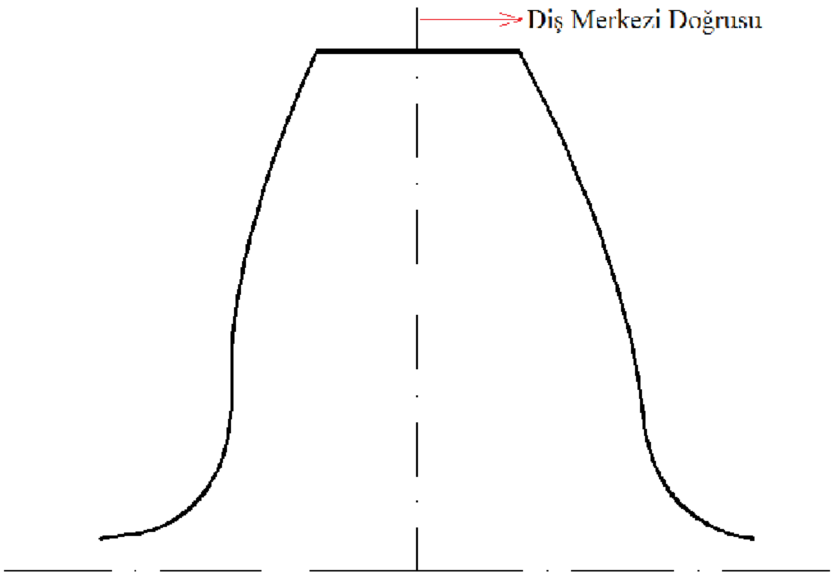
Helisel dişli modeller; aynen düz dişli matematiksel model de kullanılan matmod2dline.m adlı dosyanın Matlab programında çalıştırılmasıyla elde edilmiştir. Düz dişli modelden farkı β helis açısının sıfırdan farklı değerler almasıdır. β helis açısının değişik değerler alması neticesinde oluşturulan script dosyaları AutoCAD'te okutulmuş ve bu bölümde dönme düzleminde $Z = 0$ hali için örnekler halinde sunulmuştur.

İlk örnekte; $m = 2.5$, $z1 = 18$, $e = 0$, $\phi_{c1} = 20$, $\phi_{c2} = 20$, $\beta = 15$, $Z = 0$ parametre değerleri girilerek aynı şekilde gear2dline.scr dosyası oluşturulup AutoCAD'e gönderilmiş, $\phi_{c1} = \phi_{c2} = 20$ kavrama açıları neticesinde Şekil 4.9'da gösterilen simetrik helisel dişli modeli oluşturulmuştur.



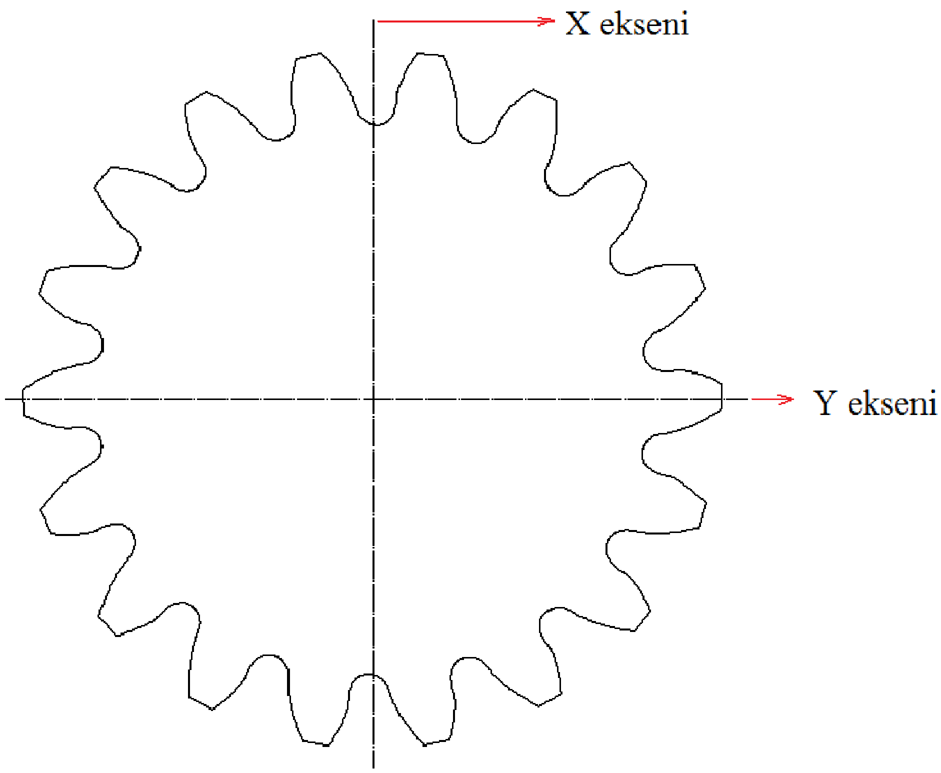
Şekil 4.9: $\beta = 15°$ açılı helisel dişli modeli

Başka bir örnekte; $m = 2.5$, $z1 = 24$, $e = 0$, $\phi_{c1} = 15$, $\phi_{c2} = 20$, $\beta = 25$, $Z = 0$ parametre değerleri girilerek aynı şekilde gear2dline.scr dosyası oluşturulup AutoCAD'e gönderilmiş, farklı kavrama açıları neticesinde Şekil 4.10'da gösterilen asimetrik helisel dişli modeli oluşturulmuştur.



Şekil 4.10: $\beta = 25°$ açılı helisel dişli model

Tam helisel dişli modeli için ise düz dişli modelde olduğu gibi Matlab dilinde programlanan matmod2dtam.m adlı matematiksel model dosyası çalıştırılmış $m = 3$, $z1 = 18$, $e = 0$, $\phi_{c1} = 15$, $\phi_{c2} = 25$, $\beta = 20$, $Z = 0$ parametre değerleri girilmiştir. Bu giriş değerleri sonucunda gear2dcomp.scr dosyası oluşmuş olup AutoCAD'e gönderilerek Şekil 4.11'de gösterilen $z1=18$ diş sayılı ve $\beta=20°$ helis açılı tam helisel dişli model oluşturulmuştur.



Şekil 4.11: $z1=18$ diş sayılı ve $\beta=20°$ helis açılı tam helisel dişli model

4.2. ÜÇ BOYUTLU GRAFİK MODELLEME

Dişli çark imalatının matematiksel modellenmesi ve bilgisayar simülasyonu önceki bölümde iki boyutlu olarak incelenmiştir. Bu bölümde ise Matlab programında iki boyutlu matematiksel modelde yapılan bazı değişiklikler neticesinde elde edilen yeni matematiksel model programı üç boyutlu grafiklerin oluşumunu mümkün kılmıştır. Düz dişli model için tam otomasyon sağlanmış olmasına rağmen, helisel dişli modelde manüel uygulamalara gerek duyulmuştur. Bunun nedeni helisel dişli modelin yapısı gereği vida hareketinin AutoCAD programının özelliği gereği uygulanmasının kısıtlı olmasından kaynaklanmıştır. Bunlar neticesinde aşağıdaki bölümlerde üç boyutlu düz ve helisel dişli modellerin farklı giriş parametre değerlerine göre örnekleri sunulmuştur.

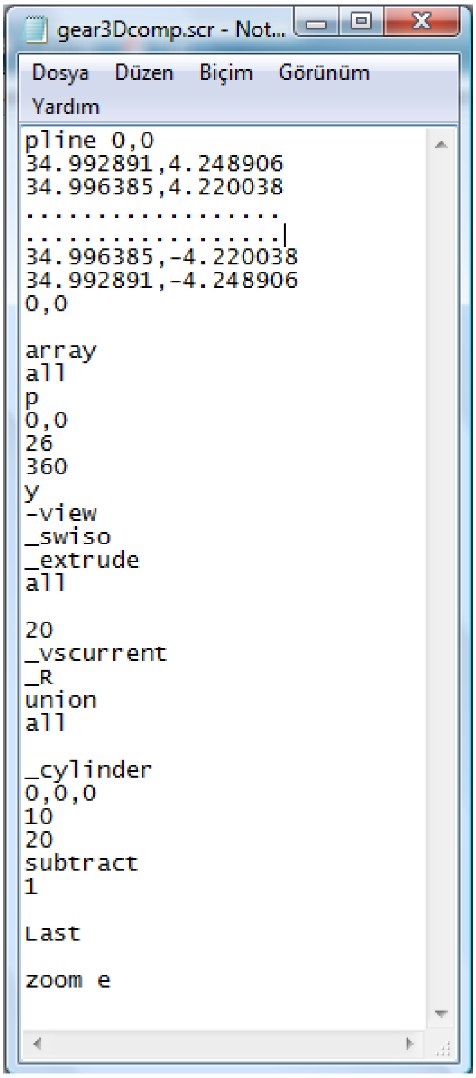
4.2.1. Üç Boyutlu Düz Dişli Modeller

Matlab programlama dilinde Şekil 4.12'de bir kısmı gösterilen tamamı Ek A3'te verilen matmod3ddüz.m isimli matematiksel model dosyası çalıştırılarak aşağıdaki giriş parametre değerleri yazılmış ve gear3dcomp.scr çıktı dosyasını oluşturmuştur. Bu script dosyası AutoCAD çizim programına gönderilmiş ve iki boyutlu tek dişli grafik modeli elde edilmiş olup farklı giriş parametre değerlerinde örnekler halinde sunulmuştur.


```
clc
clear all
ifade=fopen('pinion3Dcomp.scr','wt');
gear=fopen('gear3Dcomp.scr','wt');
mn=input('mn modul değerini giriniz: ');
z1=input('z1 diş sayısını giriniz: ');
tas=input('profil kaydırma faktörü e değerini giriniz: ');
fic1=input('Kavrama açısı fic1 değerini giriniz: ');
fic2=input('Kavrama açısı fic2 değerini giriniz: ');
beta=input('Helis açısı beta değerini giriniz: ');
Z=input('Z derinliğini giriniz: ');
h1=input('Dişli yüksekliği h1 değerini giriniz: ');
sr1=input('Mil çapı sr1 değerini giriniz: ');
Z1ac=Z;
Z1bd=Z;
Z1eg=Z;
Z1fh=Z;
Z1df=Z;
Z1ce=Z;
Z2ac=Z;
Z2bd=Z;
Z2eg=Z;
Z2fh=Z;
Z2df=Z;
Z2ce=Z;
r=0.38*mn;
ac=(1*mn)-(mn*tas);
at=1*mn;
bc=pi*mn/4;
fic11=fic1*pi/180;
fic22=fic2*pi/180;
bet=beta*pi/180;
r2=(r*(1-sin(fic11)))/(1-sin(fic22));
rp1=(mn*z1)/(2*cos(bet));
rt=rp1+mn*(1+tas);
kava1=atan((tan(fic11))/(cos(bet)));
............................................
```

Şekil 4.12: "matmod3ddüz.m" isimli matematiksel model dosyası

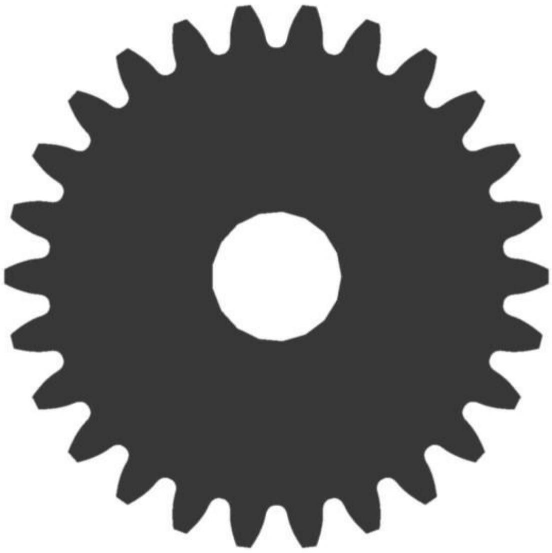
$m=3$, $z1=26$, $e=0$, $\phi_{c1}=20$, $\phi_{c2}=20$, $\beta=0$, $h1=20$, $sr1=10$ parametre değerleri girilerek Şekil 4.13'te gösterilen gear3Dcomp.scr dosyası oluşturulmuştur.



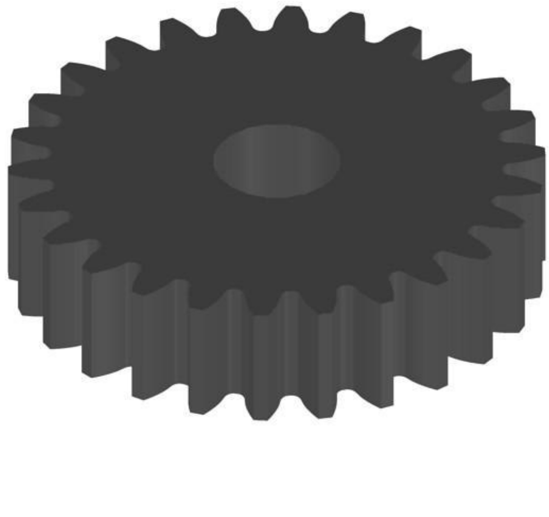

```
pline 0,0
34.992891,4.248906
34.996385,4.220038
.................
.................
34.996385,-4.220038
34.992891,-4.248906
0,0

array
all
p
0,0
26
360
y
-view
_swiso
_extrude
all

20
_vscurrent
_R
union
all

_cylinder
0,0,0
10
20
subtract
1

Last

zoom e
```

Şekil 4.13: "matmod3ddüz.m" program çıkış dosyası

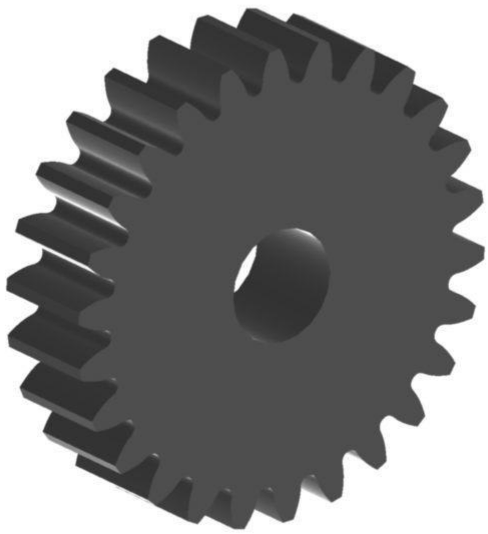
Oluşturulan gear3Dcomp.scr dosyası AutoCAD programında gönderilerek üç boyut düz dişli model elde edilmiştir. $\phi_{c1}=\phi_{c2}=20°$ kavrama açıları eşit olduğu için oluşturulan üç boyutlu dişli model simetrik üç boyutlu düz dişlidir. Şekil 4.14'te önden görünüş, Şekil 4.15'te "swiso" koordinat görünüşünde ve Şekil 4.16'da da serbest görünüşte üç boyutlu düz dişli grafik modeller gösterilmiştir.



Şekil 4.14: $z1 = 26$ diş sayılı önden görünüş düz dişli model

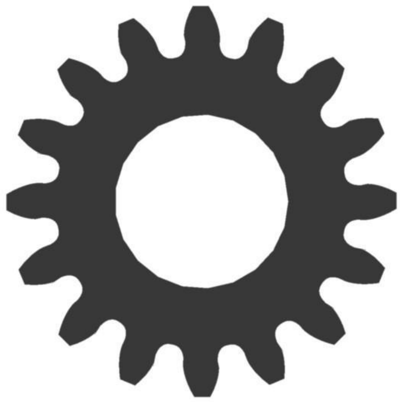


Şekil 4.15: $z1 = 26$ diş sayılı “swiso” görünüş üç boyutlu düz dişli model

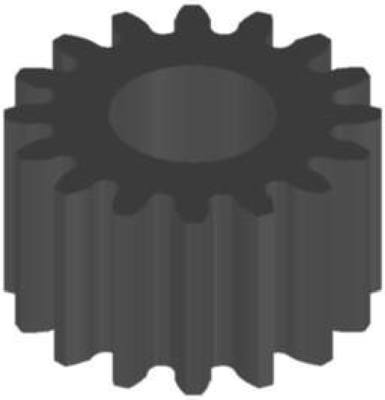


Şekil 4.16: $z1 = 26$ diş sayılı serbest görünüş üç boyutlu düz dişli model

Diğer bir örnekte; $m = 2.5$, $z1 = 16$, $e = 0$, $\phi_{c1} = 15$, $\phi_{c2} = 20$, $\beta = 0$, $h1 = 25$, $sr1 = 10$ parametre değerleri girilerek gear3Dcomp.scr dosyası oluşturulmuş ve bu dosya AutoCAD'e gönderilerek Şekil 4.17'de önden görünüş, Şekil 4.18'de "swiso" koordinat görünüşünde ve Şekil 4.19'da da serbest görünüşte asimetrik üç boyutlu düz dişli grafik model oluşturulmuştur.



Şekil 4.17: $z1 = 16$ diş sayılı düz dişli model

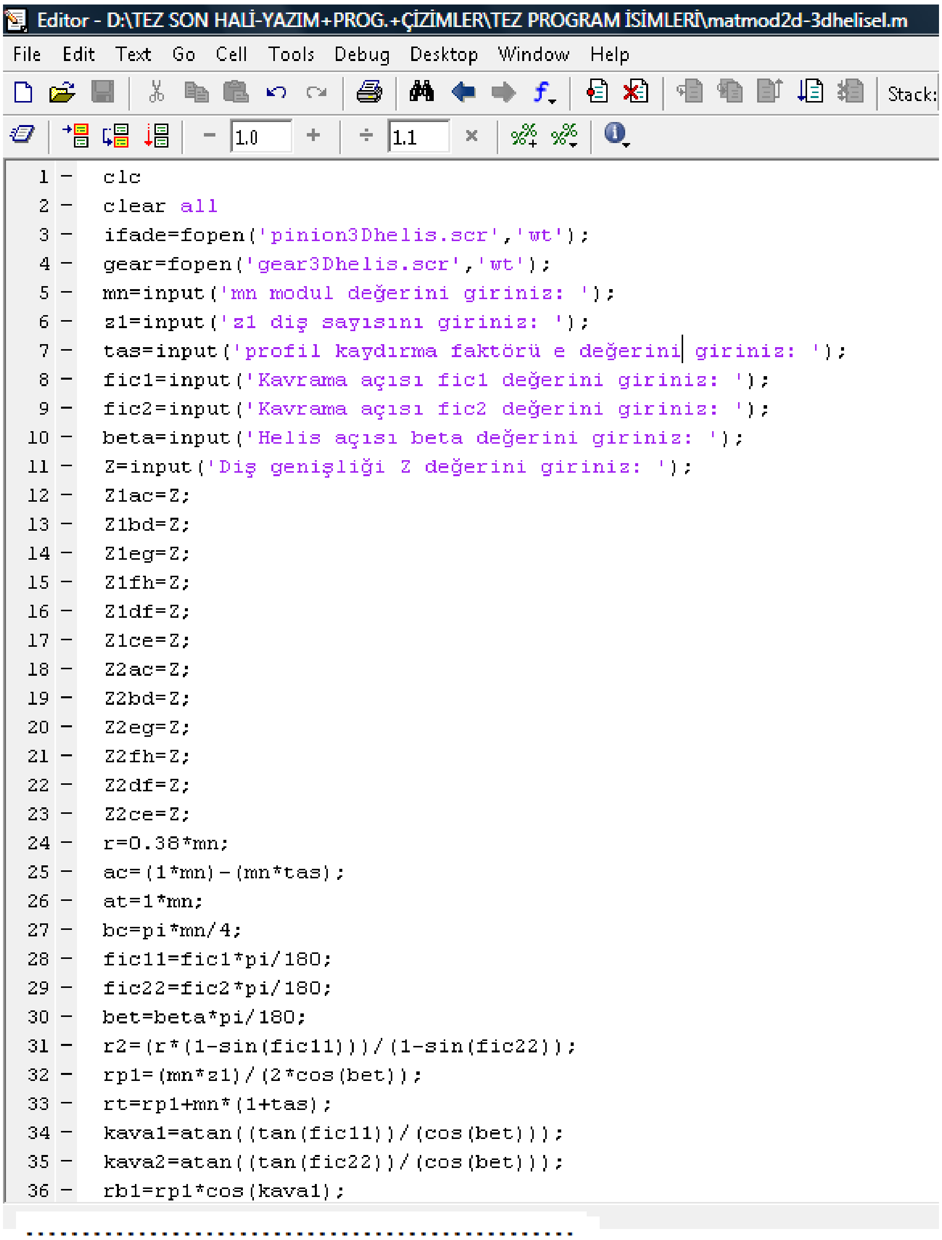


Şekil 4.18: $z1 = 16$ diş sayılı “swiso” görünüş üç boyutlu düz dişli model

Şekil 4.19: $z1 = 16$ diş sayılı serbest görünüş üç boyutlu düz dişli model

4.2.2. Helisel Dişli Modeller

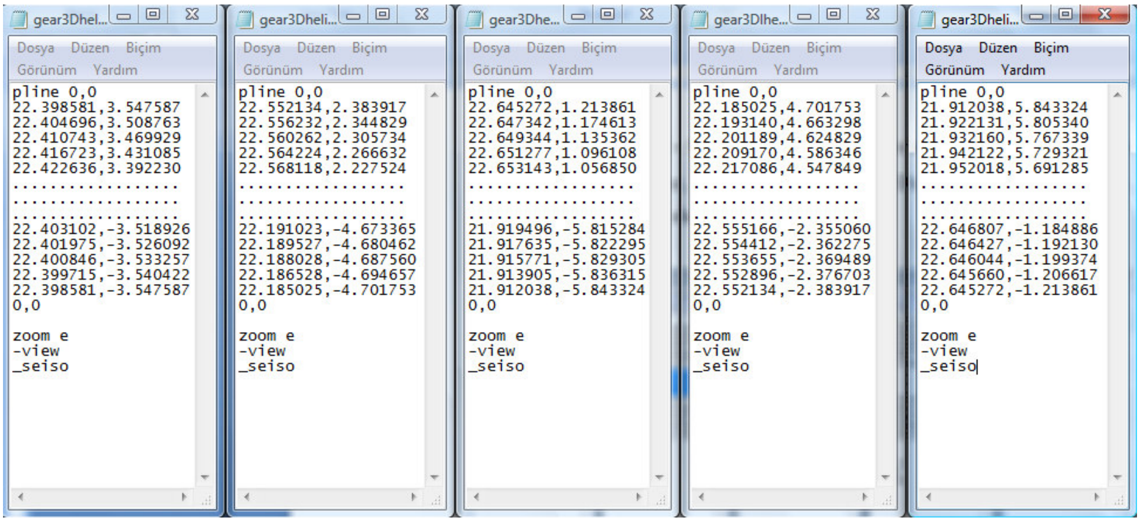
Matlab programlama dilinde Şekil 4.20'de bir kısmı gösterilen tamamı Ek A4'te verilen matmod2d-3dhelisel.m isimli matematiksel model dosyası çalıştırılarak aşağıdaki giriş parametre değerleri yazılmış ve gear3dhelis.scr çıktı dosyasını oluşturmuştur.




```
clc
clear all
ifade=fopen('pinion3Dhelis.scr','wt');
gear=fopen('gear3Dhelis.scr','wt');
mn=input('mn modul değerini giriniz: ');
z1=input('z1 diş sayısını giriniz: ');
tas=input('profil kaydırma faktörü e değerini giriniz: ');
fic1=input('Kavrama açısı fic1 değerini giriniz: ');
fic2=input('Kavrama açısı fic2 değerini giriniz: ');
beta=input('Helis açısı beta değerini giriniz: ');
Z=input('Diş genişliği Z değerini giriniz: ');
Z1ac=Z;
Z1bd=Z;
Z1eg=Z;
Z1fh=Z;
Z1df=Z;
Z1ce=Z;
Z2ac=Z;
Z2bd=Z;
Z2eg=Z;
Z2fh=Z;
Z2df=Z;
Z2ce=Z;
r=0.38*mn;
ac=(1*mn)-(mn*tas);
at=1*mn;
bc=pi*mn/4;
fic11=fic1*pi/180;
fic22=fic2*pi/180;
bet=beta*pi/180;
r2=(r*(1-sin(fic11)))/(1-sin(fic22));
rp1=(mn*z1)/(2*cos(bet));
rt=rp1+mn*(1+tas);
kava1=atan((tan(fic11))/(cos(bet)));
kava2=atan((tan(fic22))/(cos(bet)));
rb1=rp1*cos(kava1);
..................................................
```

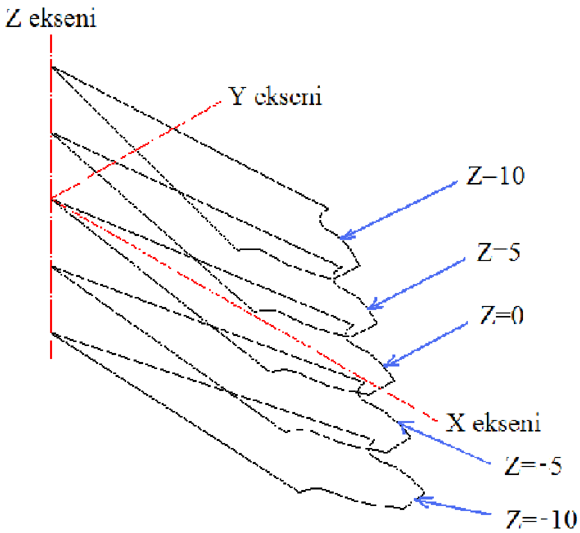
Şekil 4.20: "matmod2d-3dhelisel.m" isimli matematiksel model dosyası

$m = 2.5$, $z1 = 20$, $e = 0$, $\phi_{c1} = 15$, $\phi_{c2} = 20$, $\beta = 15$, $Z = -10$, $Z = -5$, $Z = 0$, $Z = 5$, $Z = 10$ parametre değerleri girilerek Şekil 4.21'de gösterilen gear3Dhelis1.scr, gear3Dhelis2.scr, gear3Dhelis3.scr, gear3Dhelis4.scr, gear3Dhelis5.scr dosyaları oluşturulmuştur.



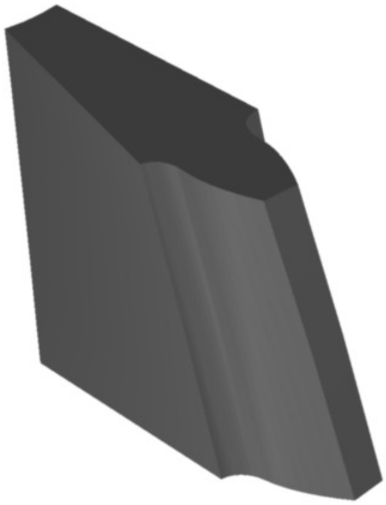
Şekil 4.21: “matmod3ddüz.m” program çıkış dosyaları

Bu script dosyaları AutoCAD çizim programına gönderilmiş ve Şekil 4.22’deki görüntü elde edilmiştir.



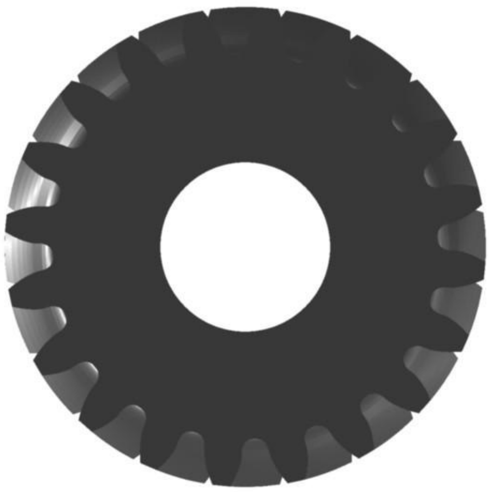
Şekil 4.22: Helisel dişli model elde edilmesinde ilk aşama

Bu çizimde diş başı köşe noktalarından “spline” komutu ile eğri çizilerek sonrasında “loft” komutu uygulanmıştır. Oluşan tek dişli helisel modelin ortasında mil deliği olacağı için “cylinder” komutu ile sr1=10 yarıçapında bir silindir oluşturulmuştur. Bu silindir “subtract” komutlu ile katı modelden çıkartılmış Şekil 4.23’te oluşan tek dişli katı modele dönüşmüştür.

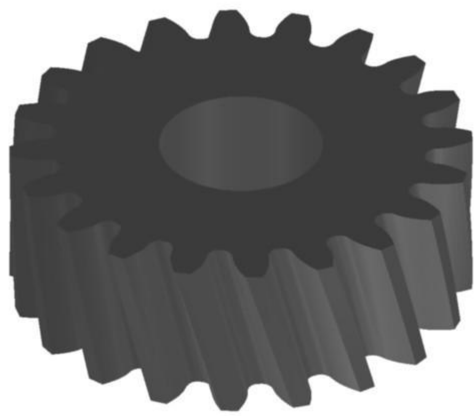


Şekil 4.23: $\beta = 15°$ açılı tek helisel dişli katı model

Bu katı model programda girilen diş sayısı adeti neticesinde "array" komutu ile döndürülerek tam helisel dişli grafik model elde edilmiştir. Bu tam model "render" komutu sayesinde katı model çıktısı olarak alınmış ve Şekil 4.24'te önden görünüş, Şekil 4.25'te "swiso" koordinat görünüşünde ve Şekil 4.26'da da serbest görünüşte üç boyutlu helisel dişli grafik modeller gösterilmiştir.



Şekil 4.24: $z1 = 20$ diş sayılı ve $\beta = 15°$ açılı önden görünüş üç boyutlu helisel dişli model

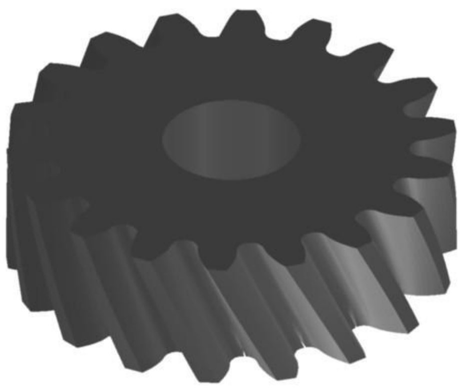


Şekil 4.25: $z1 = 20$ diş sayılı ve $\beta = 15°$ açılı “swiso” görünüş üç boyutlu helisel dişli model

Şekil 4.26: $z1 = 20$ diş sayılı ve $\beta = 15°$ açılı serbest görünüş üç boyutlu helisel dişli model

$m = 3$, $z1 = 18$, $e = 0$, $\phi_{c1} = 15$, $\phi_{c2} = 20$, $\beta = 25$, $Z = -10,\ Z = -5,\ Z = 0,\ Z = 5,\ Z = 10$ parametre değerleri girilerek önceki örnekte olduğu gibi script dosyaları oluşturulmuş ve aynı sırayla işlemler uygulanıp Şekil 4.27'de önden görünüş, Şekil 4.28'de "swiso" koordinat görünüşünde ve Şekil 4.29'da da serbest görünüşte üç boyutlu helisel dişli grafik modeller gösterilmiştir.

Şekil 4.27: $z1 = 18$ diş sayılı ve $\beta = 25°$ açılı önden görünüş üç boyutlu helisel dişli model

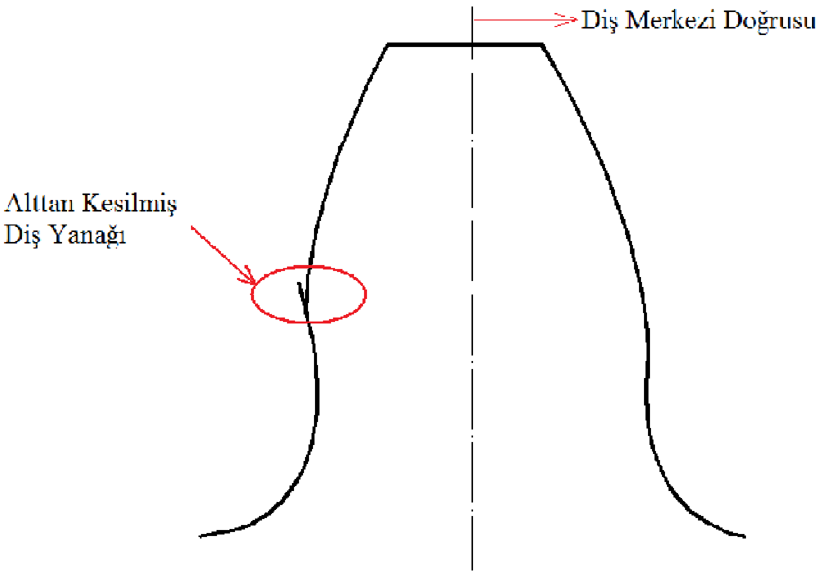


Şekil 4.28: $z1 = 18$ diş sayılı ve $\beta = 25°$ açılı "swiso" görünüş üç boyutlu helisel dişli model

Şekil 4.29: $z1=18$ diş sayılı ve $\beta=25°$ açılı serbest görünüş üç boyutlu helisel dişli model

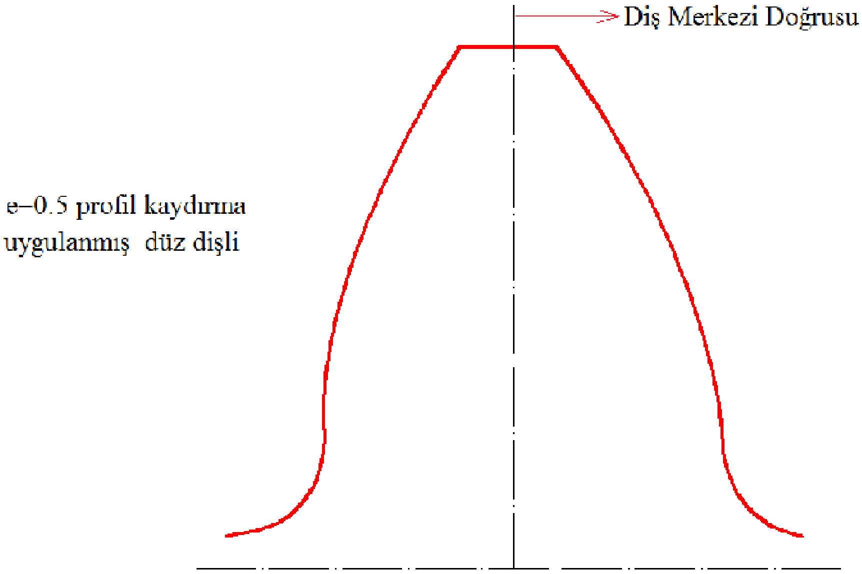
4.3. ALTTAN KESME DURUMUNUN GÖRSELLEŞTİRİLMESİ

$m=2.5$, $z1=17$, $e=0$, $\phi_{c1}=15$, $\phi_{c2}=20$, $\beta=0$ giriş parametre değerleri matmod2dline.m programında girilerek gear2dline.scr dosyası oluşturulmuştur. Bu dosya AutoCAD'e gönderilmiş ve Şekil 4.30'daki düz dişli model elde edilmiştir.



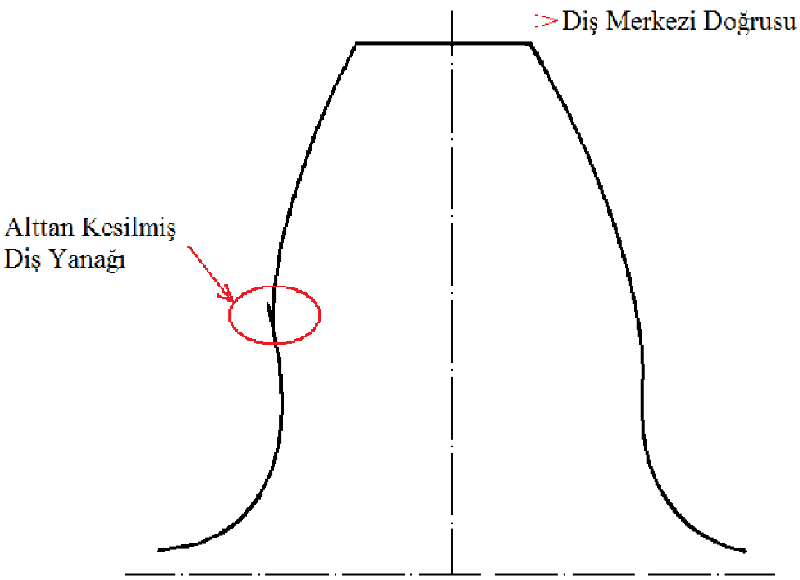
Şekil 4.30: Alttan kesme oluşmuş düz dişli model

Alttan kesme kavrama açısı $\phi_{c2} = 15°$ olan diş yanağında meydana gelmiştir. Alttan kesilmenin giderilmesi için takıma verilmesi gereken minimum kaydırma faktörü 3.94 numaralı denklemde verilen denklemle hesaplanır. Takıma $e = 0.5$ profil kaydırma faktörü verilerek alttan kesilme önlenmiş ve Şekil 4.31'de gösterilmiştir.



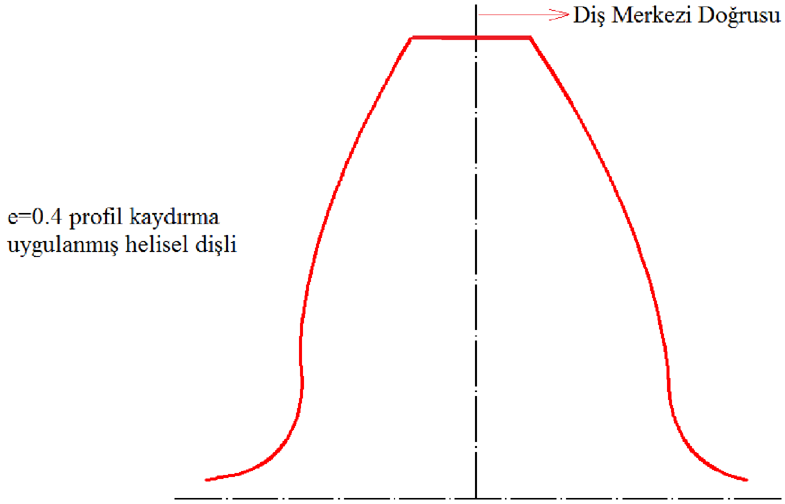
Şekil 4.31: Alttan kesmenin $e = 0.5$ profil kaydırma faktörü ile önlenmesi

Diğer bir örnekte ise; $m = 2.5$, $z1 = 17$, $e = 0$, $\phi_{c1} = 15$, $\phi_{c2} = 20$, $\beta = 15$ giriş parametre değerleri matmod2dline.m programında girilerek gear2dline.scr dosyası oluşturulmuştur. Bu dosya AutoCAD'e gönderilmiş ve Şekil 4.32'deki helisel dişli model elde edilmiştir.



Şekil 4.32: Alttan kesme oluşmuş helisel dişli model

Alttan kesme kavrama açısı $\phi_{c2} = 15°$ olan diş yanağında meydana gelmiştir. Alttan kesilmenin giderilmesi için takıma verilmesi gereken minimum kaydırma faktörü 3.94 numaralı denklemde verilen denklemle hesaplanır. Takıma $e = 0.4$ profil kaydırma faktörü verilerek alttan kesilme önlenmiş ve Şekil 4.33'de gösterilmiştir.



Şekil 4.33: Alttan kesmenin $e = 0.4$ profil kaydırma faktörü ile önlenmesi

$m = 2.5$, $z1 = 17$, $e = 0$, $\beta = 15$, $\phi_{c2} = 20$ değerleri için 3.94 numaralı denklemde verilen denklemle $\phi_{c1} = 10°$ ve $\phi_{c1} = 15°$ arasındaki açılarda gerekli minimum profil kaydırma faktörü hesaplanarak Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1: ϕ_{c1} kavrama açısı değerlerine göre gerekli minimum profil kaydırma faktörleri

ϕ_{c1} Kavrama Açısı	**Gerekli Minimum Profil Kaydırma Faktörü**
10^o	e=0.7162
11^o	e=0.6575
12^o	e=0.5935
13^o	e=0.5244
14^o	e=0.4503
15^o	e=0.3712

Kavrama açısı arttıkça uygulanması gerekli en profil kaydırma faktörü Tablo 4.1'den görüldüğü üzere azalmaktadır. Tablo 4.2'de aynı dizayn değerleri için helis açısının artmasıyla uygulanması gereken minimum profil kaydırma faktörünün azaldığı görülmektedir.

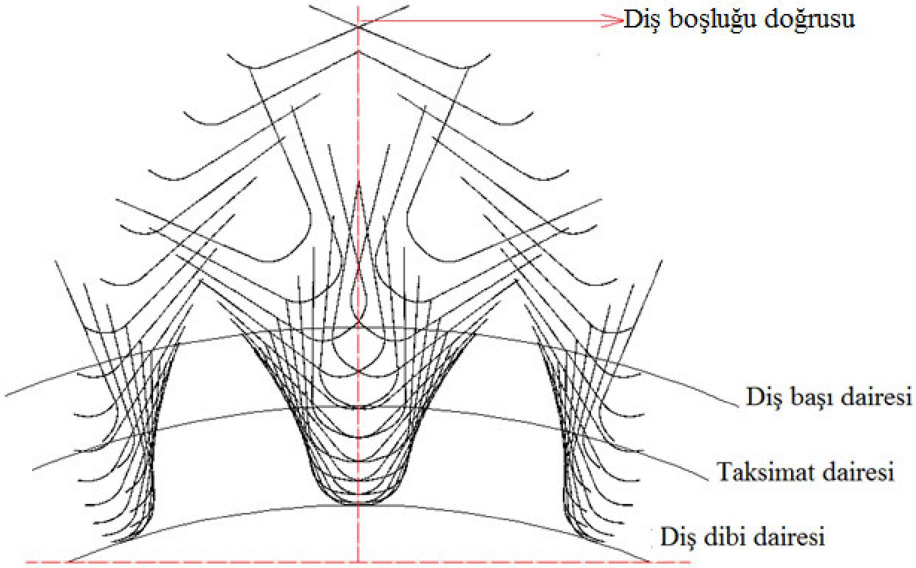
Tablo 4.2: β helis açısı değerlerine göre gerekli minimum profil kaydırma faktörleri

β Helis Açısı	**Gerekli Minimum Profil Kaydırma Faktörü**
10^o	e=0.4051
15^o	e=0.3712
20^o	e=0.3198
25^o	e=0.2461

4.4. DİŞ AÇMA SİMÜLASYONUNUN GÖRSELLEŞTİRİLMESİ

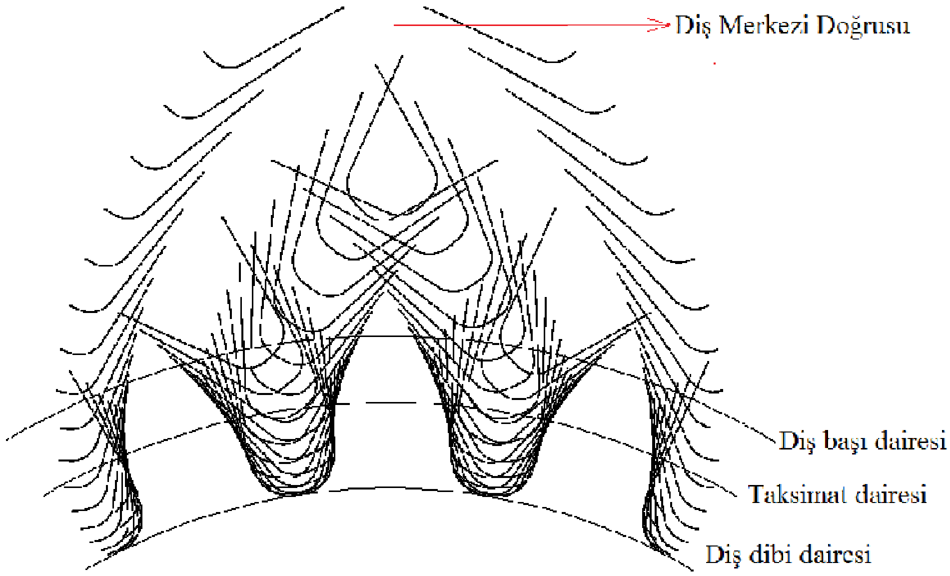
Takımın vektörel ifadesi ve takım yüzeyi-taslak yüzeyi dönüşüm matrisini kullanarak kesicinin taslak diş boşluğunu şekillendirmesi görselleştirilebilmektedir. 3.56 numaralı eşitlikte verilen dönüşüm matrisi takımın taslak üzerinde kaymadan yuvarlanmasını tanımlamaktadır. Diş profilini oluşturan matematiksel model aynen kullanılmakla beraber tüm bölgeler için eş çalışma denklemleri yerine yuvarlanma parametresi mesela $(-\pi/4) \leq \phi_{p1} \leq (\pi/4)$ aralığında $\pi/40$ artım adımında uygulanmaktadır. Böylece kesici takımın imalatta takip ettiği yörüngesi simüle edilmektedir. Böylelikle keyfi bir takım profili için eş çalışma denklemlerine gerek kalmadan yuvarlanma denklemi kullanılarak imal edilen dişli profili hakkında fikir sahibi olunabilir. Standart evolvent profil haricinde protuberanzlı takımla imalat, bombeli diş yanağı, dairesel yay diş profilleri gibi modifiye dişli profilleri de incelenebilir. Çeşitli parametreler için örnekler aşağıda verilmektedir.

Ek A5'te tamamı verilen "dişimalatsim.m" isimli programda $m = 3$, $z1 = 20$, $e = 0$, $\phi_{c1} = 20$, $\phi_{c2} = 20$, $\beta = 25$ giriş parametre değerleri sonucunda dişimalatsim.scr çıkış dosyası oluşturulmuş ve AutoCAD programına gönderilerek Şekil 4.34'teki taslaktaki iki dişi gösteren imalat simülasyonu elde edilmiştir.



Şekil 4.34: İki adet dişli imalat simülasyonu

"dişimalatsim.m" isimli program $m = 2.5$, $z1 = 20$, $e = 0$, $\phi_{c1} = 15$, $\phi_{c2} = 20$, $\beta = 15$ giriş parametre değerleri sonucunda tekrar çalıştırılarak dişimalatsim.scr çıkış dosyası oluşturulmuş ve AutoCAD programına gönderilerek Şekil 4.35'teki taslaktaki üç dişi gösteren imalat simülasyonu elde edilmiştir.



Şekil 4.35: Üç adet dişli imalat simülasyonu

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında bilgisayar simülasyonunda ilk basamak olan ve ileri nümerik analizler içinde referans teşkil eden kremayer-tipi takımla (kremayer bıçak veya azdırma) imalatı yapılan simetrik, asimetrik düz ve helisel dişli çarkların katı modeli için matematiksel modellenmesi ele alınmıştır. Yüksek performans ve düşük hacim/ağırlık gerektiren uygulamalarda çeşitleme konstrüksiyonuna örnek bir uygulama olarak asimetrik evolvent profilli dişli çarklar kullanıldığından; alın dişli çarklarda genel hal olan asimetrik evolvent profilli helisel dişli çarkların; vektör yaklaşımı ile kremayer tipi kesici takım geometrisi modellenmiş ve matris dönüşüm, diferansiyel geometri, eş çalışma denklemlerinden hareketle matematiksel model elde edilmiştir. Bu matematiksel model bir programlama dili olan Matlab programı sayesinde giriş dizayn parametre değerlerine göre çıkış dosyaları oluşturulmuş ve bu dosyalar AutoCAD grafik programına aktarılmıştır. Çeşitli haller için program çalıştırılmış ve sonuçlar grafik olarak görselleştirilmiştir. Kremayer-tipi kesici takımın dizayn parametreleri ve yerleştirmesinin dişli çark geometrisine olan etkileri incelenmiştir.

Diş dibi kesitini zayıflatarak dişli çarkın eğilme mukavemetini düşüren alttan kesmenin analizi verilen matematiksel modele göre yapılmıştır. Alttan kesmenin önlenmesi için takıma verilmesi gereken kaydırma faktörü hesaplanmıştır. Matematiksel model Matlab'te programlanarak diş açmanın bilgisayar simülasyonu AutoCAD'te gerçekleştirilmiştir. Profil kaydırmanın imal edilen dişli geometrisi üzerinde etkileride görselleştirilmiştir. Kavrama açıları ve helis açısı arttıkça gerekli minimum profil kaydırma miktarının ve diş başı kalınlığının azaldığı görülmüştür. Çeşitli takım geometrileri için imalatta takımın taslağı şekillendirmesi simüle edilmiştir. Bu bize dişli imal edilmeden önce ne gibi sorunlarla karşılaşabileceğimize ve önlem almamıza olanak vermiştir. Böylelikle imalattan önce çeşitli dizayn parametrelerinin etkileri incelenerek dizaynda gerekli tedbirler alınabileceği anlaşılmıştır. İlk önce iki boyutlu modeller oluşturulmuş dişli profillerindeki değişiklikler gözlenmiş, daha sonrasında üç boyutlu modeller CAD programında alın kesitlerinden faydalanılarak ekstrüzyonla (kesitin belli bir yörüngede ötelenmesi) oluşturulmuştur.

Bu tez çalışmasında incelenen matematiksel model ve bu modeli esas alınarak sunulan bilgisayar programlama yaklaşımı uygun düzenlemeler ile asimetrik evolvent profilli düz ve helisel dişli çarkların sonlu elemanlar modellerinin oluşturulmasında da kullanılabilecektir.

Asimetrik dişli çarklar, yüksek performans gerektiren havacılık ve otomotiv dişli transmisyonları gibi uygulamalarda son yıllarda tercih edilmektedir. Fakat ülkemizde hali hazırda asimetrik dişli ile ilgili dizayn ve imalat çalışmaları yapılmamaktadır. Sunulan bu tez çalışmasının sonuçlarının simetrik ve asimetrik dişli çarkların dizayn ve imalatında son derece faydalı olacağı beklenilmektedir.

KAYNAKLAR

AKKURT, M., 1990, *Makine Elemanları*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 975-511-035-6

CHEN, C.F. and TSAY, C.B., 2005, *Tooth profile design for the manufacture of helical gear sets with small numbers of teeth*, International Journal of Machine Tools & Manufacure, 45 (12-13), 1531-1541.

CHEN, C.F., LIN, H.T., TSAY, C.B., 2001, *Mathematical model and undercutting analysis of modified helical gears with smaller teeth number*, Proceedings of the 18th National Conference of the Chinese Society of Mechanical Engineers, Taipei, 3, 17-24.

CÜRGÜL, İ., 1993, *Makine Elemanları*, Kocaeli Üniversitesi Yayınları, Kocaeli.

ÇAKMAK, SUAT, 1980, *Dişli Çarklar*, İDMMA, İstanbul.

FETVACI M.C., 2007, *Alın dişli çarklar* [online], İstanbul Üniveristesi, http://www.istanbul.edu.tr/eng/makina/cfetvaci/alindis.pdf [Ziyaret Tarihi : 14 Kasım 2008].

FETVACI, M.C. and IMRAK, C., 2008, *Mathematical model of a spur gear with asymmetric involute teeth and its cutting simulation,* Mechanics Based Design of Structures and Machines, 36 (1), 34-46.

FETVACI, M.C. and IMRAK C.E., 2004, *Diş dibi gerilmelerinin analizi için düz dişli çarkların sonlu eleman modellenmesi*, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19 (2), 199-203.

KAPELEVICH, A.L., 2000, *Geometry and design of involute spur gears with asymmetric teeth*, Mechanism and Machine Theory, 35, 117-130.

KAPELEVICH, A.L and SHEKHTMAN, Y.V., 2008, *Tooth fillet profile optimization for gears with symmetric and asymmetric teeth*, AGMA Fall Technical Meeting, 12-14,1-11

KAPELEVICH, A.L, LITVIN, F.L., LIAN, Q., 1999, *Asymmetric modified gear drives: reduction of noise, localization of contact, simulation of meshing and stress analysis,* Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 188 (2000), 363-390.

KAPELEVICH, A.L and KLEISS, R.E., 2002, *Direct gear design for spur and helical gears*, Gear Technology, 29 - 35.

LITVIN, F.L., 1994, *Gear geometry and applied theory*, Cambridge University Press, New Jersey, 0-13-211095-4.

LITVIN, F.L. and FUENTES, A., 2004, *Gear geometry and applied theory second edition*, PTR Prentice Hall, New York, 0-521-81517-7.

LIU, C.C. and TSAY, C.B., 2000, *Contact characteristics of beveloid gears*, Mechanism and Machine Theory, 37 (2002), 333-350.

RAO, CH.R.M. and MUTHUVEERAPPAN, G., 1992, *Finite element modelling and stress analysis of helical gear teeth*, Computers & Structures, 49 (6), 1095-1106.

TSAY, C.B., 1988, *Helical gears with involute shaped teeth: geometry, computer simulation, tooth contact analysis and stress analysis*, ASME J. Mech. Transm. Autom. Des., 110, 482-491.

UZUNOĞLU M., KIZIL A., ONAR, Ö.Ç., 2003, *Her yönü ile Matlab*, Türkmen Kitabevi, İstanbul, 975-6392-07-X.

YANG, S.C., 2005, *Mathematical Model of a Helical Gear with Asymmetric Involute Teeth and Its Analysis*, Int. J. Adv. Manuf. Technol., 26 (5-6), 448-456.

YANG, S.C., 2007, *Study on an internal gear with asymmetric involute teeth*, Mechanism and Machine Theory, 42 (8), 977-994.

EKLER

EK A : MATLAB MATEMATİKSEL MODEL PROGRAMLARI

EK A1 : “matmod2dline.m” Matlab Matematiksel Model Programı

```
clc
clear all
ifade=fopen('pinion2Dline.scr','wt');
gear=fopen('gear2Dline.scr','wt');
mn=input('mn modul değerini giriniz: ');
z1=input('z1 diş sayısını giriniz: ');
tas=input('profil kaydırma faktörü e değerini giriniz: ');
fic1=input('Kavrama açısı fic1 değerini giriniz: ');
fic2=input('Kavrama açısı fic2 değerini giriniz: ');
beta=input('Helis açısı beta değerini giriniz: ');
Z=input('Diş genişliği Z değerini giriniz: ');
Z1ac=Z;
Z1bd=Z;
Z1eg=Z;
Z1fh=Z;
Z1df=Z;
Z1ce=Z;
Z2ac=Z;
Z2bd=Z;
Z2eg=Z;
Z2fh=Z;
Z2df=Z;
Z2ce=Z;
r=0.38*mn;
ac=(1*mn)-(mn*tas);
at=1*mn;
bc=pi*mn/4;
fic11=fic1*pi/180;
fic22=fic2*pi/180;
bet=beta*pi/180;
r2=(r*(1-sin(fic11)))/(1-sin(fic22));
rp1=(mn*z1)/(2*cos(bet));
rt=rp1+mn*(1+tas);
kava1=atan((tan(fic11))/(cos(bet)));
kava2=atan((tan(fic22))/(cos(bet)));
rb1=rp1*cos(kava1);
```

```
rb2=rp1*cos(kava2);
st1=(-rp1*sin(fic11))+sqrt((rt.^2)-(rp1*cos(fic11)).^2);
st2=(-rp1*sin(fic22))+sqrt((rt.^2)-(rp1*cos(fic22)).^2);
tk1=st1*sin(fic11);
tk2=st2*sin(fic22);
fprintf(ifade,'pline 0,0');
fprintf(gear,'pline 0,0');
fprintf(ifade,'\n');
fprintf(gear,'\n');
%%regions ac
w=((pi*mn/4)-(ac*tan(fic11))-(r2*cos(fic11)))-(mn*tas*tan(fic11));
i=0;
for cy=0:1:0
  i=i+1;
  j=0;
  for la=0:(w/6):w
    j=j+1;
      X1ac=(-ac+(r*sin(fic11))-r);
      Y1ac=((pi*mn/2)-la+(cy*pi*mn)-(Z1ac*sin(bet)))/cos(bet);
      fprintf(ifade,'%0f,%0f\n',X1ac,Y1ac);
      fip1ac=Y1ac/rp1;
      S=rp1*(fip1ac);
      X2ac=X1ac*cos(fip1ac)-Y1ac*sin(fip1ac)+rp1*cos(fip1ac)+S*sin(fip1ac);
      Y2ac=X1ac*sin(fip1ac)+Y1ac*cos(fip1ac)+rp1*sin(fip1ac)-S*cos(fip1ac);
      fprintf(gear,'%0f,%0f\n',X2ac,Y2ac);
  end
end
%%regions ce
w3=((pi/2)-(fic11));
i=0;
for cy=0:1:0
  i=i+1;
  j=0;
  for lc=0:(w3)/9:w3
    j=j+1;
      X1ce=(-ac+(r*sin(fic11))-(r*cos(lc)));
      Y1ce=((bc+(mn*tas*tan(fic11))+(ac*tan(fic11))+(r*cos(fic11))-
(r*sin(lc))+(cy*pi*mn))-(Z1ce*sin(bet)))/cos(bet);
      fprintf(ifade,'%0f,%0f\n',X1ce,Y1ce);
      fip1ce=(Y1ce-(X1ce*tan(lc)*cos(bet)))/rp1;
      S=rp1*(fip1ce);
      X2ce=X1ce*cos(fip1ce)-Y1ce*sin(fip1ce)+rp1*cos(fip1ce)+S*sin(fip1ce);
      Y2ce=X1ce*sin(fip1ce)+Y1ce*cos(fip1ce)+rp1*sin(fip1ce)-S*cos(fip1ce);
      fprintf(gear,'%0f,%0f\n',X2ce,Y2ce);
  end
end
%%regions eg
w11=-(ac/cos(fic11));
w22=(tk1/cos(fic11));
```

```
wa=(w22-w11)/9;
i=0;
for cy=0:1:0
   i=i+1;
   j=0;
   for le=(w11):wa:(w22)
      j=j+1;
      X1eg=(le*cos(fic11));
         Y1eg=((bc+(mn*tas*tan(fic11))-(le*sin(fic11))+(cy*pi*mn))-
(Z1eg*sin(bet)))/cos(bet);
         fprintf(ifade,'%0f,%0f\n',X1eg,Y1eg);
         fip1eg=((-X1eg*cos(bet))+(Y1eg*tan(fic11)))/(rp1*tan(fic11));
         S=rp1*(fip1eg);
         X2eg=X1eg*cos(fip1eg)-Y1eg*sin(fip1eg)+rp1*cos(fip1eg)+S*sin(fip1eg);
         Y2eg=X1eg*sin(fip1eg)+Y1eg*cos(fip1eg)+rp1*sin(fip1eg)-S*cos(fip1eg);
         fprintf(gear,'%0f,%0f\n',X2eg,Y2eg);
   end
end
%%regions fh
w33=-(ac/cos(fic22));
w44=(tk2/cos(fic22));
wb=(w44-w33)/9;
i=0;
for cy=0:1:0
   i=i+1;
   j=0;
   for lf=(w44):(-wb):(w33)
      j=j+1;
      X1fh=(lf*cos(fic22));
         Y1fh=((-bc-(mn*tas*tan(fic22))+(lf*sin(fic22))+(cy*pi*mn))-
(Z1fh*sin(bet)))/cos(bet);
         fprintf(ifade,'%0f,%0f\n',X1fh,Y1fh);
         fip1fh=((X1fh*cos(bet))+(Y1fh*tan(fic22)))/(rp1*tan(fic22));
         S=rp1*(fip1fh);
         X2fh=X1fh*cos(fip1fh)-Y1fh*sin(fip1fh)+rp1*cos(fip1fh)+S*sin(fip1fh);
         Y2fh=X1fh*sin(fip1fh)+Y1fh*cos(fip1fh)+rp1*sin(fip1fh)-S*cos(fip1fh);
         fprintf(gear,'%0f,%0f\n',X2fh,Y2fh);
   end
end
%%regions df
w4=((pi/2)-(fic22));
i=0;
for cy=0:1:0
   i=i+1;
   j=0;
   for ld=w4:(-w4)/9:0
      j=j+1;
      X1df=(-ac+(r2*sin(fic22))-(r2*cos(ld)));
```

```
          Y1df=((-bc-(mn*tas*tan(fic22))-(ac*tan(fic22))-
(r2*cos(fic22))+(r2*sin(ld))+(cy*pi*mn))-(Z1df*sin(bet)))/cos(bet);
          fprintf(ifade,'%0f,%0f\n',X1df,Y1df);
          fip1df=(Y1df+(X1df*tan(ld)*cos(bet)))/rp1;
          S=rp1*(fip1df);
          X2df=X1df*cos(fip1df)-Y1df*sin(fip1df)+rp1*cos(fip1df)+S*sin(fip1df);
          Y2df=X1df*sin(fip1df)+Y1df*cos(fip1df)+rp1*sin(fip1df)-S*cos(fip1df);
          fprintf(gear,'%0f,%0f\n',X2df,Y2df);
   end
end
%%regions bd
w2=((pi*mn/4)-(ac*tan(fic22))-(r2*cos(fic22)))-(mn*tas*tan(fic22));
i=0;
for cy=0:1:0
   i=i+1;
   j=0;
   for lb=w2:(-w2)/6:0
      j=j+1;
      X1bd=(-ac+(r2*sin(fic22))-r2);
          Y1bd=(-(pi*mn/2)+lb+(cy*pi*mn)-(Z1bd*sin(bet)))/cos(bet);
          fprintf(ifade,'%0f,%0f\n',X1bd,Y1bd);
          fip1bd=Y1bd/rp1;
          S=rp1*(fip1bd);
          X2bd=X1bd*cos(fip1bd)-Y1bd*sin(fip1bd)+rp1*cos(fip1bd)+S*sin(fip1bd);
          Y2bd=X1bd*sin(fip1bd)+Y1bd*cos(fip1bd)+rp1*sin(fip1bd)-S*cos(fip1bd);
          fprintf(gear,'%0f,%0f\n',X2bd,Y2bd);
   end
end
fprintf(gear,'0,0\n');
fprintf(gear,'\n');
fprintf(gear,'zoom e\n');
fclose(ifade);
!notepad pinion2Dline.scr
fclose(gear);
!notepad gear2Dline.scr
```

EK A2 : “matmod2dtam.m” Matlab Matematiksel Model Programı

```
clc
clear all
ifade=fopen('pinion2Dcomp.scr','wt');
gear=fopen('gear2Dcomp.scr','wt');
mn=input('mn modul değerini giriniz: ');
z1=input('z1 diş sayısını giriniz: ');
tas=input('profil kaydırma faktörü e değerini giriniz: ');
fic1=input('Kavrama açısı fic1 değerini giriniz: ');
fic2=input('Kavrama açısı fic2 değerini giriniz: ');
beta=input('Helis açısı beta değerini giriniz: ');
```

```
Z=input('Diş genişliği Z değerini giriniz: ');
Z1ac=Z;
Z1bd=Z;
Z1eg=Z;
Z1fh=Z;
Z1df=Z;
Z1ce=Z;
Z2ac=Z;
Z2bd=Z;
Z2eg=Z;
Z2fh=Z;
Z2df=Z;
Z2ce=Z;
r=0.38*mn;
ac=(1*mn)-(mn*tas);
at=1*mn;
bc=pi*mn/4;
fic11=fic1*pi/180;
fic22=fic2*pi/180;
bet=beta*pi/180;
r2=(r*(1-sin(fic11)))/(1-sin(fic22));
rp1=(mn*z1)/(2*cos(bet));
rt=rp1+mn*(1+tas);
kava1=atan((tan(fic11))/(cos(bet)));
kava2=atan((tan(fic22))/(cos(bet)));
rb1=rp1*cos(kava1);
rb2=rp1*cos(kava2);
st1=(-rp1*sin(fic11))+sqrt((rt.^2)-(rp1*cos(fic11)).^2);
st2=(-rp1*sin(fic22))+sqrt((rt.^2)-(rp1*cos(fic22)).^2);
tk1=st1*sin(fic11);
tk2=st2*sin(fic22);
fprintf(ifade,'pline ');
fprintf(gear,'pline ');
%%regions ac
w=((pi*mn/4)-(ac*tan(fic11))-(r*cos(fic11)))-(mn*tas*tan(fic11));
i=0;
for cy=0:1:0
   i=i+1;
   j=0;
   for la=0:(w/10):w
      j=j+1;
         X1ac=(-ac+(r*sin(fic11))-r);
         Y1ac=((pi*mn/2)-la+(cy*pi*mn)-(Z1ac*sin(bet)))/cos(bet);
         fprintf(ifade,'%0f,%0f\n',X1ac,Y1ac);
         fip1ac=Y1ac/rp1;
         S=rp1*(fip1ac);
         X2ac=X1ac*cos(fip1ac)-Y1ac*sin(fip1ac)+rp1*cos(fip1ac)+S*sin(fip1ac);
         Y2ac=X1ac*sin(fip1ac)+Y1ac*cos(fip1ac)+rp1*sin(fip1ac)-S*cos(fip1ac);
         fprintf(gear,'%0f,%0f\n',X2ac,Y2ac);
```

```
    end
end
%%regions ce
w3=((pi/2)-(fic11));
i=0;
for cy=0:1:0
    i=i+1;
    j=0;
    for lc=0:(w3)/20:w3
        j=j+1;
            X1ce=(-ac+(r*sin(fic11))-(r*cos(lc)));
            Y1ce=((bc+(mn*tas*tan(fic11))+(ac*tan(fic11))+(r*cos(fic11))-
(r*sin(lc))+(cy*pi*mn))-(Z1ce*sin(bet)))/cos(bet);
            fprintf(ifade,'%0f,%0f\n',X1ce,Y1ce);
            fip1ce=(Y1ce-(X1ce*tan(lc)*cos(bet)))/rp1;
            S=rp1*(fip1ce);
            X2ce=X1ce*cos(fip1ce)-Y1ce*sin(fip1ce)+rp1*cos(fip1ce)+S*sin(fip1ce);
            Y2ce=X1ce*sin(fip1ce)+Y1ce*cos(fip1ce)+rp1*sin(fip1ce)-S*cos(fip1ce);
            fprintf(gear,'%0f,%0f\n',X2ce,Y2ce);
    end
end
%%regions eg
w11=-(ac/cos(fic11));
w22=(tk1/cos(fic11));
wa=(w22-w11)/30;
i=0;
for cy=0:1:0
    i=i+1;
    j=0;
    for le=(w11):wa:(w22)
        j=j+1;
        X1eg=(le*cos(fic11));
            Y1eg=((bc+(mn*tas*tan(fic11))-(le*sin(fic11))+(cy*pi*mn))-
(Z1eg*sin(bet)))/cos(bet);
            fprintf(ifade,'%0f,%0f\n',X1eg,Y1eg);
            fip1eg=((-X1eg*cos(bet))+(Y1eg*tan(fic11)))/(rp1*tan(fic11));
            S=rp1*(fip1eg);
            X2eg=X1eg*cos(fip1eg)-Y1eg*sin(fip1eg)+rp1*cos(fip1eg)+S*sin(fip1eg);
            Y2eg=X1eg*sin(fip1eg)+Y1eg*cos(fip1eg)+rp1*sin(fip1eg)-S*cos(fip1eg);
            fprintf(gear,'%0f,%0f\n',X2eg,Y2eg);
    end
end
%%regions fh
w33=-(ac/cos(fic22));
w44=(tk2/cos(fic22));
wb=(w44-w33)/30;
i=0;
for cy=0:1:0
    i=i+1;
```

```
   j=0;
   for lf=(w44):(-wb):(w33)
      j=j+1;
      X1fh=(lf*cos(fic22));
         Y1fh=((-bc-(mn*tas*tan(fic22))+(lf*sin(fic22))+(cy*pi*mn))-
(Z1fh*sin(bet)))/cos(bet);
         fprintf(ifade,'%0f,%0f\n',X1fh,Y1fh);
         fip1fh=((X1fh*cos(bet))+(Y1fh*tan(fic22)))/(rp1*tan(fic22));
         S=rp1*(fip1fh);
         X2fh=X1fh*cos(fip1fh)-Y1fh*sin(fip1fh)+rp1*cos(fip1fh)+S*sin(fip1fh);
         Y2fh=X1fh*sin(fip1fh)+Y1fh*cos(fip1fh)+rp1*sin(fip1fh)-S*cos(fip1fh);
         fprintf(gear,'%0f,%0f\n',X2fh,Y2fh);
   end
end
%%regions df
w4=((pi/2)-(fic22));
i=0;
for cy=0:1:0
   i=i+1;
   j=0;
   for ld=w4:(-w4)/20:0
      j=j+1;
      X1df=(-ac+(r2*sin(fic22))-(r2*cos(ld)));
         Y1df=((-bc-(mn*tas*tan(fic22))-(ac*tan(fic22))-
(r2*cos(fic22))+(r2*sin(ld))+(cy*pi*mn))-(Z1df*sin(bet)))/cos(bet);
         fprintf(ifade,'%0f,%0f\n',X1df,Y1df);
         fip1df=(Y1df+(X1df*tan(ld)*cos(bet)))/rp1;
         S=rp1*(fip1df);
         X2df=X1df*cos(fip1df)-Y1df*sin(fip1df)+rp1*cos(fip1df)+S*sin(fip1df);
         Y2df=X1df*sin(fip1df)+Y1df*cos(fip1df)+rp1*sin(fip1df)-S*cos(fip1df);
         fprintf(gear,'%0f,%0f\n',X2df,Y2df);
   end
end
%%regions bd
w2=((pi*mn/4)-(ac*tan(fic22))-(r2*cos(fic22)))-(mn*tas*tan(fic22));
i=0;
for cy=0:1:0
   i=i+1;
   j=0;
   for lb=w2:(-w2)/10:0
      j=j+1;
      X1bd=(-ac+(r2*sin(fic22))-r2);
         Y1bd=(-(pi*mn/2)+lb+(cy*pi*mn)-(Z1bd*sin(bet)))/cos(bet);
         fprintf(ifade,'%0f,%0f\n',X1bd,Y1bd);
         fip1bd=Y1bd/rp1;
         S=rp1*(fip1bd);
         X2bd=X1bd*cos(fip1bd)-Y1bd*sin(fip1bd)+rp1*cos(fip1bd)+S*sin(fip1bd);
         Y2bd=X1bd*sin(fip1bd)+Y1bd*cos(fip1bd)+rp1*sin(fip1bd)-S*cos(fip1bd);
         fprintf(gear,'%0f,%0f\n',X2bd,Y2bd);
```

```
    end
end
fprintf(gear,'\n');
fprintf(gear,'array\n');
fprintf(gear,'all \n');
fprintf(gear,'p\n');
fprintf(gear,'0,0\n');
fprintf(gear,'%0.0f\n',z1);
fprintf(gear,'360\n');
fprintf(gear,'y\n');
fprintf(gear,'zoom e\n');
fclose(ifade);
!notepad pinion2Dcomp.scr
fclose(gear);
!notepad gear2Dcomp.scr
```

EK A3 : "matmod3ddüz.m" Matlab Matematiksel Model Programı

```
clc
clear all
ifade=fopen('pinion3Dcomp.scr','wt');
gear=fopen('gear3Dcomp.scr','wt');
mn=input('mn modul değerini giriniz: ');
z1=input('z1 diş sayısını giriniz: ');
tas=input('profil kaydırma faktörü e değerini giriniz: ');
fic1=input('Kavrama açısı fic1 değerini giriniz: ');
fic2=input('Kavrama açısı fic2 değerini giriniz: ');
beta=input('Helis açısı beta değerini giriniz: ');
Z=input('Z derinliğini giriniz: ');
h1=input('Dişli yüksekliği h1 değerini giriniz: ');
sr1=input('Mil çapı sr1 değerini giriniz: ');
Z1ac=Z;
Z1bd=Z;
Z1eg=Z;
Z1fh=Z;
Z1df=Z;
Z1ce=Z;
Z2ac=Z;
Z2bd=Z;
Z2eg=Z;
Z2fh=Z;
Z2df=Z;
Z2ce=Z;
r=0.38*mn;
ac=(1*mn)-(mn*tas);
at=1*mn;
bc=pi*mn/4;
fic11=fic1*pi/180;
```

```
fic22=fic2*pi/180;
bet=beta*pi/180;
r2=(r*(1-sin(fic11)))/(1-sin(fic22));
rp1=(mn*z1)/(2*cos(bet));
rt=rp1+mn*(1+tas);
kava1=atan((tan(fic11))/(cos(bet)));
kava2=atan((tan(fic22))/(cos(bet)));
rb1=rp1*cos(kava1);
rb2=rp1*cos(kava2);
st1=(-rp1*sin(fic11))+sqrt((rt.^2)-(rp1*cos(fic11)).^2);
st2=(-rp1*sin(fic22))+sqrt((rt.^2)-(rp1*cos(fic22)).^2);
tk1=st1*sin(fic11);
tk2=st2*sin(fic22);
fprintf(ifade,'pline 0,0');
fprintf(gear,'pline 0,0');
fprintf(ifade,'\n');
fprintf(gear,'\n');
%%regions ac
w=((pi*mn/4)-(ac*tan(fic11))-(r*cos(fic11)))-(mn*tas*tan(fic11));
i=0;
for cy=0:1:0
   i=i+1;
   j=0;
   for la=0:(w/6):w
      j=j+1;
         X1ac=(-ac+(r*sin(fic11))-r);
         Y1ac=((pi*mn/2)-la+(cy*pi*mn)-(Z1ac*sin(bet)))/cos(bet);
         fprintf(ifade,'%0f,%0f\n',X1ac,Y1ac);
         fip1ac=Y1ac/rp1;
         S=rp1*(fip1ac);
         X2ac=X1ac*cos(fip1ac)-Y1ac*sin(fip1ac)+rp1*cos(fip1ac)+S*sin(fip1ac);
         Y2ac=X1ac*sin(fip1ac)+Y1ac*cos(fip1ac)+rp1*sin(fip1ac)-S*cos(fip1ac);
         fprintf(gear,'%0f,%0f\n',X2ac,Y2ac);
   end
end
%%regions ce
w3=((pi/2)-(fic11));
i=0;
for cy=0:1:0
   i=i+1;
   j=0;
   for lc=0:(w3)/9:w3
      j=j+1;
         X1ce=(-ac+(r*sin(fic11))-(r*cos(lc)));
         Y1ce=((bc+(mn*tas*tan(fic11))+(ac*tan(fic11))+(r*cos(fic11))-
(r*sin(lc))+(cy*pi*mn))-(Z1ce*sin(bet)))/cos(bet);
         fprintf(ifade,'%0f,%0f\n',X1ce,Y1ce);
         fip1ce=(Y1ce-(X1ce*tan(lc)*cos(bet)))/rp1;
         S=rp1*(fip1ce);
```

```
        X2ce=X1ce*cos(fip1ce)-Y1ce*sin(fip1ce)+rp1*cos(fip1ce)+S*sin(fip1ce);
        Y2ce=X1ce*sin(fip1ce)+Y1ce*cos(fip1ce)+rp1*sin(fip1ce)-S*cos(fip1ce);
        fprintf(gear,'%0f,%0f\n',X2ce,Y2ce);
  end
end
%%regions eg
w11=-(ac/cos(fic11));
w22=(tk1/cos(fic11));
wa=(w22-w11)/9;
i=0;
for cy=0:1:0
  i=i+1;
  j=0;
  for le=(w11):wa:(w22)
    j=j+1;
    X1eg=(le*cos(fic11));
        Y1eg=((bc+(mn*tas*tan(fic11))-(le*sin(fic11))+(cy*pi*mn))-
(Z1eg*sin(bet)))/cos(bet);
        fprintf(ifade,'%0f,%0f\n',X1eg,Y1eg);
        fip1eg=((-X1eg*cos(bet))+(Y1eg*tan(fic11)))/(rp1*tan(fic11));
        S=rp1*(fip1eg);
        X2eg=X1eg*cos(fip1eg)-Y1eg*sin(fip1eg)+rp1*cos(fip1eg)+S*sin(fip1eg);
        Y2eg=X1eg*sin(fip1eg)+Y1eg*cos(fip1eg)+rp1*sin(fip1eg)-S*cos(fip1eg);
        fprintf(gear,'%0f,%0f\n',X2eg,Y2eg);
  end
end
%%regions fh
w33=-(ac/cos(fic22));
w44=(tk2/cos(fic22));
wb=(w44-w33)/9;
i=0;
for cy=0:1:0
  i=i+1;
  j=0;
  for lf=(w44):(-wb):(w33)
    j=j+1;
    X1fh=(lf*cos(fic22));
        Y1fh=((-bc-(mn*tas*tan(fic22))+(lf*sin(fic22))+(cy*pi*mn))-
(Z1fh*sin(bet)))/cos(bet);
        fprintf(ifade,'%0f,%0f\n',X1fh,Y1fh);
        fip1fh=((X1fh*cos(bet))+(Y1fh*tan(fic22)))/(rp1*tan(fic22));
        S=rp1*(fip1fh);
        X2fh=X1fh*cos(fip1fh)-Y1fh*sin(fip1fh)+rp1*cos(fip1fh)+S*sin(fip1fh);
        Y2fh=X1fh*sin(fip1fh)+Y1fh*cos(fip1fh)+rp1*sin(fip1fh)-S*cos(fip1fh);
        fprintf(gear,'%0f,%0f\n',X2fh,Y2fh);
  end
end
%%regions df
w4=((pi/2)-(fic22));
```

```
i=0;
for cy=0:1:0
   i=i+1;
   j=0;
   for ld=w4:(-w4)/9:0
      j=j+1;
      X1df=(-ac+(r2*sin(fic22))-(r2*cos(ld)));
         Y1df=((-bc-(mn*tas*tan(fic22))-(ac*tan(fic22))-
(r2*cos(fic22))+(r2*sin(ld))+(cy*pi*mn))-(Z1df*sin(bet)))/cos(bet);
         fprintf(ifade,'%0f,%0f\n',X1df,Y1df);
         fip1df=(Y1df+(X1df*tan(ld)*cos(bet)))/rp1;
         S=rp1*(fip1df);
         X2df=X1df*cos(fip1df)-Y1df*sin(fip1df)+rp1*cos(fip1df)+S*sin(fip1df);
         Y2df=X1df*sin(fip1df)+Y1df*cos(fip1df)+rp1*sin(fip1df)-S*cos(fip1df);
         fprintf(gear,'%0f,%0f\n',X2df,Y2df);
   end
end
%%regions bd
w2=((pi*mn/4)-(ac*tan(fic22))-(r2*cos(fic22)))-(mn*tas*tan(fic22));
i=0;
for cy=0:1:0
   i=i+1;
   j=0;
   for lb=w2:(-w2)/6:0
      j=j+1;
      X1bd=(-ac+(r2*sin(fic22))-r2);
         Y1bd=(-(pi*mn/2)+lb+(cy*pi*mn)-(Z1bd*sin(bet)))/cos(bet);
         fprintf(ifade,'%0f,%0f\n',X1bd,Y1bd);
         fip1bd=Y1bd/rp1;
         S=rp1*(fip1bd);
         X2bd=X1bd*cos(fip1bd)-Y1bd*sin(fip1bd)+rp1*cos(fip1bd)+S*sin(fip1bd);
         Y2bd=X1bd*sin(fip1bd)+Y1bd*cos(fip1bd)+rp1*sin(fip1bd)-S*cos(fip1bd);
         fprintf(gear,'%0f,%0f\n',X2bd,Y2bd);
   end
end
fprintf(gear,'0,0\n');
fprintf(gear,'\n');
fprintf(gear,'array\n');
fprintf(gear,'all \n');
fprintf(gear,'p\n');
fprintf(gear,'0,0\n');
fprintf(gear,'%0.0f\n',z1);
fprintf(gear,'360\n');
fprintf(gear,'y\n');
fprintf(gear,'-view\n');
fprintf(gear,'_swiso\n');
fprintf(gear,'_extrude\n');
fprintf(gear,'all\n');
fprintf(gear,'\n');
```

```
fprintf(gear,'%0.0f\n',h1);
fprintf(gear,'_vscurrent\n');
fprintf(gear,'_R\n');
fprintf(gear,'union\n');
fprintf(gear,'all\n');
fprintf(gear,'\n');
fprintf(gear,'_cylinder\n');
fprintf(gear,'0,0,0\n');
fprintf(gear,'%0.0f\n',sr1);
fprintf(gear,'%0.0f\n',h1);
fprintf(gear,'subtract\n');
fprintf(gear,'1\n');
fprintf(gear,'\n');
fprintf(gear,'Last\n' );
fprintf(gear,'\n');
fprintf(gear,'zoom e\n');
fclose(ifade);
!notepad pinion3Dcomp.scr
fclose(gear);
!notepad gear3Dcomp.scr
```

EK A4 : “matmod2d-3dhelisel.m” Matlab Matematiksel Model Programı

```
clc
clear all
ifade=fopen('pinion3Dhelis.scr','wt');
gear=fopen('gear3Dhelis.scr','wt');
mn=input('mn modul değerini giriniz: ');
z1=input('z1 diş sayısını giriniz: ');
tas=input('profil kaydırma faktörü e değerini giriniz: ');
fic1=input('Kavrama açısı fic1 değerini giriniz: ');
fic2=input('Kavrama açısı fic2 değerini giriniz: ');
beta=input('Helis açısı beta değerini giriniz: ');
Z=input('Diş genişliği Z değerini giriniz: ');
Z1ac=Z;
Z1bd=Z;
Z1eg=Z;
Z1fh=Z;
Z1df=Z;
Z1ce=Z;
Z2ac=Z;
Z2bd=Z;
Z2eg=Z;
Z2fh=Z;
Z2df=Z;
Z2ce=Z;
r=0.38*mn;
ac=(1*mn)-(mn*tas);
```

```
at=1*mn;
bc=pi*mn/4;
fic11=fic1*pi/180;
fic22=fic2*pi/180;
bet=beta*pi/180;
r2=(r*(1-sin(fic11)))/(1-sin(fic22));
rp1=(mn*z1)/(2*cos(bet));
rt=rp1+mn*(1+tas);
kava1=atan((tan(fic11))/(cos(bet)));
kava2=atan((tan(fic22))/(cos(bet)));
rb1=rp1*cos(kava1);
rb2=rp1*cos(kava2);
st1=(-rp1*sin(fic11))+sqrt((rt.^2)-(rp1*cos(fic11)).^2);
st2=(-rp1*sin(fic22))+sqrt((rt.^2)-(rp1*cos(fic22)).^2);
tk1=st1*sin(fic11);
tk2=st2*sin(fic22);
fprintf(ifade,'_3dpoly 0,0,%0.0f',Z);
fprintf(gear,'_3dpoly 0,0,%0.0f',Z);
fprintf(ifade,'\n');
fprintf(gear,'\n');
%%regions ac
w=((pi*mn/4)-(ac*tan(fic11))-(r2*cos(fic11)))-(mn*tas*tan(fic11));
i=0;
for cy=0:1:0
   i=i+1;
   j=0;
   for la=0:(w/6):w
      j=j+1;
         X1ac=(-ac+(r*sin(fic11))-r);
         Y1ac=((pi*mn/2)-la+(cy*pi*mn)-(Z1ac*sin(bet)))/cos(bet);
         fprintf(ifade,'%0f,%0f,%0f\n',X1ac,Y1ac,Z);
         fip1ac=Y1ac/rp1;
         S=rp1*(fip1ac);
         X2ac=X1ac*cos(fip1ac)-Y1ac*sin(fip1ac)+rp1*cos(fip1ac)+S*sin(fip1ac);
         Y2ac=X1ac*sin(fip1ac)+Y1ac*cos(fip1ac)+rp1*sin(fip1ac)-S*cos(fip1ac);
         fprintf(gear,'%0f,%0f,%0f\n',X2ac,Y2ac,Z);
   end
end
%%regions ce
w3=((pi/2)-(fic11));
i=0;
for cy=0:1:0
   i=i+1;
   j=0;
   for lc=0:(w3)/9:w3
      j=j+1;
         X1ce=(-ac+(r*sin(fic11))-(r*cos(lc)));
         Y1ce=((bc+(mn*tas*tan(fic11))+(ac*tan(fic11))+(r*cos(fic11))-
(r*sin(lc))+(cy*pi*mn))-(Z1ce*sin(bet)))/cos(bet);
```

```
            fprintf(ifade,'%0f,%0f,%0f\n',X1ce,Y1ce,Z);
            fip1ce=(Y1ce-(X1ce*tan(lc)*cos(bet)))/rp1;
            S=rp1*(fip1ce);
            X2ce=X1ce*cos(fip1ce)-Y1ce*sin(fip1ce)+rp1*cos(fip1ce)+S*sin(fip1ce);
            Y2ce=X1ce*sin(fip1ce)+Y1ce*cos(fip1ce)+rp1*sin(fip1ce)-S*cos(fip1ce);
            fprintf(gear,'%0f,%0f,%0f\n',X2ce,Y2ce,Z);
    end
end
%%regions eg
w11=-(ac/cos(fic11));
w22=(tk1/cos(fic11));
wa=(w22-w11)/9;
i=0;
for cy=0:1:0
    i=i+1;
    j=0;
    for le=(w11):wa:(w22)
        j=j+1;
        X1eg=(le*cos(fic11));
            Y1eg=((bc+(mn*tas*tan(fic11))-(le*sin(fic11))+(cy*pi*mn))-
(Z1eg*sin(bet)))/cos(bet);
            fprintf(ifade,'%0f,%0f,%0f\n',X1eg,Y1eg,Z);
            fip1eg=((-X1eg*cos(bet))+(Y1eg*tan(fic11)))/(rp1*tan(fic11));
            S=rp1*(fip1eg);
            X2eg=X1eg*cos(fip1eg)-Y1eg*sin(fip1eg)+rp1*cos(fip1eg)+S*sin(fip1eg);
            Y2eg=X1eg*sin(fip1eg)+Y1eg*cos(fip1eg)+rp1*sin(fip1eg)-S*cos(fip1eg);
            fprintf(gear,'%0f,%0f,%0f\n',X2eg,Y2eg,Z);
    end
end
%%regions fh
w33=-(ac/cos(fic22));
w44=(tk2/cos(fic22));
wb=(w44-w33)/9;
i=0;
for cy=0:1:0
    i=i+1;
    j=0;
    for lf=(w44):(-wb):(w33)
        j=j+1;
        X1fh=(lf*cos(fic22));
            Y1fh=((-bc-(mn*tas*tan(fic22))+(lf*sin(fic22))+(cy*pi*mn))-
(Z1fh*sin(bet)))/cos(bet);
            fprintf(ifade,'%0f,%0f,%0f\n',X1fh,Y1fh,Z);
            fip1fh=((X1fh*cos(bet))+(Y1fh*tan(fic22)))/(rp1*tan(fic22));
            S=rp1*(fip1fh);
            X2fh=X1fh*cos(fip1fh)-Y1fh*sin(fip1fh)+rp1*cos(fip1fh)+S*sin(fip1fh);
            Y2fh=X1fh*sin(fip1fh)+Y1fh*cos(fip1fh)+rp1*sin(fip1fh)-S*cos(fip1fh);
            fprintf(gear,'%0f,%0f,%0f\n',X2fh,Y2fh,Z);
    end
```

```
end
%%regions df
w4=((pi/2)-(fic22));
i=0;
for cy=0:1:0
   i=i+1;
   j=0;
   for ld=w4:(-w4)/9:0
      j=j+1;
      X1df=(-ac+(r2*sin(fic22))-(r2*cos(ld)));
         Y1df=((-bc-(mn*tas*tan(fic22))-(ac*tan(fic22))-
(r2*cos(fic22))+(r2*sin(ld))+(cy*pi*mn))-(Z1df*sin(bet)))/cos(bet);
         fprintf(ifade,'%0f,%0f,%0f\n',X1df,Y1df,Z);
         fip1df=(Y1df+(X1df*tan(ld)*cos(bet)))/rp1;
         S=rp1*(fip1df);
         X2df=X1df*cos(fip1df)-Y1df*sin(fip1df)+rp1*cos(fip1df)+S*sin(fip1df);
         Y2df=X1df*sin(fip1df)+Y1df*cos(fip1df)+rp1*sin(fip1df)-S*cos(fip1df);
         fprintf(gear,'%0f,%0f,%0f\n',X2df,Y2df,Z);
   end
end
%%regions bd
w2=((pi*mn/4)-(ac*tan(fic22))-(r2*cos(fic22)))-(mn*tas*tan(fic22));
i=0;
for cy=0:1:0
   i=i+1;
   j=0;
   for lb=w2:(-w2)/6:0
      j=j+1;
      X1bd=(-ac+(r2*sin(fic22))-r2);
         Y1bd=(-(pi*mn/2)+lb+(cy*pi*mn)-(Z1bd*sin(bet)))/cos(bet);
         fprintf(ifade,'%0f,%0f,%0f\n',X1bd,Y1bd,Z);
         fip1bd=Y1bd/rp1;
         S=rp1*(fip1bd);
         X2bd=X1bd*cos(fip1bd)-Y1bd*sin(fip1bd)+rp1*cos(fip1bd)+S*sin(fip1bd);
         Y2bd=X1bd*sin(fip1bd)+Y1bd*cos(fip1bd)+rp1*sin(fip1bd)-S*cos(fip1bd);
         fprintf(gear,'%0f,%0f,%0f\n',X2bd,Y2bd,Z);
   end
end
fprintf(gear,'0,0\n');
fprintf(gear,'\n');
fprintf(gear,'zoom e\n');
fprintf(gear,'-view\n');
fprintf(gear,'_seiso\n');
fclose(ifade);
!notepad pinion3Dhelis.scr
fclose(gear);
!notepad gear3Dhelis.scr
```

EK A4 : “dişimalatsim.m” Matlab Matematiksel Model Programı

```
clc
clear all
ifade=fopen('pinimalatsim.scr','wt');
gear=fopen('dişimalatsim.scr','wt');
mn=input('mn modul değerini giriniz: ');
z1=input('z1 diş sayısını giriniz: ');
tas=input('profil kaydırma faktörünü giriniz: ');
fic1=input('Kavrama açısı fic1 değerini giriniz: ');
fic2=input('Kavrama açısı fic2 değerini giriniz: ');
beta=input('Helis açısı beta değerini giriniz: ');
Z=input('Z derinliğini giriniz: ');
Z1ac=Z;
Z1bd=Z;
Z1eg=Z;
Z1fh=Z;
Z1df=Z;
Z1ce=Z;
Z2ac=Z;
Z2bd=Z;
Z2eg=Z;
Z2fh=Z;
Z2df=Z;
Z2ce=Z;
r=0.38*mn;
ac=(1*mn)-(mn*tas);
at=1*mn;
bc=pi*mn/4;
fic11=fic1*pi/180;
fic22=fic2*pi/180;
bet=beta*pi/180;
r2=(r*(1-sin(fic11)))/(1-sin(fic22));
rp1=(mn*z1)/(2*cos(bet));
rt=rp1+mn*(1+tas);
kava1=atan((tan(fic11))/(cos(bet)));
kava2=atan((tan(fic22))/(cos(bet)));
rb1=rp1*cos(kava1);
rb2=rp1*cos(kava2);
st1=(-rp1*sin(fic11))+sqrt((rt.^2)-(rp1*cos(fic11)).^2);
st2=(-rp1*sin(fic22))+sqrt((rt.^2)-(rp1*cos(fic22)).^2);
tk1=st1*sin(fic11);
tk2=st2*sin(fic22);
%%regions ac
w=((pi*mn/4)-(ac*tan(fic11))-(r*cos(fic11)))-(mn*tas*tan(fic11));
i=0;
for cy=-1:1:1
   i=i+1;
   j=0;
```

```
    for la=0:(w/15):w
        j=j+1;
            X1ac=(-ac+(r*sin(fic11))-r);
            Y1ac=((pi*mn/2)-la+(cy*pi*mn)-(Z1ac*sin(bet)))/cos(bet);
            fprintf(ifade,'point %0f,%0f\n',X1ac,Y1ac);
            %%fip1ac=Y1ac/rp1;
            for fip1ac=(pi/4):(-pi/40):(-pi/4)
            S=rp1*(fip1ac);
            X2ac=X1ac*cos(fip1ac)-Y1ac*sin(fip1ac)+rp1*cos(fip1ac)+S*sin(fip1ac);
            Y2ac=X1ac*sin(fip1ac)+Y1ac*cos(fip1ac)+rp1*sin(fip1ac)-S*cos(fip1ac);
            fprintf(gear,'point %0f,%0f\n',X2ac,Y2ac);
            end
    end
end
%%regions ce
w3=((pi/2)-(fic11));
i=0;
for cy=-1:1:1
    i=i+1;
    j=0;
    for lc=0:(w3)/50:w3
        j=j+1;
            X1ce=(-ac+(r*sin(fic11))-(r*cos(lc)));
            Y1ce=((bc+(mn*tas*tan(fic11))+(ac*tan(fic11))+(r*cos(fic11))-
(r*sin(lc))+(cy*pi*mn))-(Z1ce*sin(bet)))/cos(bet);
            fprintf(ifade,'point %0f,%0f\n',X1ce,Y1ce);
            %%fip1ce=(Y1ce-(X1ce*tan(lc)*cos(bet)))/rp1;
            for fip1ce=(pi/4):(-pi/40):(-pi/4)
            S=rp1*(fip1ce);
            X2ce=X1ce*cos(fip1ce)-Y1ce*sin(fip1ce)+rp1*cos(fip1ce)+S*sin(fip1ce);
            Y2ce=X1ce*sin(fip1ce)+Y1ce*cos(fip1ce)+rp1*sin(fip1ce)-S*cos(fip1ce);
            fprintf(gear,'point %0f,%0f\n',X2ce,Y2ce);
            end
    end
end
%%regions eg
w11=-(ac/cos(fic11));
w22=(tk1/cos(fic11));
wa=(w22-w11)/120;
i=0;
for cy=-1:1:1
    i=i+1;
    j=0;
    for le=(w11):wa:(w22)
        j=j+1;
        X1eg=(le*cos(fic11));
            Y1eg=((bc+(mn*tas*tan(fic11))-(le*sin(fic11))+(cy*pi*mn))-
(Z1eg*sin(bet)))/cos(bet);
            fprintf(ifade,'point %0f,%0f\n',X1eg,Y1eg);
```

```
            %%fip1eg=((-X1eg*cos(bet))+(Y1eg*tan(fic11)))/(rp1*tan(fic11));
            for fip1eg=(pi/4):(-pi/40):(-pi/4)
            S=rp1*(fip1eg);
            X2eg=X1eg*cos(fip1eg)-Y1eg*sin(fip1eg)+rp1*cos(fip1eg)+S*sin(fip1eg);
            Y2eg=X1eg*sin(fip1eg)+Y1eg*cos(fip1eg)+rp1*sin(fip1eg)-S*cos(fip1eg);
            fprintf(gear,'point %0f,%0f\n',X2eg,Y2eg);
            end
    end
end
%%regions fh
w33=-(ac/cos(fic22));
w44=(tk2/cos(fic22));
wb=(w44-w33)/120;
i=0;
for cy=-1:1:1
    i=i+1;
    j=0;
    for lf=(w44):(-wb):(w33)
        j=j+1;
        X1fh=(lf*cos(fic22));
            Y1fh=((-bc-(mn*tas*tan(fic22))+(lf*sin(fic22))+(cy*pi*mn))-
(Z1fh*sin(bet)))/cos(bet);
            fprintf(ifade,'point %0f,%0f\n',X1fh,Y1fh);
            %%fip1fh=((X1fh*cos(bet))+(Y1fh*tan(fic22)))/(rp1*tan(fic22));
            for fip1fh=(pi/4):(-pi/40):(-pi/4)
            S=rp1*(fip1fh);
            X2fh=X1fh*cos(fip1fh)-Y1fh*sin(fip1fh)+rp1*cos(fip1fh)+S*sin(fip1fh);
            Y2fh=X1fh*sin(fip1fh)+Y1fh*cos(fip1fh)+rp1*sin(fip1fh)-S*cos(fip1fh);
            fprintf(gear,'point %0f,%0f\n',X2fh,Y2fh);
            end
    end
end
%%regions df
w4=((pi/2)-(fic22));
i=0;
for cy=-1:1:1
    i=i+1;
    j=0;
    for ld=w4:(-w4)/50:0
        j=j+1;
        X1df=(-ac+(r2*sin(fic22))-(r2*cos(ld)));
            Y1df=((-bc-(mn*tas*tan(fic22))-(ac*tan(fic22))-
(r2*cos(fic22))+(r2*sin(ld))+(cy*pi*mn))-(Z1df*sin(bet)))/cos(bet);
            fprintf(ifade,'point %0f,%0f\n',X1df,Y1df);
            %%fip1df=(Y1df+(X1df*tan(ld)*cos(bet)))/rp1;
            for fip1df=(pi/4):(-pi/40):(-pi/4)
            S=rp1*(fip1df);
            X2df=X1df*cos(fip1df)-Y1df*sin(fip1df)+rp1*cos(fip1df)+S*sin(fip1df);
            Y2df=X1df*sin(fip1df)+Y1df*cos(fip1df)+rp1*sin(fip1df)-S*cos(fip1df);
```

```
            fprintf(gear,'point %0f,%0f\n',X2df,Y2df);
            end
    end
end
%%regions bd
w2=((pi*mn/4)-(ac*tan(fic22))-(r2*cos(fic22)))-(mn*tas*tan(fic22));
i=0;
for cy=-1:1:1
    i=i+1;
    j=0;
    for lb=w2:(-w2)/15:0
        j=j+1;
        X1bd=(-ac+(r2*sin(fic22))-r2);
            Y1bd=(-(pi*mn/2)+lb+(cy*pi*mn)-(Z1bd*sin(bet)))/cos(bet);
            fprintf(ifade,'point %0f,%0f\n',X1bd,Y1bd);
            %%fip1bd=Y1bd/rp1;
            for fip1bd=(pi/4):(-pi/40):(-pi/4)
            S=rp1*(fip1bd);
            X2bd=X1bd*cos(fip1bd)-Y1bd*sin(fip1bd)+rp1*cos(fip1bd)+S*sin(fip1bd);
            Y2bd=X1bd*sin(fip1bd)+Y1bd*cos(fip1bd)+rp1*sin(fip1bd)-S*cos(fip1bd);
            fprintf(gear,'point %0f,%0f\n',X2bd,Y2bd);
            end
    end
end
fprintf(ifade,'zoom\n');
fprintf(ifade,'e\n');
fprintf(gear,'zoom\n');
fprintf(gear,'e\n');
fclose(ifade);
!notepad pinimalatsim.scr
fclose(gear);
!notepad dişimalatsim.scr
```

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında İstanbul'da doğan İlker Durgut, Kocamustafapaşa İlkokulu'nu (1994), Mehmet Akif İlköğretim Okulu'nu (1997), Davutpaşa Lisesi'ni (2000), Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü (2005) bitirdi. 2006 yılı sonunda İstanbul Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı ve halen eğitimine devam etmektedir.