

DÜZ DİŞLİ TASARIMINDA BİR TERSİNE MÜHENDİSLİK UYGULAMASI

Mustafa AYYILDIZ, Adem ÇİÇEK

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

ÖZET

Bu çalışmada, düz dişli tasarımı için gerekli olan dişli parametrelerinin, tersine mühendislik (TM) tekniği kullanılarak elde edilmesi amaçlanmıştır. Bunun için imal edilmiş bir düz dişlinin diş profilinin nokta bulutu, koordinat ölçme makinesi (KÖM-CMM-Coordinate Measuring Machine) ile elde edilmiştir. Dişli parametreleri elde edilen nokta bulutu işlenerek çıkarılmıştır. Bu parametreler yardımıyla BDT ortamında düz dişlinin 3 boyutlu modeli elde edilmiştir. Sistemde karma bir programlama yaklaşımı kullanılmıştır. Nokta bulutu oluşturma, işleme ve dişli parametrelerinin çıkarımı Visual BASIC programlama dilinde ve BDT ortamında 3 boyutlu model oluşturma ise, programlama kolaylığından dolayı, AutoLISP programlama dilinde yapılmıştır. Daha sonra bu iki yazılım entegre edilerek uyumlu bir şekilde çalışması sağlanmıştır. Çalışmada BDT ortamları olarak Solidworks™ ve AutoCAD™ seçilmiştir. Bu çalışma ile düz dişli tasarımı için bir tersine mühendislik yaklaşımı sunulmuş ve dişlilerin BDT ortamında modellenmesi gerçekleştirilmiştir.

Anahtar kelimeler - Düz dişli, Tersine mühendislik, Bilgisayar destekli tasarım.

AN APPLICATION OF REVERSE ENGINEERING IN DESIGN OF THE SPUR GEAR

ABSTRACT

In this study, it was aimed that the gear parameters required the design of a spur gear were obtained by use of reverse engineering techniques. Therefore, point cloud of tooth profile of the manufactured spur gear was extracted by a coordinate measuring machine (CMM). The gear parameters were derived by processing the obtained point cloud. 3D model of the spur gear were modeled through this parameters in a CAD environment. In the system, a hybrid programming approach was used. Generating and processing the point cloud, extraction of the gear parameters were performed by Visual BASIC programming language. 3D modeling in the CAD environment was performed also by AutoLISP programming language due to programming simplicity. These two softwares were provided to be in harmony by integrating them. In the study, Solidworks™ and AutoCAD™ were selected as CAD environments. With this study, a reverse engineering approach for the design of the spur gear was presented and modeling of the gears was carried out in the CAD environment.

Keywords - Spur gear, Reverse engineering, Computer aided design

I. GİRİŞ

Günümüzde daha özelleştirilmiş ürünlere talep artmakta ve talep ihtiyaçlarındaki bu değişkenlik, rekabet güçlerini artırmak isteyen birçok işletmeyi yeni üretim ve pazarlama stratejileri uygulamaya teşvik etmektedir. Bu yüzden imalat sektöründe, müşteri isteklerine ve önceden kestirilemeyen değişikliklere çok çabuk uyum sağlayabilecek yöntemler öne çıkmış bulunmaktadır [1].

Kavramsal tasarım ile başlayan geleneksel mühendislik sürecinin aksine, Tersine Mühendislik (TM) sürecinde ürün tasarımına, gerçekte var olan bir modelin şekil bilgisinin elde edilmesi ile başlanır. Serbest ve karmaşık yüzeylere sahip olan gerçek parçaların geometrik bilgisinin elde edilmesi tersine mühendisliğin en önemli aşamalarından biridir [2]. Bazı durumlarda ürün bilgisini oluşturan, ürünün teknik verileri, çizimleri, malzeme bilgileri gibi gerekli basamakların bir kısmı eksik olabilir. Örneğin elde ürünün kendisi varken bu üründen yapılacak imalat işlemi için gereken teknik çizimi, bilgisayar modeli olmayabilir. Bu

gibi durumlarda parçanın kendisinden hareket ederek geriye gitme işlemi, süreci geriye yürütme işlemi yapılır. Ürünün başlangıç aşamasındaki Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT) modeli elde edilebilir. Bütün bu süreç TM olarak adlandırılır. TM, 3B sayısallaştırma tekniklerini uygulamak suretiyle bir iş parçasına ait nokta bulutu verilerinin toplanmasına ve dolayısıyla BDT modelinin oluşturulmasına imkân tanımaktadır.

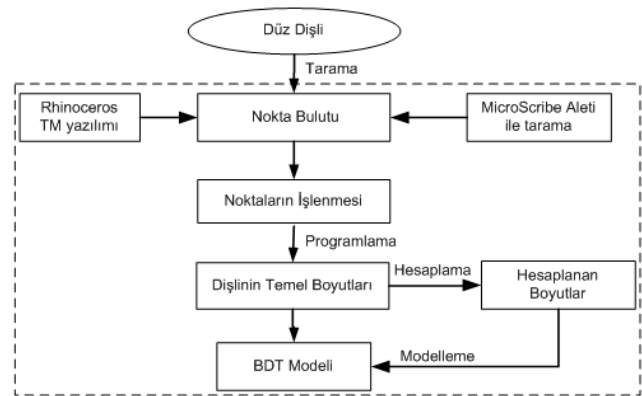
Dişli çarklar, son yüzyılın teknolojik gelişmeleri sayesinde hemen her makinede kullanılan elemanlar olmuşlardır. Dolayısıyla dişli çarkların hesabı ile pratikte çok sık karşılaşılmaktadır. Bu amaçla karşılaşılan problemin bilgisayar ortamına uyarlanması ile hızlı ve kesin sonuçların elde edilmesine çalışılmaktadır. Dişli çarkların boyutlandırılması ve modellenmesi alanlarında literatürde çok sayıda çalışma mevcuttur. Avcıl çalışmasında; düz ve helisel alın dişli çarkların ilgili boyut ve mukavemet hesaplarını klasik yöntemlerle yapmış ve hesaplamalara ait parametrelerin seçiminde Alman DIN normları tercih etmiştir. Bu hesaplamaları, parametrik bir modele dönüştürülerek, geliştirilen bir arayüz yardımıyla dişli çarkların tasarımlarını 3B olarak yapmıştır [3]. Reyes ve arkadaşları ideal düz dişli profili oluşturmak için modül, diş sayısı ve kuvvet açısı kullanarak bir algoritma geliştirip, dişli tasarımını gerçekleştirmişlerdir [4]. Nordiana ve arkadaşları, düz dişli tasarımının nasıl yapılması gerektiği hakkında bir Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT) yöntemi sunmuşlardır [5]. Rosic, iç düz dişlilerin tasarımı için bir bilgisayar destekli kinematik model oluşturarak dişlilerin en uygun ölçülerini, imalatını, çekme ve basma analizinde yardımcı bir yaklaşım geliştirmiştir [6]. Zeyveli ve arkadaşları, iki kademeli düz, helis ve konik dişli çark mekanizmalarının tasarım ve mukavemet analizini araştırmışlardır. Dişli tasarım işlemini analitik yaklaşım ile iletim oranı ve modül değişkenlerinin taranması ve bunlara bağlı diğer parametrelerinin bulunması şeklinde yapmışlardır [7]. Sönmezler, bilgisayar destekli dişli tasarımında evolvent profilli düz silindirik dişlilerin tasarlanabilirliğini, geliştirilen bir programla ispatlamıştır [8]. Özkan ve Gülesin, uzman sistem yaklaşımı kullanarak kullanım yerlerine göre civata ve dişli çark seçimleri yaptırılmışlardır [9]. Karpat ve arkadaşları, 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 programları tanıtmışlardır [10]. Özdemir, 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 etkisi istatistiksel olarak incelemiştir

[11]. Çiçek, BDT modellerinden düz ve helis dişlileri tanımlamak ve detaylı boyutlarını çıkarmak için bir algoritma sunmuştur. Tanımlama sistemi bir uzman sistem aracılığıyla gerçekleştirmektedir. Hem parça tanımlama hem de işleme parametreleri çıkarma prosedürlerine girdi olarak kullanılan geometrik ve topolojik bilgi, STEP grafik standardındaki bilgiler okunarak program tarafından otomatik elde etmiştir [12].

Bu çalışmada, düz dişli tasarımında bir tersine mühendislik yaklaşımı önerilmiş ve gerçek bir düz dişli elemanı örnek alınarak dişli profiline ait nokta bulutu, KÖM ile oluşturulmuştur. Visual Basic ve AutoLISP dilleri kullanarak nokta bulutuna müdahale edilmiştir. Nokta bulutundan dişlinin temel parametreleri çıkartılmıştır. Bu temel parametreler ile dişlinin tasarımı bilgisayar destekli olarak elde edilmiştir.

II. GELİŞTİRİLEN SİSTEM

Bu çalışmada, düz dişli elemanları üzerinde TM tekniğini kullanarak, ürün bilgisini toplamak ve BDT ortamında tasarımını kolaylaştırmak için bir yazılım geliştirilmiştir. Şekil 1’ de düz dişli elemanının TM tabanlı tasarımı için geliştirilen sistemin akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 1. Düz dişli elemanının TM destekli tasarımı için geliştirilen sistemin akış şeması

Bu amaçla düz dişli elemanının diş profili, koordinat ölçüm aleti kullanılarak nokta bulutu oluşturulmuştur. Oluşturulan nokta bulutu nokta kümesinden meydana getirilmiştir. Nokta bulutu IGES formatında kaydedilmiş ve taranan nokta bulutunu işlemek ve dişli tasarımını gerçekleştirmek için bir yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılım Visual Basic programlama dilinde yazılmış ve AutoCAD, SolidWorks tasarım programlarına entegre edilerek çalışmaktadır. Geliştirilen yazılım ile IGES formatı SolidWorks BDT programında çağrılmıştır. SolidWorks

[13] API fonksiyonlarını geliştirilen programda kullanılarak nokta bulutuna müdahale edilmiştir. Geliştirilen program yardımıyla nokta bulutu işlenerek, düz dişli elemanın temel parametreleri bulunmuştur. Temel parametreler dişlinin tasarlanabilmesi için gerekli boyutlardır. Temel parametreler geliştirilen program ile metin dosyası olarak bilgisayara otomatik kaydedilmiştir. Geliştirilen program yardımıyla kaydedilen dosya içindeki parametreler okutularak, AutoLISP programlama dilinde yazılan programa girdi olarak kullanılmıştır. Düz dişlinin tasarım aşamaları AutoLISP fonksiyonlarına çevrilerek, AutoCAD altında çalışan bir modül program eklenmiştir. Geliştirilen program yardımıyla AutoCAD ortamında modül programa temel parametrelere gönderilerek, düz dişli tasarımını gerçekleştirmiştir. Düz dişlinin TM destekli tasarımı için geliştirilen sistemin, uygulama adımlarının sırası aşağıda açıklanmıştır.

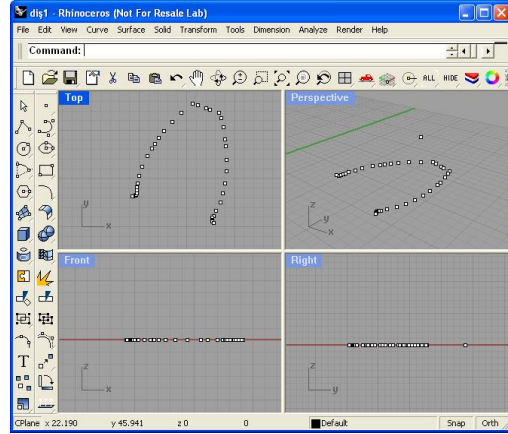
2.1. Nokta Bulutu Oluşturma

Tanımlanmış olan 2B/3B bir yüzeyden veri toplama işlemi olan tarama, sayısal tarama probu (temaslı) ile koordinatı bilinmeyen yüzeylerde ileri geri hareket ederek yüzey hakkındaki kayıt bilgisinin nokta bulutu matrisini oluşturur. 3B tarama aletiyle elde edilen nokta bulutu, BDT programına aktarılarak parçanın referans elemanları oluşturulmuştur [14–17]. Düz dişli üzerinden diş profilinin elde edilebilen boyut bilgisi, MicroScribe 3 boyutlu tarama cihazı (Şekil 2) yardımıyla nokta bulutları Rhinoceros BDT programı ile alınmıştır [18], (Şekil 3).



Şekil 2. Düz dişli çark

Bunun için düz dişli düzgün bir zemine konularak, 3 boyutlu tarama cihazı ile dişli profilinin üzerinden nokta bulutu oluşturulmuştur. Düz dişlinin sadece tek bir diş profili taranarak oluşturulan nokta bulutu, nokta kümesi olarak alınmıştır. Nokta bulutu koordinat sisteminde birinci bölgede olacak şekilde noktalar dişli üzerinden alınmıştır.

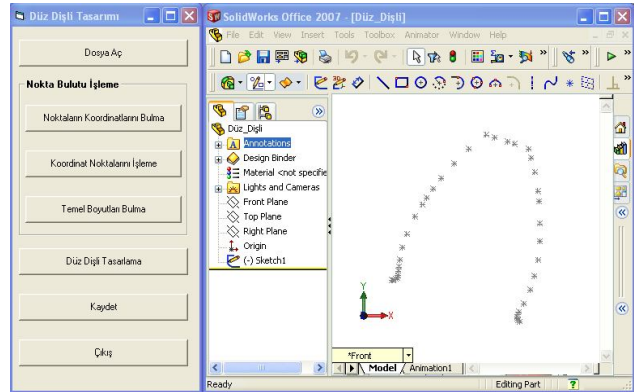


Şekil 3. Dişlinin nokta bulutunun oluşturulması

Nokta bulutundaki nokta kümesinin işlenebilmesi ve dişli parametrelerinin çıkarılabilmesi için gerekli bir kısıtlama yapılmıştır. Nokta bulutundaki oluşturulan noktaların sayısının fazla alınması, dişli parametrelerinin çıkarılması, dişli tasarımının doğruluğunu artırmıştır.

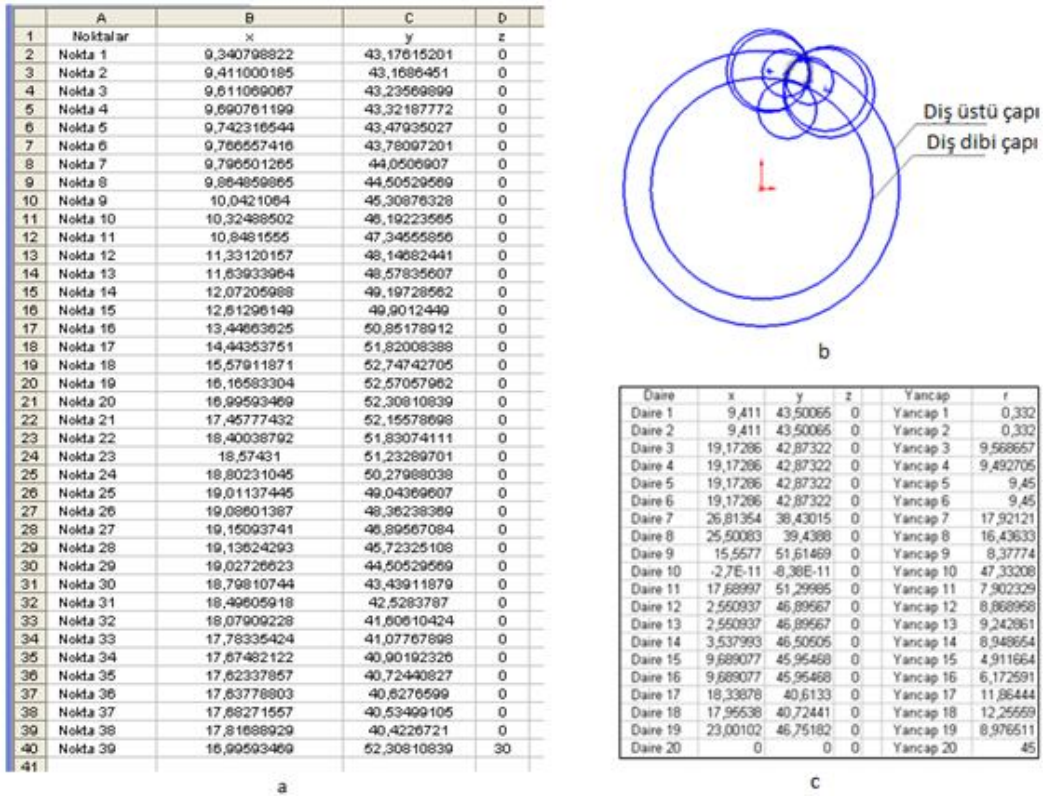
2.2. Nokta Bulutu İşleme

Oluşturulan nokta bulutu, nokta kümesinden meydana getirildiği için nokta kümesindeki noktaların koordinatlarına müdahale edilebilecektir. Nokta kümesindeki noktalar, koordinat sisteminde birinci bölgede alındığından noktaların X, Y, Z koordinatları pozitif sayılardan oluşacaktır. Buda X, Y, Z koordinatlarının işlenmesinde kolaylık sağlayacaktır.



Şekil 4. Nokta bulutu işleme ara yüzü ve nokta bulutu

Kaydedilen nokta bulutu SolidWorks ortamında, geliştirilen program yardımıyla açılmış (Şekil 4) ve açılan nokta kümesindeki her bir noktanın X, Y, Z koordinatları, SolidWorks API fonksiyonlarının yardımıyla bulunmuştur. Bulunan her bir noktanın koordinatları, noktaların sırasına göre bir Excel dosyasına kaydedilmiştir (Şekil 5a). Ele



Şekil 5. a) Nokta bulutundan elde edilen noktaların koordinatları, b) Nokta işleme ile oluşturulan daireler, c) Dairelerin program tarafından çıkarılan koordinat ve yarıçapları

alınan örnekteki noktalar kümesinde otuz dokuz nokta bulunmuştur. Koordinatları bulunan noktaların FOR-NEXT döngüsü kurularak SolidWorks API fonksiyonları yardımıyla nokta kümesindeki her üç noktaya temas eden daireler oluşturulmuştur (Şekil 5b). Oluşturulan dairelerin her birinin merkez noktalarının X, Y koordinatları geliştirilen program yardımıyla bulunarak, daire oluşturma denkleminde tüm dairelerin yarıçapları bulunmuştur. Bulunan dairenin koordinatları ve bu koordinatlar yardımıyla bulunan dairelerin yarıçapları Excel dosyasına otomatik olarak kaydedilmiştir (Şekil 5c). Otuz dokuz nokta bulunan nokta kümesinden toplam yirmi adet daire oluşturulmuştur. Bu dairelerin yarıçaplarına göre bir IF-THEN şart cümlesi kurularak, düz dişlinin dış üstü daire çapı bulunmuştur.

Diş üstü çapı, düz dişlinin dış üstündeki her hangi üç nokta ile çizilen daire çapına eşittir. Aynı zamanda diş üstü çapı, nokta kümesindeki birbirini takip eden noktalardan oluşturulan dairelerden en büyük daire çapına eşittir. Gerçek düz dişlinin, nokta bulutu oluşturulurken alınan ilk nokta diş dibi daresi üzerindedir. Bu noktanın X, Y koordinatlarına kullanılarak, diş üstü çapının merkez

noktasının X, Y koordinatlarına göre boyutları hesaplanarak diş dibi çapı bulunmuştur.

Diş üstü ve diş dibi çapları bulunduğu için dişli formüllerinden (Tablo 1), modül ve diş sayısı hesaplanmıştır. Nokta bulutundaki noktaların koordinatlardan en büyük Z koordinatı geliştirilen program tarafından belirlenerek, orijine olan dik uzaklığı hesaplatılarak dişlinin diş genişliği bulunmuştur. Temel parametreler modül, diş sayısı ve dişli genişliği bulunmuş ve diğer gerekli parametreler geliştirilen program tarafından düz dişli formülleri kullanılarak hesaplanmıştır. Nokta bulutu geliştirilen program yardımıyla bir algoritma geliştirilerek nokta kümesindeki noktalar işlenmiş olup, düz dişlinin temel parametreleri modül, diş sayısı, diş genişliği bulunmuştur. Bulunan bu parametreler düz dişli tasarımda kullanılabilmesi için geliştirilen program yardımıyla metin dosyası olarak otomatik bilgisayara kaydedilmiş ve bu dosya düz dişli parametrelerinin çıkarımı ve dişli tasarımı için kullanılmıştır.

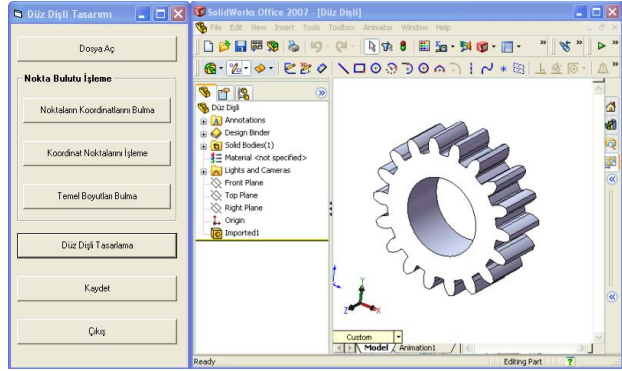
2.3. Düz Dişli Çarkın Tasarımı

Düz dişlinin bir tek diş profilinin taranmasıyla oluşturulan nokta bulutunun işlenmesiyle elde edilen dişli parametreleri, düz dişli tasarımının gerçekleştirilmesi için kullanılmıştır. Bulunan dişli parametreleri geliştirilen programda kullanılarak dişli tasarımı gerçekleştirilmiştir. Dişli tasarımı, dişli parametrelerinin bulunduğu metin dosyası, AutoLISP' de yazılan düz dişli tasarım programında kullanılarak, dişlinin diğer gerekli parametreleri hesaplatılmıştır. Dişli tasarımında modül, diş sayısı ve dişli genişliği girdi değerleri olarak kullanılmıştır. Geliştirilen program çalıştırılarak bilgisayarda kayıtlı olan metin dosyası AutoLISP programı yardımıyla işlenerek nokta bulutundan elde edilen dişli parametreleri AutoCAD ortamına aktarılmıştır. Aktarılan değerler AutoLISP programında yazılan programa girdi olarak kullanılmıştır. Girdi değerleri ile düz dişlinin gerekli ölçüleri hesaplatılarak dişlinin tasarlanması için gerekli parametreler çıkarılmıştır (Tablo 1). Düz dişlinin tasarım aşamaları AutoLISP fonksiyonlarına dönüştürülerek, AutoCAD altında çalışan bir modül program eklenmiştir.

Tablo 1. Dişliye ait parametreler

Modül	m	d / z
Adım	p	m * π
Diş Sayısı	z	d / m
Bölüm Çapı	d	z * m
Diş Üstü Çapı	da	Nokta bulutu işlemede bulundu
Diş Dibi Çapı	df	Nokta bulutu işlemede bulundu
Diş Yüksekliği	h	2,166 * m
Diş Başı Yüksekliği	ha	m
Diş Dibi Yüksekliği	hf	1,166 * m
Diş Dolusu	s	p / 2
Diş Boşluğu	e	p / 2
Diş Genişliği	b	Nokta bulutu işlemede bulundu

Geliştirilen program yardımıyla AutoCAD ortamında modül programa temel parametrelere gönderilerek, düz dişli tasarımını gerçekleştirmiştir. Şekil 6'de düz dişlinin 3 boyutlu tasarımı gösterilmiştir. AutoCAD ortamında yapılan tasarım, geliştirilen program yardımıyla uygun formata dönüştürülerek SolidWorks ortamında açılması sağlanmıştır.



Şekil 6. Düz dişlinin 3 boyutlu tasarımı

Geliştirilen program AutoCAD ve SolidWorks BDT programlarında entegre edilerek çalıştığından, nokta bulutu işleme, dişli parametreleri çıkarma, 3 boyutlu tasarım modeli oluşturma otomatik olarak gerçekleştirilmiştir. Sistemde hasarlı dişlilerin işlenebilmesi için dişlideki minimum bir diş profilinde diş üstü ve diş dibi çapını tanımlayacak küçük bir yay parçasını elde edilmesi yeterlidir. Geliştirilen programla bu mikro düzeydeki istekleri karşılayacak derecede hasarlı dişliler boyutları çıkarılarak modellenebilmektedir.

III. SONUÇLAR

Bu çalışmada, düz dişli tasarımında kullanılmak üzere bir tersine mühendislik çalışması sunulmuştur. İmal edilmiş bir düz dişli üzerinden, yalnızca bir diş profilinin nokta bulutu oluşturularak, bu nokta bulutunun işlenmesi, parametrelerin çıkarılması ve 3 boyutlu olarak modellenmesi ile geliştirilen programın kullanılabilirliği ispatlanmıştır. Geliştirilen program yardımıyla oluşturulan düz dişlinin modülü 2,56 mm bulunmuştur. Bu değer standart modül aralığından olmadığından, gerçek dişlinin çalışma anında temas yüzeylerinin aşınmış olduğu düşünülerek modül standardında en yakın üst değer olan 2,75 mm alınmıştır. Bu yönüyle hesaplanan değerle, oluşturulan model arasındaki sapma önemsenmeyecek kadar küçüktür. Geliştirilen program, hasarlı dişlilerin nokta bulutunu otomatik olarak çıkararak hasarlı dişlilerin de 3 boyutlu tasarımını yapabilecek yetenektedir. Aynı zamanda sistemde hasarlı veya hasarsız düz dişlilerin tasarımını yapılabilmesi için dişlinin bütün geometrisinin nokta bulutunun oluşturulması yerine bir diş profilinin nokta bulutu tasarım için yeterli olmaktadır. Geliştirilen program, farklı dişliler ilave edildiğinde, farklı tasarım ve üretim faaliyetlerini destekleyebilecek niteliktedir.

Dolayısıyla gelecekte bu alanda yapılacak çalışmalarda dişli tasarımında, tasarım zamanını minimize edilerek, dişlilerin detaylı boyutlarının çıkarılmasına ve 3 boyutlu modellenmesine katkıda bulunularak BDT/BDİ programlarının daha kapsamlı ve verimli çalışması sağlanabilir.

IV. KAYNAKLAR

- [1]. AYYILDIZ, M., GÖLOĞLU, C., Hasarlı kalıp elemanlarının tamiri için tersine mühendislik destekli bir çerçeve çalışması, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, IATS, Karabük, Mayıs 13-15, 1437-1441, 2009.
- [2]. BERBERCUMA, G., Üç boyutlu tarayıcılar ile veri toplanması ve cad ortamına değişik formatlarda aktarılması, Yüksek Lisans Tezi, GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [3]. AVCIL, Ö.A., 2006, Dişli çarkların standartlara göre hesaplanması ve bilgisayar destekli tasarımla kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4]. REYES, O., REBOLLEDO, A., SANCHEZ, G., Algorithm to describe the ideal spur gear profile, Proceedings of the World Congress on Engineering Vol. II WCE, London, U.K., July 2-4, 2008.
- [5]. NORDIANA, J.O., OGBEIDO, S.O., EHIGIAMUSOE, N.N., ANYASI, F.I., Computer aided design of a spur gear, Journal of Engineering and Applied Sciences 2 (12), 1743-1747, 2007.
- [6]. ROSIĆ, B., Design and simulation of meshing of internal involute spur gears with pinion cutters, Facta Universitatis Series: Mechanical Engineering Vol.1, No 9, pp. 1193-1198, 2002
- [7]. ZEYVELİ, M., SARUHAN, H., GÖLOĞLU, C., Dişli kutularında parametrelerin hacim ve mukavemete etkilerinin araştırılması, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 24 (1-2) 315- 333, 2008.
- [8]. SÖNMEZLER, H., Bilgisayar destekli tasarım programlarında dişli tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 2006.
- [9]. ÖZKAN, M.T. VE GÜLESİN, M., Uzman sistem yaklaşımı ile civata ve dişli çark seçimi, Türk J. Engin. Environ. Sci., Cilt 25, 169-177, 2001.
- [10]. KARPAT, F., ÇAVDAR, K., BABALIK, F.C., Bilgisayar yardımıyla düz, helisel, konik ve sonsuz vida dişli mekanizmalarının boyutlandırılması ve analizi, Mühendis ve Makine Dergisi, 2002.
- [11]. ÖZDEMİR, U., Dişli kutusunun parametrik tasarımında; dönme yönü, güç ve helis açısı değişiminin millerdeki eğilme momentine etkisinin istatistiksel analizi, Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi, Cilt 2 Sayı 2 (15-25), 2005.
- [12]. ÇİÇEK, A., Dişlilerin uzman sistem tabanlı tanımlanması ve detaylı boyutlarının çıkarılması, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, Ankara, Cilt 23, No 3, 709-717, 2008.
- [13]. SolidWorks 2007, Teknolojik Yazılımlar, Büyükdere Cad, Stad Han 85, Mecidiyeköy, İstanbul, 2008.
- [14]. YANG, Z., CHEN, Y., A reverse engineering method based on haptic volume removing, Computer-Aided Design 37, 45-54, 2005.
- [15]. YE, X., LIU, H., CHEN, L., CHEN, Z., PAN, X., SANYUAN Z., Reverse innovative design—an integrated product design methodology, Computer-Aided Design, 40: 812-827, 2008.
- [16]. BAGCI, E., Reverse engineering applications for recovery of broken or worn parts and re-manufacturing: Three case studies, Advances in Engineering Software 40, 407-418, 2009.
- [17]. BARBERO, R., The recovery of design intent in reverse engineering problems, Computers & Industrial Engineering 56 1265-1275, 2009.
- [18]. Rhinoceros 3.0, “Rhino görsel programı”, www.rhino.com, 2008.