

BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIMDA PARAMETRİK DİŞLİ ÇARK UYGULAMALARI

Mustafa AYYILDIZ, Adem ÇİÇEK* ve Fuat KARA

*Makine Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Konuralp Yerleşkesi 81620, Düzce
ademcicek@duzce.edu.tr

(Geliş / Received: 03.11.2009 ; Kabul / Accepted: 08.06.2010)

ÖZET

Bu çalışmada, dişli çark ve dişli çark çiftlerinin BDT (Bilgisayar Destekli Tasarım) ortamında parametrik olarak çizimi ve modellenmesi için bir yazılım geliştirilmiştir. Yazılım geliştirmede, yaygın bir kullanım alanına sahip ve diğer programlama dillerine göre oldukça basit olan Visual BASIC ve AutoLISP programlama dillerinin etkileşimli olarak kullanıldığı karma bir programlama yapısı tercih edilmiştir. Sistemde, modül, diş sayısı, iletim oranı vb. gibi parametreler kullanıcı tarafından girilerek, dişli çark veya dişli çark çiftleri boyutlandırılmakta ve daha sonra BDT ortamında dişli çarkların çizimi veya modellenmesi otomatik olarak yapılabilmektedir. Bu çalışma, dişli çark çizimi ve modellenmesi için tasarımcıya hızlı ve işlevsel bir yardımcı program alternatifini sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Dişli çark, AutoLISP, Visual BASIC, BDT.

PARAMETRIC GEAR WHEEL APPLICATIONS IN COMPUTER AIDED DESIGN

ABSTRACT

In this study, a software has been developed to parametrically draw and model the gear wheels and gear wheel pairs in a CAD (Computer Aided Design) environment. In the software development, a hybrid programming structure using Visual BASIC and AutoLISP programming languages is used for the proposed software. The programming languages are easy and commonly used. In the software system, gear wheels or gear wheel pairs are sized by inputting parameters such as modules, transmission ratios, teeth numbers, etc. and then they are automatically drawn and modeled in CAD environment. This study presents an auxiliary program which is rapid and functional to the designer for drawing and modeling of gear wheels.

Keywords: Gear wheel, AutoLISP, Visual BASIC, CAD

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bir mekanizma içerisinde farklı parçalar arasında kuvvetleri taşımak ve hareket iletmek amacıyla tasarlanan makine elemanları dişli çarklardır. Dişli çark tasarımında en önemli nokta, diş geometrisinin temas bölgesinde minimum kayma gerilmeleri olacak şekilde tasarlanmasıdır [1]. Dişli çarklar arasındaki dairesel temas ilişkisini en verimli şekilde sağlamak için diş geometrisi tasarımı çok önemlidir [2]. Araştırmacılar, en uygun çalışma şartlarında bir tasarım yapılabilmesi için sürtünme ve aşınma etkilerini sürekli olarak araştırmışlardır [3,4]. Dişli çarklar, son yüzyılın teknolojik gelişmeleri sayesinde hemen hemen her makede kullanılan makine elemanları olmuşlar ve dolayısıyla dişli çarkların

hesabı ile pratikte çok sık karşılaşılmaktadır. Bu amaçla karşılaşılan problemin bilgisayar ortamına uyarlanması ile hızlı ve kesin sonuçların elde edilmesine çalışılmıştır. Bunun da imalat sürecinin daha hızlı şekillenmesine ve üretim kapasitesinin artmasına katkıda bulunacağı düşünülmektedir. Günümüz modern teknolojisinin getirdiği en büyük kolaylık olan bilgisayar hemen bütün alanlara girmiştir. En fazla uygulamasının olduğu alanlardan biri ise makine tasarımıdır. Bu sebeple makine elemanlarının tasarımı ve hesaplanması için gerekli verileri en kolay bir biçimde teorikten pratiğe aktarılması için makine elemanlarının bilgisayar destekli tasarımı ortaya çıkmıştır.

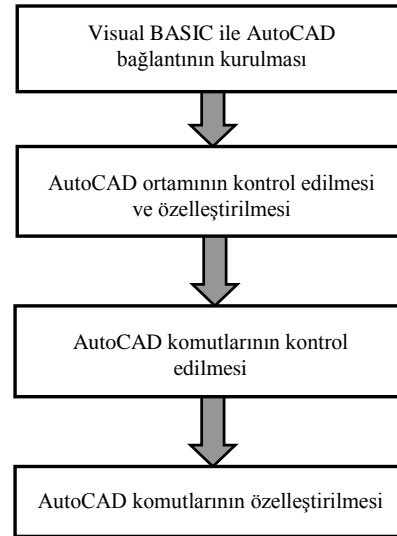
Bilgisayar teknolojisindeki hızlı ilerlemelere paralel olarak geliştirilen yazılımlar birçok mühendislik faaliyetinin bilgisayar ortamında kolaylıkla gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. İmalat süreci simüle edilerek birçok parametrenin mamul üzerindeki etkileri imalat aşamasından önce incelenebilmektedir. Böylece tasarım esnasındaki değişiklikleri en az maliyet ve zaman kaybı ile yapma imkânı sağlanmaktadır [5]. Salamoun ve Suchy [6] yaptıkları çalışmalarında, alttan kesmeye maruz kalan ve kalmayan düz ve helis dişli çark radüslerinin hesaplanması ve sınır noktalarının belirlenmesi için bir algoritma geliştirmişlerdir. Çalışmaları sonucunda bu dişli çarklar için karşılaşılan bazı zor problemlerin çözümü için akış diyagramları verilmiştir. Aziz [7] çalışmada, adım, helis açısı, diş sayısı ve diş kalınlığı gibi temel geometrik parametrelerden analitik olarak diş profili oluşturmak, standart ve standart olmayan dişli çarkların diş yuvarlatmaları ve dişli çark üzerindeki bütün noktaları belirlemek ve FEM modellerini oluşturmak için metotlar sunmuştur. Brauer [8] yaptığı çalışmada, konik evolvent dişli çarkın matematiksel tanımının üç farklı evolvent dişli gösterimi ile yapılabilişliğini araştırmıştır. Çalışmasında eğer diş profili alttan kesmeye maruz kalmışsa, sınır noktası elde edilen bir formülle analitik olarak belirlenebilmektedir. Alttan kesme olayı gerçekleşmemişse, sınır noktası çalışmada sunulan nümerik algoritma kullanılarak belirlenebilmektedir. Yang [9] çalışmada, alttan kesme analizleri ve bilgisayar destekli sonlu eleman gerilme analizleri gerçekleştirerek asimetrik helis dişli çarkların matematik modellerini elde etmeyi amaçlamıştır. Çalışmanın sonucunda, asimetrik helis dişli çarkta oluşan gerilmelerin asimetrik düz dişli çarktan daha düşük olduğu bulunmuştur. Chena ve Tsay [10] profil kaydırma ve basit geometri modifikasyonu ile az diş sayısına sahip bir modifye edilmiş bir helis dişli çarkın matematiksel modelini geliştirmişlerdir. Ayrıca evolvent profil dişliler için alttan kesme durumunu geliştirilmiş matematiksel modeller kullanarak araştırmışlardır. Avcıl [11] çalışmada, düz ve helisel alın dişli çarkların ilgili boyut ve mukavemet hesaplarını klasik yöntemlerle gerçekleştirmiştir. Bu hesaplamaları, parametrik bir modele dönüştürerek, geliştirdiği bir ara yüz yardımıyla dişli çarkların tasarımlarını üç boyutlu olarak yapmıştır. Reyes vd. [12] ideal düz dişli profili oluşturmak için bir algoritma geliştirmişlerdir. Algoritmaya girilen modül, diş sayısı ve kavrama açısına göre düz dişlinin 2 boyutlu çizimi gerçekleştirilmektedir. Nordiana vd. [13] düz dişli çark tasarımının nasıl yapılması gerektiği hakkında yeni bir BDT programı geliştirmişlerdir. Geliştirilen program belirli parametreler girildiğinde düz dişli çarkları otomatik olarak tasarlamakta ve ölçülendirmektedir. Bu sayede elle yapılan teknik resim çalışmalarına gerek kalmayarak verimliliğin artması ve maliyetin düşürülmesi sağlanmıştır. Rosic [14] evolvent düz dişli çarkların tasarımı için bir bilgisayar destekli kinematik model

oluşturarak dişli çarkların en uygun ölçülerini elde etmek ve imalat, çekme ve basma analizini yapmak için yardımcı bir yaklaşım geliştirmiştir. Zeyveli vd. [15] iki kademeli düz, helis ve konik dişli çark mekanizmalarının tasarım ve mukavemet analizini araştırmışlardır. Çalışmalarında dişli çark tasarım işlemini, analitik yaklaşım ile iletim oranı ve modül değişkenlerinin taranması ve bunlara bağlı diğer parametrelerin bulunması şeklinde gerçekleştirmişlerdir. Sönmezler [16] çalışmada, evolvent profilli düz dişli çarkların hesabını yapan bir program geliştirmiştir. Geliştirilen program ile elde edilen örnek bir hesaplama sonuçlarını, ticari yazılımlar ve teorik hesaplarla elde edilen hesaplama sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Neticede teorik hesap sonuçlarına en yakın değerler, çalışmada geliştirilen bilgisayar programı ile elde edilmiştir. Özkan ve Gülesin [17] uzman sistem yaklaşımı kullanarak kullanım yerlerine göre uygun civata ve dişli çark seçimi yapmışlardır. Bilgi tabanında bulunan ilgili kurallar muhakeme ünitesi tarafından yorumlanarak, elemanların seçimi için gerekli kararlar otomatik olarak verilmiştir. Karpat vd. [18] karmaşık bir süreç olan dişli çarkların yaklaşık tasarım ve sonlu elemanlar analizini kolaylaştırarak, olası hesap hatalarını ve süresini en aza indirmek amacıyla geliştirilmiş olan bilgisayar programı tanıtmışlardır. Özdemir [19] iki kademeli helisel dişli kutusunun parametrik tasarımını yapan bir yazılım kullanarak, güç, helis açısı ve dönme yönü değişimine bağlı olarak her bir milde meydana gelen eğilme momentleri hesaplamış ve bu değişkenlerin eğilme momentleri üzerindeki etkisini istatistiksel olarak incelemiştir. Çiçek [20] BDT modellerinden düz ve helis dişli çarkları tanımlamak ve detaylı boyutlarını çıkarmak için bir algoritma sunmuştur. Tanımlama sistemi bir uzman sistem aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen sistemde, hem parça tanımlama hem de işleme parametreleri çıkarma prosedürlerine girdi olarak kullanılan geometrik ve topolojik bilginin elde edilmesi için STEP grafik standardı kullanılmıştır.

Bu çalışmada Visual Basic ve AutoLISP programlama dili kullanılarak AutoCAD ortamında çalışan bir yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılım ile dişli çark ve dişli çark çiftlerinin çizim ve modellenmesinin basitleştirilmesi amaçlanmaktadır. Çalışmanın literatürdeki diğer çalışmalardan farklı yönleri ise, geniş bir dişli çark ailesini ele alması (düz, helis, konik, kremayer, sonsuz vida ve karşılık dişlisi), üç boyutlu katı modellemenin yanı sıra dişli çarkların 2 boyutlu çiziminin yapılması ve ölçülendirilmesi ve iletim oranına göre dişli çark çiftlerinin 2 boyutlu çizimi ve 3 boyutlu olarak modellenmesidir. Bu yönleri ile gerçekleştirilen çalışma literatürdeki diğer çalışmalardan farklılaşmaktadır.

2. PARAMETRİK DİŞLİ ÇARK UYGULAMALARI (PARAMETRIC GEAR WHEEL APPLICATIONS)

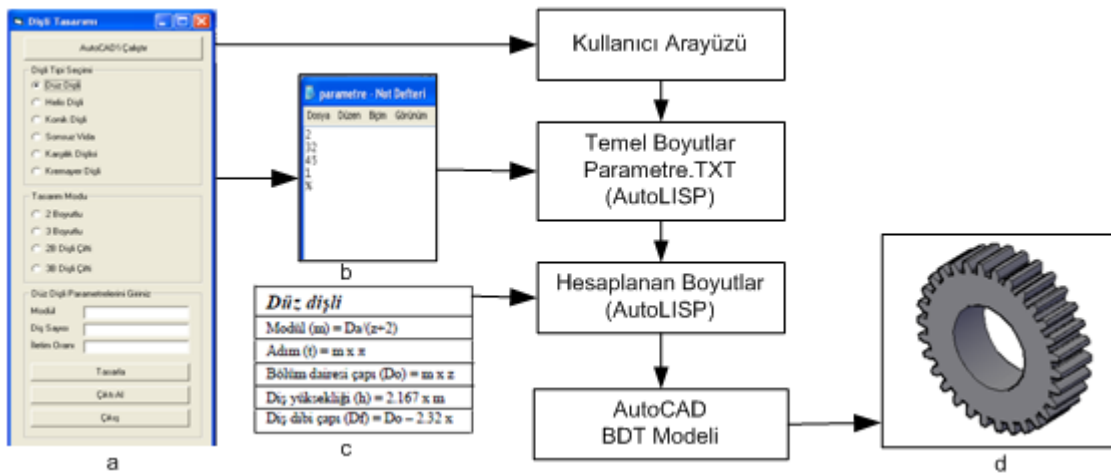
Parametrik dişli çark oluşturma sistemi, BDT ortamında dişli çark ve dişli çark çiftlerinin kolay, hızlı ve kullanıcı etkileşimini en aza indirgeyerek çağdaş BDT sistemlerinin parça kütüphanelerinde yer almayan dişli çark tiplerinin otomatik 2 boyutlu çizimi ve 3 boyutlu modellemesini desteklemek amacıyla geliştirilmiştir. Sistemde ele alınan dişli çark tipleri düz, helis, konik, sonsuz vida, karşılık dişlisi ve kremayer dişliler olup bu altı farklı dişli tipi ve 2 boyutlu, 3 boyutlu, 2 boyutlu dişli çifti, 3 boyutlu dişli çifti olmak üzere dört farklı tasarım modu geliştirilen programın kullanıcı ara yüzüne eklenmiştir. Dört farklı tasarım modu ve altı farklı dişli çark tipinin çizimi ve modellemesini yapabilmek için 24 farklı alt program yazılmış ve bu alt programların her biri AutoCAD komutlarına dönüştürülmüştür. Bu programların oluşturulması için VisualLISP programlama dili kullanılmış olup Visual BASIC programlama dili ile yazılan ara yüze entegre edilerek uyumlu çalışması sağlanmıştır. Bu entegrasyonu sağlamak için Visual BASIC programı yardımı ile AutoCAD paket programı ve komutları kontrol edilmiştir. Visual BASIC, Windows tabanlı uygulamalarda bulunan işlevleri program kodlarıyla bütünleştirmek için Activex Automation adı verilen teknolojiyi kullanmaktadır. Activex Automation'u tam olarak destekleyen Windows tabanlı uygulamalar, uygulama işlevlerini, bağlantı özellik ve yöntemlerle birlikte erişime açmaktadırlar. Nesnelere erişime açan Windows tabanlı uygulamalara nesne (sunucu) uygulamalarıdır. Buna karşılık, erişime açılmış bu nesnelere kullanan programlara ise istemci (denetçi) uygulamalarıdır. Bu çalışmada Activex Automation nesnesi sayesinde Visual BASIC ile AutoCAD arasında bağlantı kurulmuş, AutoCAD ortamı ve komutları Visual BASIC fonksiyonları aracılığıyla kontrol edilmiş ve AutoCAD ortamı ve komutları özelleştirilmiştir (Şekil 1).



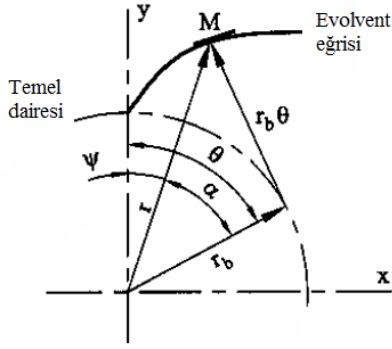
Şekil 1. Visual BASIC ve AutoCAD arasındaki bağlantı modülü (Link module between Visual BASIC and AutoCAD)

Visual BASIC ile AutoCAD arasındaki bağlantı kurulduktan sonra geliştirilen program ara yüzü ile AutoCAD penceresinin eşzamanlı olarak ekranda görüntülenebilmesi için AutoCAD penceresinin boyutlarının ve ekranda yerleşiminin ayarlanması gerekmektedir. Bu ayarlama Visual BASIC fonksiyonları ile yapılmış ve program ara yüzü AutoCAD programı boyutlandırılarak ekranda eş zamanlı çalışması sağlanmıştır. Aynı zamanda, Activex Automation yardımıyla Visual BASIC'ten AutoCAD'in aktif çizim sayfasının komut satırına komut göndermek suretiyle AutoCAD komutlarını aktif hale getirmek mümkündür [22]. Sistemde AutoCAD komutlarının çalıştırılması, Visual BASIC fonksiyonları aracılığıyla AutoCAD komut satırına komut gönderilerek gerçekleştirilmiştir.

Sistemde ele alınan dişli çark tipleri için detaylı boyutlar, temel ve hesaplanan boyutlar olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır. Temel boyutlar dişli çark tipine göre dişli çarkın modellenmesi için txt uzantılı bir dosyada kaydedilen boyutlardır. Hesaplanan



Şekil 2. Geliştirilen programın akış şeması (Flowchart of the developed program)



Şekil 4. Evolvent profilin oluşturulması (Generating involute profile)

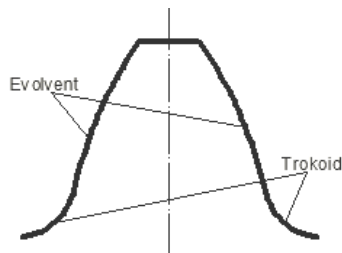
boyutlar ise txt uzantılı dosyadan elde edilen temel boyutlar kullanılarak dişli formülleri ile hesaplanabilen boyutlardır. Bu temel ve hesaplanan boyutlar geliştirilen program yardımıyla elde edilmiş ve sistemde ele alınan dişli çarklar ve dişli çark çiftlerinin BDT ortamında 2 boyutlu çizimleri ve 3 boyutlu modelleri oluşturulmuştur. Şekil 2’de geliştirilen programın akış şeması gösterilmiştir.

Temel boyutlar dişlilerin parametrik modellenmesi için kullanıcı tarafından programa girilen değişkenlerdir (Şekil 2a). Bu değişkenler, geliştirilen program yardımıyla hesaplanan boyutları elde edebilmek için “parametre.txt” dosyası olarak bilgisayara kaydedilmektedir (Şekil 2b). Girilen değişkenler kullanıcı tarafından seçilen dişli çarka göre modül, diş sayısı, iletim oranı, vb. gibi parametreler olabilmektedir. Bilgisayara kaydedilen temel boyutlar, ilgili dişli çark tipine göre geliştirilen programa entegre edilen alt program yardımıyla hesaplanan boyutlar elde edilmektedir (Şekil 2c). Hesaplanan boyutlara göre seçilen dişli çark BDT ortamında 2 veya 3 boyutlu olarak oluşturulmaktadır (Şekil 2d).

2.1. Evolvent Diş Geometrisi (Geometry of Involute Gear)

Evolvent diş geometrisi, düz, helis, konik dişli çarkların diş profillerinde kullanılmaktadır. Dişli çark geometrik olarak incelendiğinde, bir diş profili, diş başında ve diş tabanında konsantrik daire yayları, diş yan yüzeylerinde evolvent eğrileri ve diş yan yüzeylerini diş dibi dairesine bağlayan bölgede trokoid eğrilerden oluştuğu görülmektedir (Şekil 3).

Diş profilinin, trokoidal kök eğrisini ve evolvent profilini tayin eden ifadeler dişli çarkların analitik



Şekil 3. Evolvent diş geometrisi (Involute gear geometry)

mekaniğinden elde edilmektedir. Bu çalışmada, evolvent dişli profilini elde etmek için, Litvin’in geliştirdiği evolvent profil ve trokoid formda diş dibi profilini tayin eden parametrik ifadeler kullanılmıştır [21]. Evolvent geometrisi Şekil 4’te gösterilmektedir.

Evolvent açısı ψ , kavrama açısı α olmak üzere,

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

olarak bulunur ve evolvent profilde dönme açısı θ aşağıdaki denklemle 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 şeklinde gösterilmiştir.

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

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

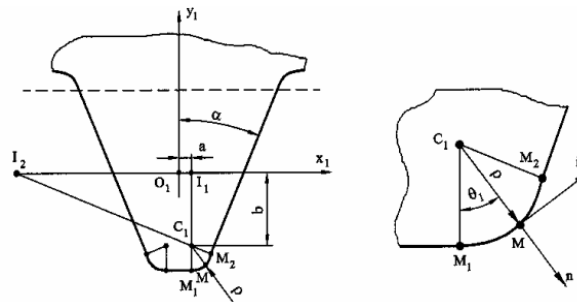
$$\theta_a = \cos^{-1} \frac{r_b}{r_a} \quad (4)$$

denkleminde elde edilir. Şekil 3’te gösterilen diş profilini elde eden kesici takımın geometrisi Şekil 5’te gösterilmektedir. 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 denklemde ifade edilmiştir.

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

$$b = 1.25 m - \rho - m x_1 \quad (6)$$

Takım geometrisine bağlı olarak, Şekil 5’te gösterilen trokoid formda diş dibi eğrisini ifade eden denklemler, ϕ dönme açısı olmak üzere,



Şekil 5. Kesici takım geometrisi ve takım ucu detayı (Cutting tool geometry and tool tip detail) [5]

$$x_2 = \rho \sin(\theta_1 - \phi) + a \cos \phi - b \sin \phi + r(\sin \phi - \phi \cos \phi) \quad (7)$$

$$y_2 = -\rho \cos(\theta_1 - \phi) - a \sin \phi - b \cos \phi + r(\cos \phi + \phi \sin \phi) \quad (8)$$

şeklinde ifade edilir. Takım ucu yay parametresi, $\theta_1 \leq \theta_1 \leq (\pi/2) - \alpha$ aralığında değişmekte, (5) ve (6) denklemlerden elde edilen takımı yuvarlatılmış ucunun eğrilik merkezinin konumunu veren ifadeler kullanılarak, dönme açısı,

$$\phi = \frac{b \tan \theta_1 - a}{r} \quad (9)$$

olarak bulunur. Elde edilen dönme açıları, (7) ve (8) nolu denklemlerde yerine yazılarak, diş dibi eğrisinin geometrik yeri bulunmaktadır.

2.2. 2 Boyutlu Dişli Çark ve Dişli Çark Çiftlerinin Boyutlandırılması ve Çizimi (Sizing and Drawing of 2D Gear Wheel and Gear Wheel Pairs)

Dişli çark ve dişli çark çiftlerinin geliştirilen program yardımıyla kullanıcının istediği temel boyutlara göre düz, helis, konik, sonsuz, karşılık dişlisi ve kremayer dişlilerin 2 boyutlu çizimleri, taramaları ve ölçülendirilmeleri karma bir programlama yapısı sayesinde BDT ortamında otomatik olarak yapılabilmektedir.

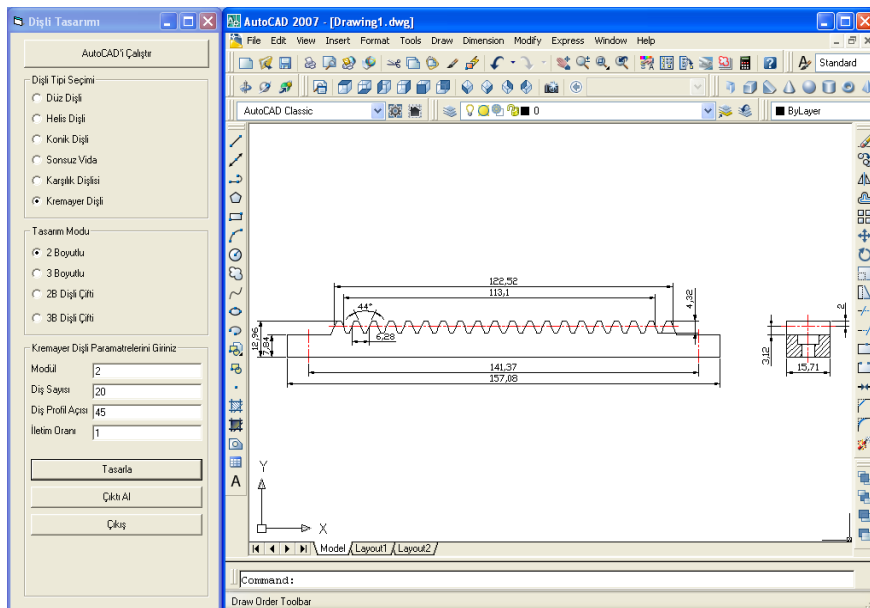
Geliştirilen program menüsünden dişli tipi seçimi olarak kremayer dişli ve tasarım modu olarak 2 boyutlu seçildiğinde temel boyutlar olarak kullanıcıdan modül, diş sayısı, diş profil açısı ve iletim oranı istenmektedir. Bu temel boyutlar kullanıcı tarafından girilerek, girilen parametreler bilgisayara, program tarafından otomatik olarak yazdırılmakta ve kaydedilmektedir. Bu dosya AutoLISP programlama dilinde açılarak ve burada kayıtlı olan parametreler alınarak dişli tipine göre hesaplanan boyutlar elde edilmektedir. Dişlinin çizimi için elde edilen boyutlar ile ara

yüze girilen parametrelere göre AutoCAD ortamında kremayer 2 boyutlu dişli çizimi ve ölçülendirmesi gerçekleştirilmektedir (Şekil 6). Bu dişli tipinde diş sayısında herhangi bir sınırlama olmaksızın kremayer dişli çizimi ve ölçülendirilmesi otomatik olarak program tarafından yapılabilmektedir.

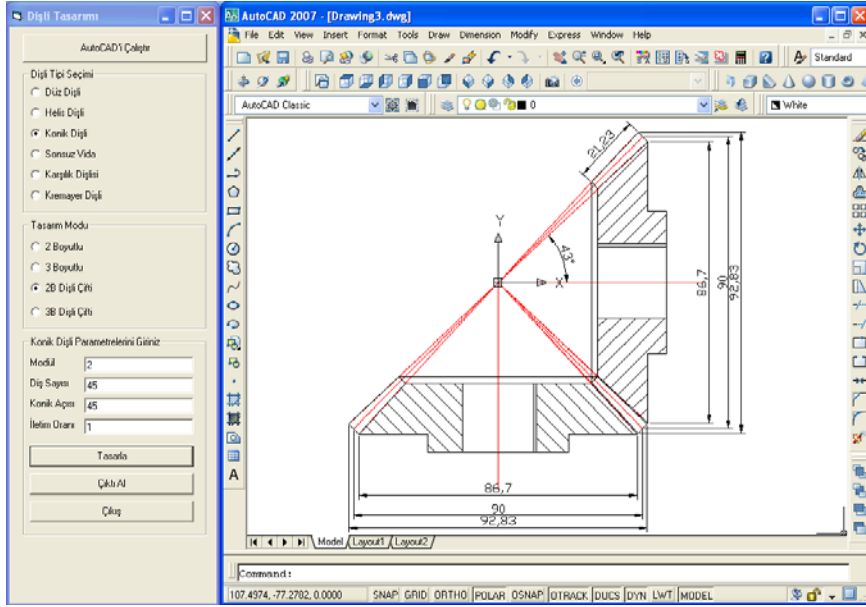
Geliştirilen programla aynı zamanda 2 boyutlu dişli çark çiftlerinin çizimi ve ölçülendirilmesi otomatik olarak yapılabilmektedir. Dişli çark çiftlerinin çizimi için geliştirilen program ara yüzünden dişli tipi olarak konik ve tasarım modu olarak 2B dişli çark çifti seçildiğinde kullanıcı tarafından modül, diş sayısı, konik açısı ve dişli çark çiziminden farklı olarak iletim oranı istenmektedir. Bu parametreler girilerek dişli tipine göre hesaplanan boyutlar elde edilir. AutoLISP programında bu parametreler okutularak 2 boyutlu konik dişli çark çizimi ve ölçülendirilmesi otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. (Şekil 7). Geliştirilen program aracılığıyla düz, helis, konik, sonsuz, karşılık dişlisi ve kremayer dişli gibi dişli çark ve dişli çark çiftlerinin otomatik çizimi ve ölçülendirilmesi yapılmaktadır.

2.3. 3 Boyutlu Dişli Çark ve Dişli Çark Çiftlerinin Boyutlandırılması ve Modellenmesi (Sizing and Modeling of 3D Gear Wheel and Gear Wheel Pairs)

Bütün dişli çark tiplerinin BDT ortamında otomatik olarak 3 boyutlu modellenmesi, sistemde gerçekleştirilebilmektedir. Sistemdeki dişlilerin 3 boyutlu modellenmesinde, kullanıcı tarafından girilen parametre değerleri bilgisayara yazdırılmakta ve kaydedilmektedir. Bu parametre değerleri geliştirilen program yardımıyla okutularak, seçilen dişli tip ve tasarım moduna göre AutoLISP programında hesaplanan boyutlar elde edilmektedir. Düz dişli çarkın evolvent dişli profilini elde etmek için, Litvin'in geliştirdiği evolvent profili ve trokoid formda diş dibi profilini



Şekil 6. 2 Boyutlu kremayer dişli çizimi ve ölçülendirilmesi (2D drawing and dimensioning of a rack gear)



Şekil 7. 2 boyutlu konik dişli çark çifti çizimi ve ölçülendirilmesi (2D drawing and dimensioning of a conical gear wheel pair)

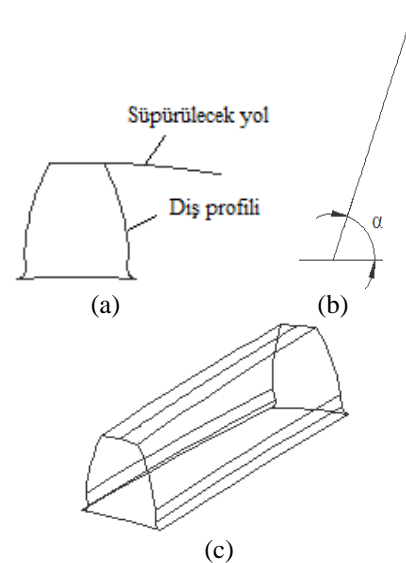
tayin eden parametrik ifadeler kullanılmış, oluşturulan diş profili kullanıcı tarafından girilen parametrelere göre hesaplanan dişli genişliği kadar süpürülerek bir diş modeli oluşturulmuştur. Dişlinin merkezinden geçen eksen çizgisi referans alınarak bir diş modeli diş sayısına göre polar dizi şeklinde döndürülerek çoğaltılmış ve dişli gövdesi, delik ve kama kanalı oluşturularak düz dişli çark modellenmiştir.

Sistemde yer alan helis dişli çark için diş profili ve dişlinin helis yayı, geliştirilen program yardımıyla girilen parametrelere göre otomatik olarak oluşturulmuştur. Helis dişlinin diş profili girilen modül, diş sayısı, helis açısı (α), iletim oran ve yön parametre değerlerine göre elde edilmektedir. Oluşturulan diş profilinin girilen yön parametresine (sağ, sol) göre yönü belirlenmekte, helis yayı ise girilen helis açısı ve helis oluşturma işlemi AutoLISP fonksiyonları kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Dişli profilinin iki boyutlu modeli alın kesit düzleminde çizilmiştir (Şekil 8a) ve diş profili oluşturulan helis yayı doğrultusunda süpürülerek tek bir dişin 3 boyutlu modeli elde edilmekte (Şekil 8d) ve girilen diş sayısına göre helis dişli çarkın dişleri polar bir dizi olarak çoğaltılmaktadır. Daha sonra gövde, delik ve kama kanalı oluşturularak helis dişli çarkın modellenmesi tamamlanmaktadır. Program ara yüzünde tasarım modundan 3 boyutlu dişli çark çifti seçildi ve iletim oranı girildi ise modellenen helis dişli çark ile çalışacak diğer dişli çarkın modellenmesi iletim oranına göre otomatik olarak yapılmaktadır (Şekil 9).

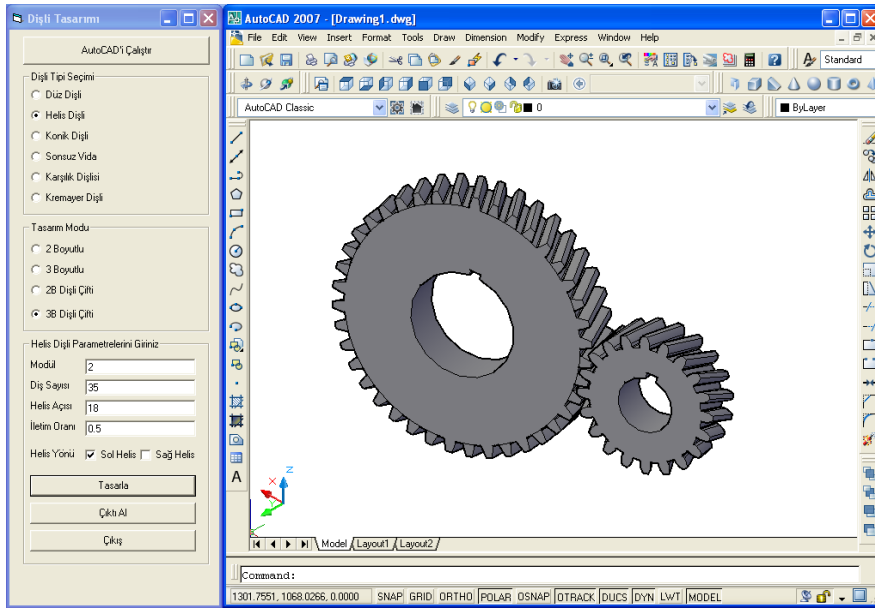
Konik dişli çark, girilen parametrelere göre diş profili çizilmekte ve konik dişli oluşturmak için girilen koniklik açısına göre süpürme yolu belirlenmektedir (Şekil 10a). Diş genişliğinin, koni ana doğrusu uzunluğuna oranı kadar diş profiline açı verilerek ve süpürülecek yol referans olarak seçilerek

konik dişlinin bir diş modeli modellenmektedir (Şekil 10b). Daha sonra dişlinin merkezinden geçen eksen çizgisi referans alınarak bir diş modeli diş sayısına göre polar dizi şeklinde döndürülerek çoğaltılmakta ve diğer dişli çark unsurları oluşturularak dişli çarkın modellenmesi tamamlanmaktadır.

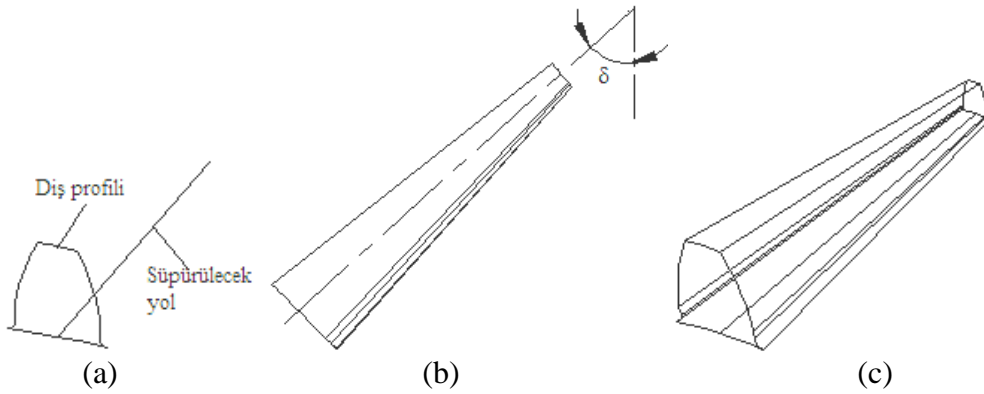
Sonsuz vidanın modellenmesinde ise kullanıcı tarafından belirlenen modül, ağız sayısı, helis açısı (α), iletim oran ve yön parametrelerine göre diş profili çizilerek ve helis yolu boyunca süpürülerek oluşturulmaktadır (Şekil 11a). Sonsuz vida, trapez diş profili olarak alın düzlemde çizilmekte ve bu trapez dişe 90° referans olacak şekilde, hesaplanan diş dibi çapı değeri ve helis adımı kadar bir helis oluşturularak sonsuz dişli modellenmektedir (Şekil 11c).



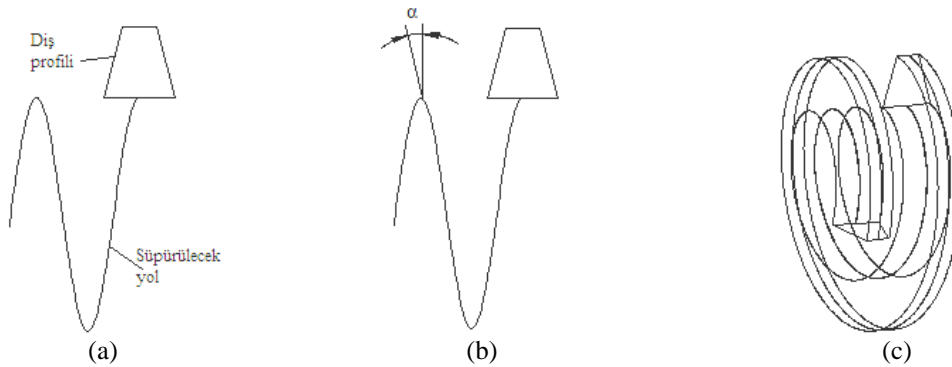
Şekil 8. a) Diş profili ve yol, b) diş profili için helis açısı, c) helis dişli çark için süpürülmüş bir diş modeli (a) a tooth profile and its path, b) helix angle for a tooth profile c) a swept gear model for a helical gear wheel)



Şekil 9. Helis dişli çark çiftinin 3 boyutlu modeli (3D model of a helical gear wheel pair)



Şekil 10. a) Diş profili ve yol b) konik dişli için koniklik açısı c) konik dişli için süpürülmüş bir diş modeli (a) a tooth profile and its path, b) cone angle for a conical gear c) a swept gear model for the conical gear)

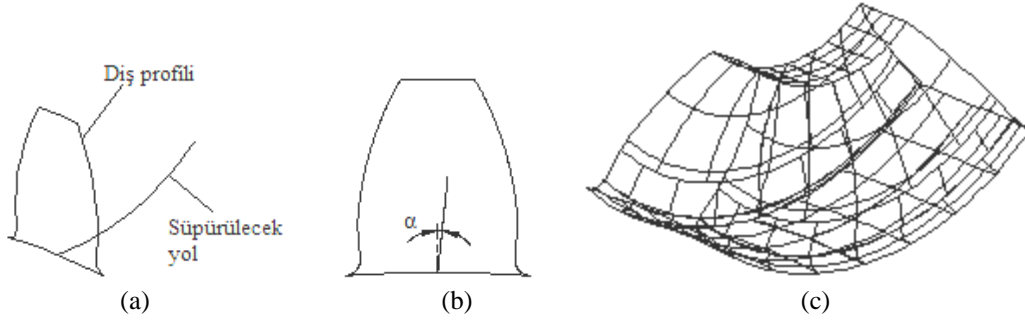


Şekil 11. a) Diş profili ve yol b) sonsuz vida için helis açısı c) sonsuz vida için süpürülmüş bir diş modeli (a) a tooth profile and its path, b) helix angle for a worm gear c) a swept gear model for the worm gear)

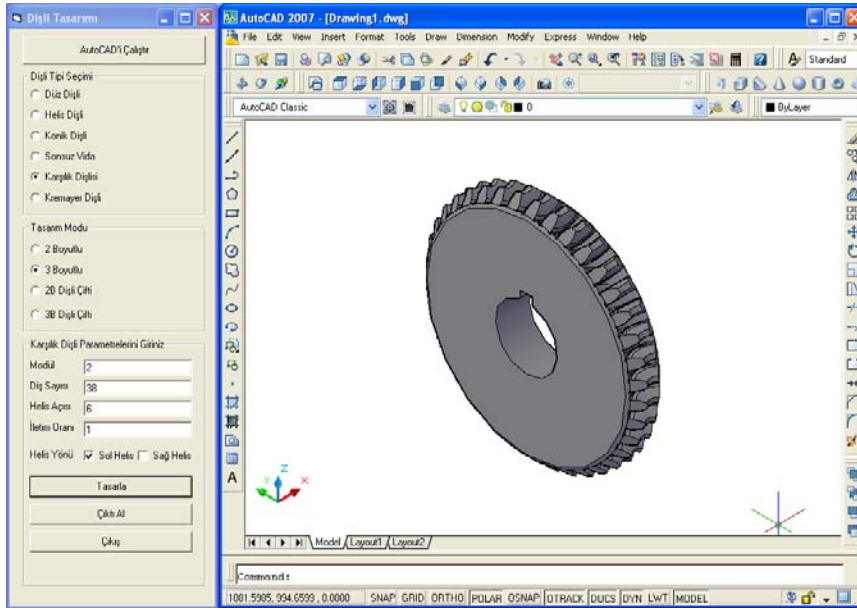
Karşılık dişli çarkta ise girilen parametrelerden farklı olarak dişli sayısı kullanıcı tarafından girilerek karşılık dişli modellenmesi yapılabilmektedir. Karşılık dişli çarkın diş profili girilen modül, diş sayısı, helis açısı (α), iletim oranı ve yön parametre değerlerine göre alın düzlemde çizilmektedir (Şekil 12b). Bir dişin oluşturulması için girilen helis açısı ve helis oluşturma AutoLISP fonksiyonları kullanılarak, diş profili üzerinden referans bir yay ile oluşturul-

maktadır. Diş profili oluşturulan yay doğrultusunda süpürülerek bir dişin 3 boyutlu katı modeli tamamlanmaktadır (Şekil 12c). Girilen dişli sayısı parametresine göre karşılık dişli çarkın dişleri modellenmektedir. Şekil 13'de karşılık dişli çarkın 3 boyutlu modeli gösterilmektedir.

Sistemde kremayer dişli, kullanıcı tarafından belirlenen modül, diş sayısı, diş açısı ve iletim oranı



Şekil 12. a) Diş profili ve yol b) karşılık dişli çark için helis açısı c) karşılık dişli çark için süpürülmüş bir diş modeli (a) a tooth profile and its path, b) helix angle for a worm wheel gear c) a swept gear model for the worm wheel gear)



Şekil 13. Karşılık dişli çarkın 3 boyutlu modeli (3D model of a worm wheel gear)

parametrelerine göre dişli modellenmesi gerçekleştirilmektedir. Geliştirilen programda altı tane dişli çeşidi ve dört tane dişli tasarım tipi vardır. Toplamda 24 tane dişli tasarımı, geliştirilen farklı 24 alt program yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, 2 ve 3 boyutlu dişli çark çizimi ve modellenmesi için tasarımcıya hızlı ve işlevsel bir yardımcı program alternatifini sunmuştur.

3. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, dişli çarkların bilgisayar destekli çizimi ve modellenmesi için bir yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılım ile kullanıcı tarafından girilen girdi parametrelerine göre BDT ortamında dişli çark ve dişli çark çiftlerinin 2 boyutlu çizimleri, ölçülendirilmesi ve 3 boyutlu modellenmesi otomatik olarak yapılabilmektedir. Elle yapılan dişli çark hesaplamalarında ve dişli çarkların BDT ortamına gerek 2 boyutlu gerekse 3 boyutlu olarak aktarılmasında harcanan süreyi azaltmada ve yapılan hesaplama, çizim ve modelleme hatalarını elimine etmede geliştirilen yazılım etkin bir şekilde kullanılabilir. Bu bakımdan, geliştirilen programın kullanılmasının BDT ortamında dişli çark ve dişli çark çiftlerinin 2

boyutlu çizimi, ölçülendirilmesi ve 3 boyutlu modellenmesi işlemini otomatikleştirerek kolaylaştıracağı düşünülmektedir. Aynı zamanda çağdaş BDT (Solidworks, Mechanical Desktop, vb.) sistemlerinin parça kütüphanelerinde bulunmayan sonsuz vida, karşılık dişlisi, kremayer dişli ve konik dişli çark gibi makine elemanlarının çizimi ve modellenmesinin geliştirilen program sayesinde girdi parametrelerine uygun olarak yapılabilmesi programın diğer bir üstünlüğüdür. Ayrıca sistemde iletim oranına göre dişli çark çiftlerinin çizimi ve modellenmesi yapılmakta olup BDT programlarında ve literatürdeki çalışmalarda dişli çiftlerinin çizimi ve modellenmesi ile ilgili bir çalışmada oldukça kısıtlıdır. Gelecekte bu alanda çalışma yapacak araştırmacılar, bu sisteme bilgisayar destekli işlem planlama ve imalat modülleri ekleyerek yaygın kullanılan dişli çarklar için tasarımdan imalata kadar gerekli olan tüm süreci otomatize edebilirler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Ostwald, P.F., Munoz, J., "Computer-Integrated Manufacturing Systems", **Manufacturing Processes for Engineering Materials**,

- JohnWiley & Sons Inc., New York, A.B.D., 524–532, 1997.
2. Kalpakjian, S., Schmid, S.R., “Gear Manufacturing by Machining”, **Manufacturing Engineering and Technology**, Fifty Edition, ISBN 0-13-148965-8, Pearson Education, Inc., 741–749, 2006.
 3. Brauer, J., Andersson, S., “Simulation Of Wear in Gears with Flank Interference-A Mixed FE and Analytical Approach”, **Wear**, Volume 254, Issue 11, 1216–1232, 2003.
 4. Wojnarowski, J., ve Onishchenko, V., “Tooth Wear Effects on Spur Gear Dynamics”, **Mechanism and Machine Theory**, Volume 38, Issue 2, 161–178, 2003.
 5. Fetvacı, M.C., İmrak, C.E., “Design Of Visual Spur Gear Materials With Computer”, **Journal of Engineering and Natural Sciences**, Vol. 4, 1-8, 2004.
 6. Salamoun, C., Suchy, M., “Computation of Helical or Spur Gear Fillets”, **Mechanism and Machine Theory**, Vol. 8, Issue 3, 305-322, 1973.
 7. Aziz, E.S., “Knowledge-Based Geometry Generation for Spur and Helical Gears”, **Concurrent Engineering**, Vol. 10, No. 3, 251-261, 2002.
 8. Brauer, J., “A General Finite Element Model of Involute Gears”, **Finite Elements in Analysis and Design**, Vol. 40, 1857–1872, 2004.
 9. Yang, S.C., “Mathematical Model of a Helical Gear with Asymmetric Involute Teeth and Its Analysis”, **Int. J. Adv. Manuf. Technol.**, Vol. 26, 448–456, 2005.
 10. Chena, C.F., Tsay, C.B., “Tooth Profile Design for the Manufacture of Helical Gear Sets with Small Numbers of Teeth”, **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, Vol. 45, 1531–1541, 2005.
 11. Avcıl, Ö.A., **Dişli Çarkların Standartlara Göre Hesaplanması ve Bilgisayar Destekli Tasarımla Kontrolü**, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
 12. Reyes, O., Rebolledo, A. ve Sanchez, G., “Algorithm to Describe the Ideal Spur Gear Profile”, **Proceedings of the World Congress on Engineering 2008 Vol. II WCE**, London, U.K., 2-4 July 2008.
 13. Nordiana, J.O., Ogbeido, S.O., Ehigiamusoe, N.N. ve Anyasi, F.I., “Computer Aided Design of a Spur Gear”, **Journal of Engineering and Applied Sciences**, Vol 2, Issue 12, 1743-1747, 2007.
 14. Rosić, B., “Design and Simulation of Meshing of Internal Involute Spur Gears with Pinion Cutters”, **Facta Universitatis Series: Mechanical Engineering**, Vol 1, No 9, 1193–1198, 2002.
 15. Zeyveli, M., Saruhan, H. ve Göloğlu, C., “Dişli Kutularında Parametrelerin Hacim ve Mukavemete Etkilerinin Araştırılması”, **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, Cilt 24, No 1-2, 315- 333, 2008.
 16. Sönmezler, H., **Bilgisayar Destekli Tasarım Programlarında Dişli Tasarımı**, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
 17. Özkan, M.T. ve Gülesin, M., “Uzman Sistem Yaklaşımı ile Civata ve Dişli Çark Seçimi”, **Türk J. Engin. Environ. Sci.**, Cilt 25, 169–177, Tübitak, 2001.
 18. Karpat, F., Çavdar, K. ve Babalık, F.C., “Bilgisayar Yardımıyla Düz, Helisel, Konik ve Sonsuz Vida Dişli Mekanizmalarının Boyutlandırılması ve Analizi”, **Mühendis ve Makine Dergisi**, Sayı 510, Temmuz 2002.
 19. Özdemir, U., “Dişli Kutusunun Parametrik Tasarımında; Dönme Yönü, Güç ve Helis Açısı Değişiminin Millerdeki Eğilme Momentine Etkisinin İstatistiksel Analizi” **Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi**, Cilt 2, Sayı 2, 15-25, 2005.
 20. Çiçek, A., “Dişlilerin Uzman Sistem Tabanlı Tanımlanması ve Detaylı Boyutlarının Çıkarılması”, **Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi**, Cilt 23, No 3, 709-717, 2008.
 21. Litvin, F.L., “**Gear Geometry and Applied Theory**”, PTR Prentice Hall, New Jersey, 1994.
 22. Çiçek, A., **Bilgisayar Destekli Parça Tanıma Sisteminin Geliştirilmesi ve Motor Sistemine Uygulanması**, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.

