

DESIGN OF VISUAL SPUR GEAR MATERIALS WITH COMPUTER

M. Cüneyt FETVACI*, C. Erdem İMRAK

İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Gümüşsuyu-İSTANBUL

Geliş/Received: 01.07.2003 Kabul/Accepted: 30.09.2004

ABSTRACT

Due to their importance in transmitting power and motion, gears are widely used in industrial application and also they are studied in various courses in engineering education. The computer simulation of gear cutting process helps the designer to examine the effect of various design parameters on gear geometry before manufacturing. Besides, the visual gear materials obtained from the simulation, help students comprehend the subjects in engineering education. In this study, the design of gear visual materials with simulating gear cutting process by rack cutter, is examined.

Keywords: CAD, spur gear, simulation.

DÜZ DİŞLİ ÇARK GÖRSEL MATERYALLERİNİN BİLGİSAYAR ORTAMINDA ELDE EDİLMESİ

ÖZET

Dişli çarklar mekanik gücün naklindeki önemine paralel olarak endüstride yaygın olarak kullanılmakta ve mühendislik öğreniminde çeşitli derslerde incelenmektedir. Dişli imalatının bilgisayar simülasyonu, tasarımcıya çeşitli profillerin diş geometrisi üzerindeki etkilerini imalattan önce inceleme fırsatı sağlar. Ayrıca simülasyon neticesinde elde edilen görsel materyaller mühendislik öğreniminde işlenen konuların kavranmasında öğrencilere son derece faydalı olmaktadır. Bu çalışmada kremayer takımla dişli imalatı simüle edilerek düz dişli çark resim ve animasyonlarının dizaynı ele alınmıştır.

Anahtar Sözcükler: CAD, düz dişli, simülasyon.

1. GİRİŞ

Dişli çarklar günlük hayatta saatlerden uçak transmisyon elemanlarına bir çok uygulamada kullanılmaktadır. Mekanik gücün naklinde çeşitli mühendislik ve maliyet avantajlarını birarada sunan dişli çarklar, mühendislik lisans öğretiminde Makina Elemanları derslerinde incelenmekte olup, ayrıca gerek lisans ve gerek yüksek lisans öğretiminde kapsamlı olarak ele alınmaktadır. Endüstride yaygın olarak kullanılan düz dişli çarkların talaşlı imalatında (yuvarlanma metodunda) kremayer kesici, azdırma ve pinyon kesici takımlar kullanılmaktadır.

Dişli imalatı kesici takımla ham dişlinin izafi hareketleri neticesinde gerçekleşmektedir. Dişli çark kinematiği (analitik mekaniği) esasları çerçevesinde imalat prosesi modellenerek diş profilini tayin eden analitik ifadeler tesis edilmiştir [1-5]. Bu ifadelerin programlanarak bilgisayara aktarılması dişli imalatının simülasyonunu sağlamaktadır. Bu simülasyon tasarımcıya diş geometrisine tayin eden parametrelerin etkilerini imalattan önce incelemeyi sağlar. Aynı

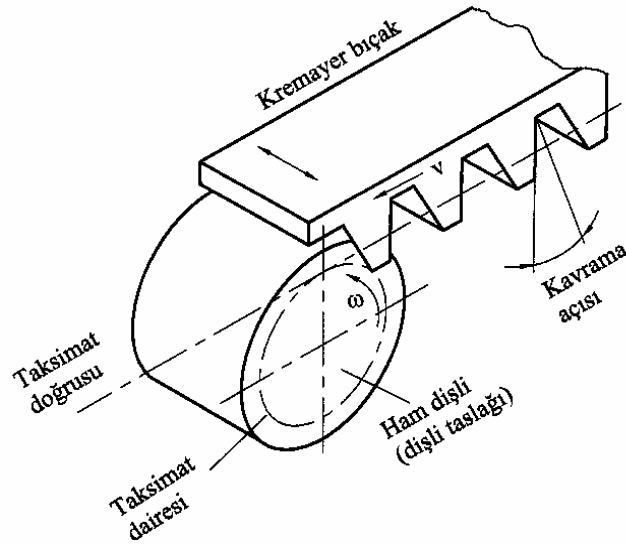
* Sorumlu Yazar/Corresponding Autor: e-mail:fetvacic@itu.edu.tr, Tel: (0212) 243 47 71

zamanda mühendislik öğreniminde konu ile ilgili görsel dökümanlarda (resim ve animasyonlar) elde edilebilmektedir.

Bu çalışmada kremayer takımla imalatla elde edilen diş profilini tayin eden ifadeler elde alınmıştır. Uygun programlama yaklaşımı ile kremayer takım geometrisinin ve takım yerleştirmesinin diş geometrisi üzerinde etkileri incelenmiştir. Ayrıca pinyon-çark çiftinin çalışması simüle edilmiştir. Çeşitli durumlar için elde edilen resimler açıklanarak verilmiştir.

2. DİŞLİ İMALATI VE DİŞLİ GEOMETRİSİ

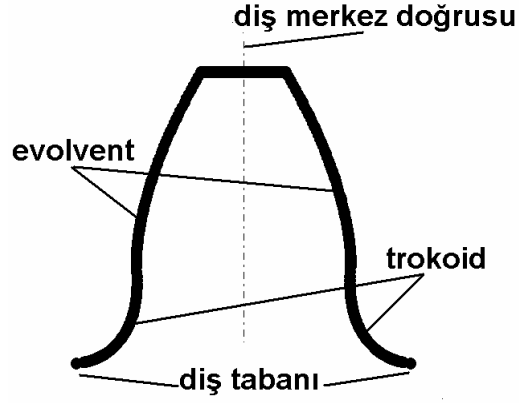
Çubuk Dişli (Kremayer) takımla diş imalatı prensibi Şekil 1’de görülmektedir. Takımın hareketi, v üniform hızlı sağdan sola düzgün bir yer değiştirmedir. Ham dişlinin hareketi ise, v hızına ve r_p ham dişli yarıçapına bağlı olarak, $\omega = v / r_p$ denklemi ile ifade edilen uniform açısal hızlı bir dönme hareketidir. Takıma aynı zamanda taslağın dönme eksenine paralel olarak bir ileri-geri hareketi verilmektedir.



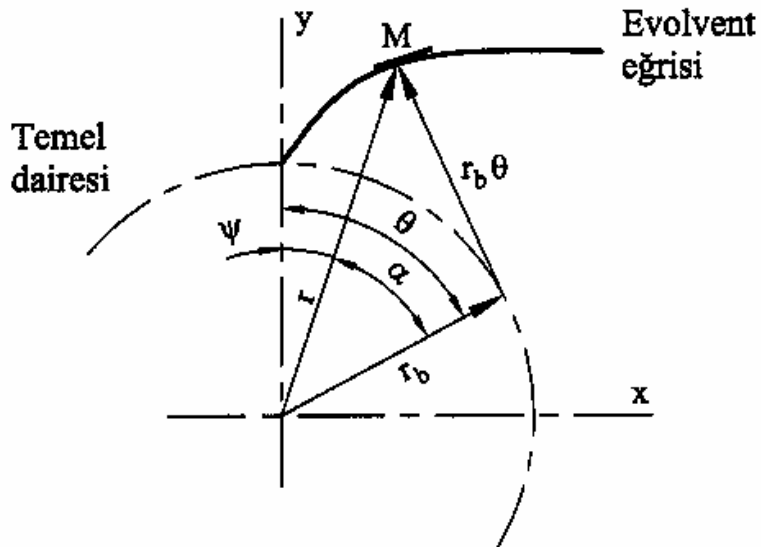
Şekil 1. Kremayer takımla dişli imalatı

Geometrik olarak incelendiğinde dişli çarkın farklı eğrilerden oluştuğu görülmektedir. Dişbaşında ve diş tabanında konsantrik daire yayları, diş yan yüzeylerinde evolvent eğrileri ve diş yan yüzeylerini diş dibi dairesine bağlayan bölgede trokoid eğrileri, dişli uzayda belirlemektedir (Şekil 2). Kesici takımın geometrisi diş profilini tayin etmektedir. Standart kesici takım ISO53 normuna göre seçilmiştir [6]. Trokoidal kök eğrisini ve evolvent profili tayin eden ifadeler dişli çarkların analitik mekaniğinden elde edilmektedir.

Bu çalışmada, evolvent düz dişli profili elde etmek için, Litvin'in geliştirdiği evolvent profili ve trokoid formda diş dibi profilini tayin eden parametrik ifadeler kullanılmıştır [4]. Profil kaydırmanın da etkisini incelemek üzere ifadelere gerekli ilaveler yapılmıştır [7]. Evolvent geometrisi Şekil 3’de görülmektedir.



Şekil 2. Düz dişli çark geometrisi



Şekil 3. Evolvent profilin oluşturulması

Evolvent açısı ψ , kavrama açısı α bağlı olarak,

$$\psi = ev\alpha = \tan \alpha - \alpha \quad (1)$$

bulunur. Bu durumda evolvent profilde dönme açısı θ , aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\theta = \psi + \alpha = \tan \alpha \quad (2)$$

Evolvent profil üzerindeki bir noktanın konumunu veren parametrik ifade $M(\theta, r_b)$, evolvent profilde dönme açısı θ ve temel dairesi yarıçapı r_b ile tanımlanmıştır.

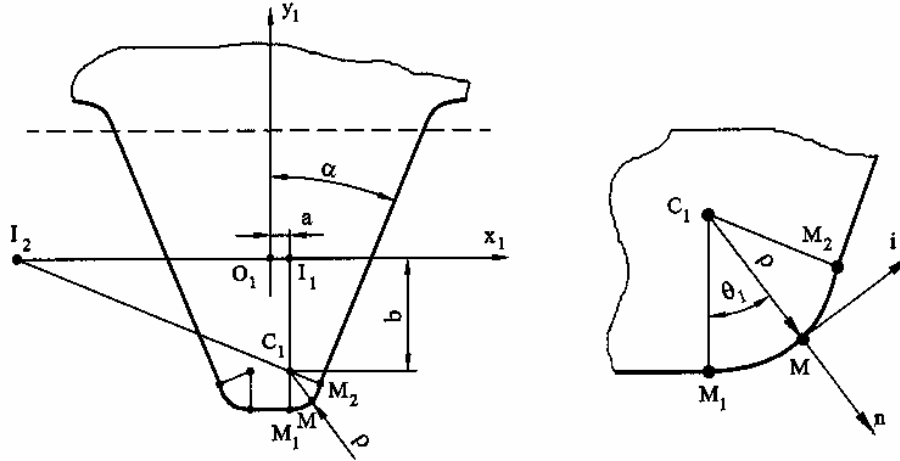
$$M(\theta, r_b) = \begin{cases} x(\theta) = r_b (\sin \theta - \theta \cos \theta) \\ y(\theta) = r_b (\cos \theta + \theta \sin \theta) \end{cases} \quad (3)$$

Yuvarlanma parametresinin değişim aralığı $\theta_{\max} = \theta_a + ev \theta_a$ olmak üzere $0 \leq \theta \leq \theta_{\max}$ aralığında yer almaktadır. Diş başı dairesindeki yuvarlanma parametresinin değeri θ_a , diş başı yarıçapı r_a olmak üzere,

$$\theta_a = \cos^{-1} \frac{r_b}{r_a} \quad (4)$$

şeklinde elde edilir.

Şekil 2'de gösterilen diş profilini tayin eden kesici takımın geometrisi Şekil 4'de görülmektedir.



Şekil 4. Kesici takım geometrisi ve takım ucu detayı

Modül m , kavrama açısı α , profil kaydırma faktörü x_1 ve takım ucu yuvarlatma yarıçapı ρ olmak üzere takımın yuvarlatılmış ucunun eğrilik merkezinin konumu aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$a = \frac{m(\pi - 5 \tan \alpha)}{4} - \frac{\rho(1 - \sin \alpha)}{\cos \alpha} \quad \text{ve} \quad b = 1.25 m - \rho - m x_1 \quad (5)$$

Şekil 3'de görülen takım geometrisine bağlı olarak, trokoid formda diş dibi eğrisini tayin eden parametrik ifadeler, dönme açısı ϕ olmak üzere,

$$x_2 = \rho \sin(\theta_1 - \phi) + a \cos \phi - b \sin \phi + r(\sin \phi - \phi \cos \phi) \quad (6a)$$

$$y_2 = -\rho \cos(\theta_1 - \phi) - a \sin \phi - b \cos \phi + r(\cos \phi + \phi \sin \phi) \quad (6b)$$

şeklinde elde edilir.

Takım ucu yay parametresi, $0 \leq \theta_1 \leq (\pi/2) - \alpha$ aralığında değişmekte ve (5) nolu denklemden elde edilen takım ucu yuvarlatılmış ucunun eğrilik merkezinin konumunu veren ifadeler kullanılarak, dönme açısı,

$$\phi = \frac{b \tan \theta_1 - a}{r} \quad (7)$$

olarak bulunur. Elde edilen dönme açıları, (6a) ve (6b) nolu denklemlerde yerine yazılarak, diş dibi eğrisinin geometrik yeri kolaylıkla bulunmaktadır.

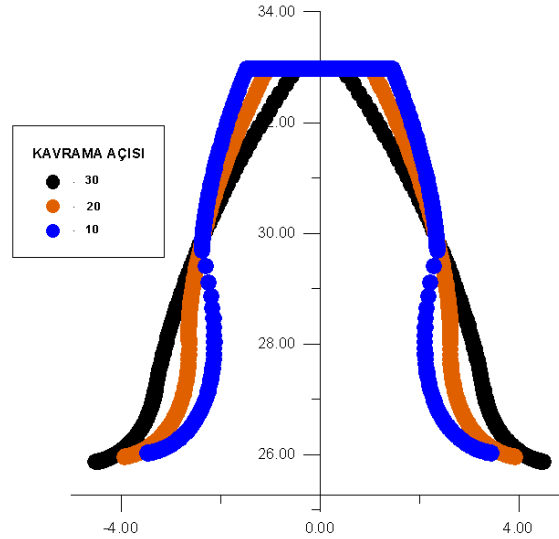
3. PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI VE GÖRSEL MATERYALLER

Diş profilini tayin eden ve yukarıda ele alınan ifadeler BASIC programlama lisansı ile bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. Hazırlanan yazılım, GWBASIC® derleyicisinde çalıştırılmakta ve burada giriş değerleri diş sayısı, modül, kavrama açısı ve profil kaydırma faktörü olup, düzenlenen iki çıkış dosyasından ilkinde diş profilini tayin eden noktaların koordinatları, diğerine ise diş geometrisinden tayin edilen büyüklükler parametrik olarak yazdırılmaktadır. Bu iki dosyadan faydalanılarak ANSYS® önışlemci modülünde eş çalışan dişlilerin kavrama çevriminin belirli anlarında konumu gösteren resim ve animasyon dosyaları oluşturulmaktadır. Ayrıca sadece koordinat dosyası GRAPHER® grafik işlem programında değerlendirilerek dişli geometrisi resimleri elde edilmektedir. Uygun geometrik transformasyonların profil oluşturma programına ilave edilmesiyle komple dişliler ayrı ayrı veya kavrama durumunda elde edilebilmektedir.

Böylece, çeşitli diş sayıları, modül, kavrama açısı ve profil kaydırma miktarlarında diş geometrisini gösteren resimler kolaylıkla elde edilmektedir. Geometriyi etkileyen parametrelerin çeşitli değerleri için olan değişimler kolaylıkla incelenmektedir. Ayrıca kavrama çevriminde dişli çiftinin konumunu gösteren resimler ve kavramanın simülasyonu gösteren animasyonlar elde edilmektedir. Aşağıda çeşitli durumlar için elde edilen materyaller verilmektedir.

3.1. Kavrama Açısının Diş Geometrisine Etkisi

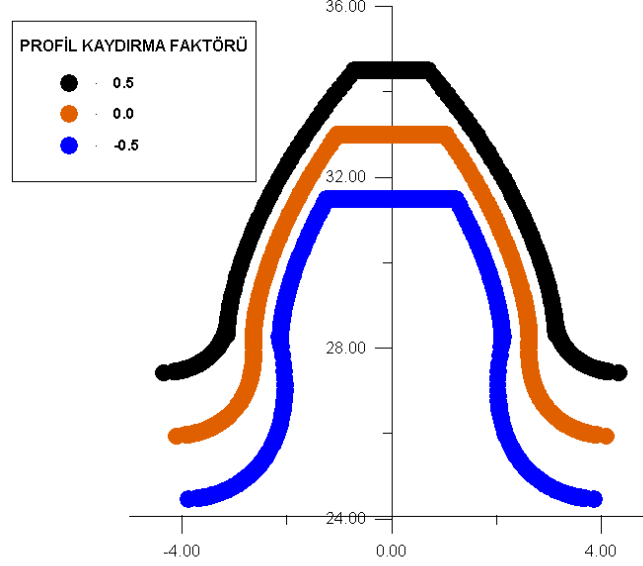
Düz dişli çarklarda standart kavrama açısı $\alpha = 20^\circ$ alınmaktadır. Kavrama açısı arttığında dişdibi kesit kalınlığı da arttığından diş mukavemeti artar, bununla birlikte diş ucu sivrileşmektedir. Kavrama açısı azaldığında ise dişdibi kesit kalınlığı da azaldığından diş mukavemeti azalmaktadır. Kavrama açısındaki değişimin diş profiline olan etkisi diş sayısı, $z = 20$ ve modül, $m = 3 \text{ mm}$ için Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5. Kavrama açısındaki değişimin geometriye etkisi

3.2 Profil Kaydırma Faktörünün Diş Geometrisine Etkisi

Profil kaydırma metodu dişli çark mekanizmasını istenen eksenler arası mesafeye yerleştirmek, küçük diş sayılarında alttan kesmeyi önlemek ve diş mukavemetini arttırmak için uygulanmaktadır [8, 9]. Profil kaydırma faktöründeki değişimin diş geometrisine olan etkisi Şekil 6'da gösterilmiştir.



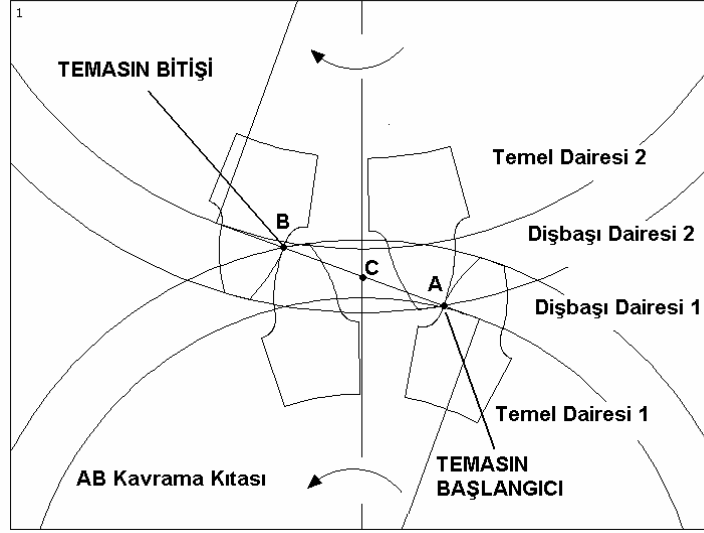
Şekil 6. Profil kaydırma faktöründeki değişimin geometriye etkisi

Profil kaydırmanın üst sınırını sivri tepe, alt sınırını ise alttan kesme tayin etmektedir. Pozitif profil kaydırmada diş taban mukavemeti artmakta, diş ucu sivrileşmektedir. Negatif profil kaydırmada ise diş taban mukavemeti azalmaktadır.

Bazı uygulamalarda 20° den farklı kavrama açılı kesici takım ile profil kaydırmalı imalat söz konusu olabilir. Dişli çark mekanizmasının istenilen fonksiyonu yerine getirmesi için bu iki dizayn parametresi bir optimizasyon prosesi neticesinde tayin edilebilir [10]. Bu parametrelerin etkileri de Şekil 5 ve Şekil 6'da verilen hallerin bir kombinasyonu olarak kolaylıkla incelenmektedir.

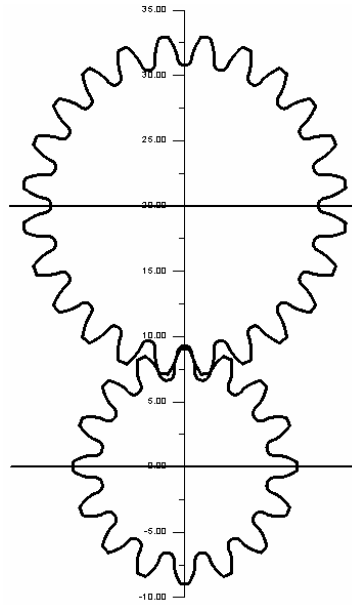
3.3. Kavrama Simülasyonu

Eş çalışan dişlilerin kavrama çevriminin herhangi bir anında konumunu gösteren resimlerin elde edilmesinde ANSYS® genel amaçlı sonlu eleman analiz programı kullanılmıştır. Bu programda diş profilini belirleyen programın çıkış dosyaları değerlendirilmektedir. Bir dişli çiftinin kavramaya girmesi ve çıkması durumu Şekil 7'de gösterilmektedir [11]. Burada AC bölgesi yaklaşma bölgesi ve CB bölgesi ise uzaklaşma bölgesidir. Uygun geometrik transformasyonlar ile kavrama çevriminin herhangi bir anında dişli çiftinin konumunu gösteren resimler elde edilebilir. Kavrama çevriminin başlangıcından bitişine belirli noktalar için elde edilen resimler birarada değerlendirildiğinde dişli çark kavramasını simüle eden animasyon dosyaları elde edilmektedir. ANSYS® paket programının bu işlemi kolaylıkla sağlayan özellikleri vardır.



Şekil 7. Kavrama çevrimi

Profil oluşturma programı ile modül 1 mm, pinyon diş sayısı 16 ve çark diş sayısı 24 değerleri ile elde edilen çıkış dosyalarının GRAPHER® programında değerlendirilmesi ile Şekil 8'deki resim de elde edilebilmektedir. Burada pinyon-çark çiftinin değerleri girildikten sonra komple pinyon oluşturulmakta, komple çark ise pinyonun orijininde oluşturulduktan sonra uygun geometrik transformasyon tatbik edilerek kavramadaki yerine konuşturulmaktadır.



Şekil 8. Pinyon-Çark dişli çifti

4. SONUÇLAR

Bilgisayar teknolojisindeki hızlı ilerlemelere paralel olarak geliştirilen yazılımlar bir çok mühendislik faaliyetinin kolaylıkla gerçekleşmesini sağlamaktadır. İmalat prosesi simüle edilerek bir çok parametrenin mamül üzerindeki etkileri imalat aşamasından önce incelenebilmektedir. Böylece dizaynda esasınadaki değişiklikleri en az maliyet ve zaman kaybı ile yapma imkanı sağlanmaktadır. Bu çalışmada dişli imalatı simüle edilerek, çeşitli parametrelerin diş geometrisi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu simülasyon aynı zamanda mühendislik öğreniminde işlenen konulara yardımcı görsel materyallerin elde edilmesini de sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Buckingham, E., "Analytical Mechanics of Gears", McGraw-Hill, New York, 1949.
- [2] Salamoun, C. and Suchy, M., "Computation of Helical or Spur Gear Fillets", Mechanism and Machine Theory, 8, 305-323, 1973.
- [3] Hefeng, B., Savage, M. and Knorr, R.J., "Computer Modeling of Rack-Generated Spur Gears", Mechanism and Machine Theory, 20, 351-360, 1985.
- [4] Litvin, F.L., "Gear Geometry and Applied Theory", PTR Prentice Hall, New Jersey, 1994
- [5] Arıkan, M.A.S., "Determination of Maximum Possible Contact Ratios for Spur Gear Drives with Small Number of Teeth", ASME Design Engineering Technical Conferences, 1995, 569-576.
- [6] ISO53 Cylindrical Gears For General and Heavy Engineering-Basic Rack, International Organization for Standardization, Switzerland, 1974
- [7] C. Fetvacı ve C.E. İmrak, "Bilgisayar Desteği ile Dişli Çark Görsel Materyallerin Elde Edilmesi", Mühendis ve Makina, 44 (524), 48-51, 2003.
- [8] Çakır, A., "Dişli Çark Kinematiği", İTÜ Makina Fakültesi, İstanbul, 1989.
- [9] Babalık, F.C., "Makina Elemanları ve Konstrüksiyon Örnekleri – Cilt 3", Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı, Bursa, 2002.
- [10] Anderson, N.E. and Loewenthal, S.H., "Efficiency of Nonstandard and High Contact Ratio Involute Spur Gears", ASME Journal of Mechanical Design, 108, 119-126, 1986.
- [11] C. Fetvacı ve C.E. İmrak, "Dişdibi Gerilmelerinin Analizi İçin Düz Dişli Çarkların Sonlu Eleman Modellenmesi", Gazi Üniversitesi MMF Dergisi, 19 (2) 199-203, 2004.