



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Hasarlı Dişlilerin Tersine Mühendislik Yaklaşımıyla Yeniden Oluşturulması

İsmail ŞAHİN<sup>a,\*</sup>, Tolgahan ŞAHİN<sup>a</sup>, Harun GÖKÇE<sup>b</sup>, Oğulcan EREN<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

<sup>b</sup> TUBİTAK Savunma Sanayii Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü, Aerodinamik Birimi, Ankara, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: isahin@gazi.edu.tr

### ÖZET

Tasarıma yardımcı yazılım teknolojilerinin ilerlemiş olması önemli kolaylıklar sağlamasına rağmen, özellikle karmaşık şekilli parçaların tekrar tasarımında yaşanan güçlükleri ortadan kaldırmamaktadır. Örneğin, helis dişlilerde diş profillerinin oluşturulması önemli güçlüklerle sahiptir. Tersine mühendislik yaklaşımları bu noktada önemli kolaylıklar sağlamaktadır. Bu tür parçalarda tersine mühendislik yaklaşımlarının kullanılması özellikle hasarlı dişlilerin tekrar imal edilmesi sürecinde büyük bir kolaylığa sebep olacaktır. Bu çalışmada tersine mühendisliğin zaman ve karmaşık profilleri oluşturmada sunduğu imkânlar hasarlı helis dişlilerin yeniden oluşturulmasında kullanılmıştır. Makine elemanlarının hızlı prototipleme yöntemleri ile üretilmesi ise ürün geliştirme süreçlerinde yaşanan problemlere çözüm getirmede önemli fırsatlar sunmaktadır. Hızlı prototiplemenin bu özelliğinden yararlanmak için 3B yazıcı aracılığı ile helis dişlinin hızlı prototipi oluşturulmuştur. 3B yazıcı ile üretilen dişli ile orijinal dişli arasında boyutsal karşılaştırmalar yapılarak elde edilen ürünün doğruluğu test edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Helis dişli, Tersine Mühendislik, Bilgisayar Destekli Tasarım, Hızlı Prototipleme

## Reconstruction of Damaged Gears Using Reverse Engineering Approach

### ABSTRACT

Despite the fact that the design improves the utility of software technologies, especially the complex shape of the parts does not remove difficulties in re-design. For example, the creation of tooth profiles in helical gears has some difficulties. Reverse engineering approaches provide significant benefits at this point. The use of reverse engineering approaches in such parts will result in a great deal of ease, especially in the case of repaired or damaged gear. In this study, the opportunities for reverse engineering to create time and complex profiles will be used in the design of damaged helical gears. The production of machine elements with rapid prototyping methods presents important opportunities to solve the problems experienced in product development processes. Rapid prototypes of helical gear is created via 3D printers to take advantage of this feature of rapid prototyping. In this context, a software that can make parametric design by means of the data obtained by the reverse

engineering approach has been developed. The accuracy of the product is tested by dimensional comparison between the gear produced by the 3D printer and the original gear.

*Keywords: Helical Gear, Reverse Engineering, Computer Aided Design, Rapid Prototyping*

## I. GİRİŞ

**M**ühendislik, sistemleri, bileşenleri, materyalleri, süreçleri, çözümleri keşfetmek, geliştirmek, tasarlamak, araştırmak, inşa etmek ve geliştirmek için matematik ve bilimsel, ekonomik, sosyal ve pratik bilgilerin uygulanmasıdır. Bir uygulama alanı olarak mühendisliği iki ana başlıkta incelemek mümkündür: İleriye (forward) mühendislik ve tersine (reverse) mühendislik. Klasik mühendislik faaliyetlerini ileriye mühendislik başlığı altında inceleyebiliriz. Klasik mühendislik faaliyetlerinin ardıllığı, mühendislik süreçlerinin bir kısmında eksiklik ortaya çıkmasına neden olabilir. Bu gibi durumlarda parçanın kendisinden hareket ederek geriye gitme işlemi, süreci geriye yürütme işlemi yapılır. Ürünün başlangıç aşamasındaki bilgisayar destekli tasarım modeli elde edilebilir. Bu işlemlere Tersine mühendislik denir [1]. Geri mühendislik (Back Engineering) olarak da adlandırılan tersine mühendislik (Reverse Engineering), insanın yapmış olduğu ve yeniden ürettiği veya çıkarılmış bilgiye dayanan herhangi bir şeyi yeniden üreten herhangi bir bilgiden bilgi veya tasarım bilgisi çıkarman sürecidir. [2].

Tersine mühendislikte amaç, ortada hiçbir BDT model yok iken, bir nesnenin gelecek çalışmalarda kullanılmak üzere başarılı bir şekilde 3B BDT modelini oluşturmaktır. Hızlı prototipleme (Rapid Prototyping), tersine mühendislik faaliyetlerinin tamamlayıcı unsurudur. Hızlı prototipleme, üç boyutlu BDT verileriyle fiziksel bir parçanın veya montajın modelini hızla üretmek için kullanılan tekniktir. Tersine mühendislik ve hızlı prototipleme süreçleri tasarım ve imalat süreçlerinde son yıllarda ilgi çeken bir çalışma alanı olmuştur. Ye ve arkadaşlarının taranmış veriden unsur tabanlı parametrik katı modellerin tanımlanması ve oluşturulmasını ele alan bir çalışma yapmışlardır [3]. Çalışmada taranmış verilerden katı model tasarım değişiklikleri ve güncellemeler için unsur verileri oluşturulmuştur. Hisao ve Chuang'ın çalışmasında poliüretan veya polistren köpükle 3B'lu modeli oluşturulan ürünün yüzeyindeki veri noktaları temassız bir 3B tarama cihazı kullanılarak ölçülmüş, daha sonra ürünün 30 kesiti için nokta bulutları ölçülen bilgilere dayanarak elde edilmiştir [4]. Yang ve Chen'in çalışması nokta bulutlarını kullanmada serbest elle sayısallaştırmayı temel alması yönü ile diğer çalışmalardan farklılaşır [5]. Bunun için bir sayısallaştırıcı kullanılmıştır. Yöntemde ara temsil olarak nokta bulutu verisi kullanılmadığı için nokta bulutu birleştirme gibi zaman alıcı ön işlemler bulunmamaktadır. Mevcut sayısallaştırıcıları kullanarak farklı görünümünden sayısallaştırılmış nokta bulutlarını birleştirme gereksinimini ortadan kaldırmıştır. Bu yönü ile diğer çalışmalardan ayrılmaktadır.

Budak ve arkadaşları veri noktası ön işleme için bir program sistemi geliştirmiştir. Çalışmanın temel hedefi standart CAD araçlarıyla çok zor veya hatta imkansız olan şekilleri kolayca modelleyebilen bir yazılım geliştirmektir [6]. Veri ön işleme için geliştirilen program sistemi, gürültü filtreleme, veri yumuşatma ve veri azaltma için bilinen yöntemlere dayanarak gerçekleştirilmiştir. Soković ve Kopac çalışmalarında özellikle 3B-BDT desteği olmayan parçaların mevcut olması durumunda, üretim yönteminde tersine mühendislik yöntemleri ve tekniklerinden faydalanmanın bazı olasılıkları ve yararlarını ele almışlardır [7]. Ayyıldız, çalışmalarında hasarlı kalıp elemanlarının tamiri ve imali için tersine mühendislik yaklaşımını ele almıştır [8, 9]. Sistem, hasarlı kalıp elemanlarının Tersine

Mühendislik yaklaşımı ile ürün bilgisini toplama ve yeniden imalini temel alır. Tam ve Cham ise bir tersine mühendislik yaklaşımı ile termoform kalıp tasarımı yapmışlardır [10]. Çalışmada, kalıplanacak ürünün yüzeyini sayısallaştırmak için araştırmacılar tarafından geliştirilen bir sayısallaştırıcı cihaz kullanılmıştır. Çiçek'in yaklaşımı ise düz ve helis dişli çarkları bilgisayar destekli tasarım modellerinden yola çıkarak tanımlanması esasına dayanır [11]. Çalışmada STEP formatındaki BDT modelinin fiziksel dosyası karşılaştırılarak düz ve helis dişliler uzman sistem tarafından tanımlanmıştır. Matta ve arkadaşları CAD / CAM, RP&M (Hızlı Prototipleme ve İmalat) sistemleri ile ilgili son araştırmaların kapsamlı bir incelemesini sunmuşlardır [12]. Paul ve Anand mevcut STL dosya formatındaki parçaların yüzeylerini yaklaştırmak için kullanılan üçgen yöntemlerinin parça gösteriminde eklemeli imalat süreçleri aşamasında ortaya çıkan hataları ortadan kaldırmaya yönelik yeni bir yaklaşım önermiştir [13]. Yaklaşım, yalnızca parça yüzeylerini yakınlaştırmakla kalmayıp aynı zamanda dilimlerin oluşturulması için düzlemsel üçgenler yerine kavisli Steiner yamalar kullanan yeni bir dosta formatı önermektedir. Çetinel'in tersine mühendislik yaklaşımı bir nesnenin üç boyutlu modelini oluşturabilmek için fotogrametri yöntemini kullanmayı içermektedir [14].

Makine elemanlarının tersine mühendislik yaklaşımı ile modellenmesi ve hızlı prototiplerinin oluşturulmasına yönelik çalışmaların yanında dişli çarkların parametrik tasarımını gerçekleştirmek amacıyla yapılan yazılımsal çalışmalar da literatürde dikkat çekmektedir [15-19]. Bu çalışmalar dişli çarkların geliştirilen yazılımlarla otomatik olarak oluşturulması ve optimizasyonunu kapsamaktadır. Bu çalışmanın amacı tersine mühendislik yaklaşımı ile elde edilen 3B'lu model verilerini kullanarak hasarlı dişlilerin yeniden oluşturmaktır. Helis dişlilerin tersine mühendislik yaklaşımı ile 3B'lu modellerini oluşturmaya yönelik çalışmalarda nokta bulutu verilerinin koordinat ölçüm cihazları (CMM) vasıtası ile edildiği görülmektedir. Burada tanıtılan çalışmada ise tarayıcılar aracılığı ile elde edilen nokta bulutları kullanılmaktadır. Böylece daha fazla sayıda veri kullanmak mümkün olmuştur. Çalışmada, modeli oluşturulan helis dişli çarkın hızlı prototipi oluşturulmuş, orijinal dişli ile geometrik tutarlılığı kontrol edilmiştir.

## II. HASARLI DIŞLİ ÇARKİNTERSİNE MÜHENDİSLİK YÖNTEMİ İLE OLUŞTURULMASI

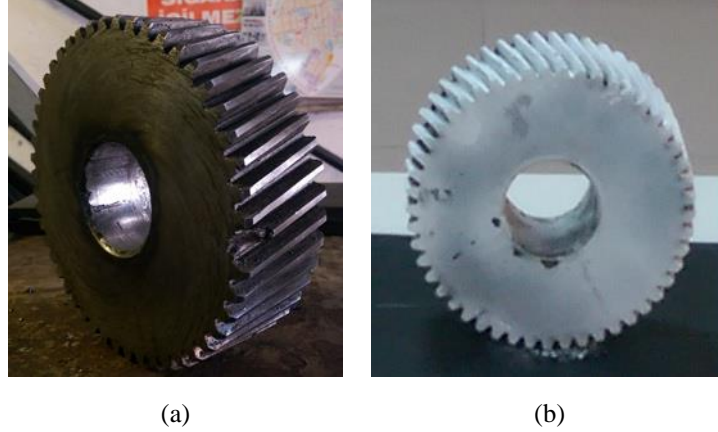
Çalışmada şanzıman mekanizmasında kullanılan bir helis dişlinin, çalışma sürecinde maruz kaldığı yükler dolayısıyla deforme olan diş profilinin tadilatı için gerekli olan 3B (üç boyutlu) modelinin tersine mühendislik yazılımı ile elde edilmesi anlatılmaktadır. Çalışmada tersine mühendislik yaklaşımıyla modellenen dişlinin helis yönü sol, diş sayısı 49, genişliği 54,98 mm olarak ölçülmüştür.

### *A. TARAMA VERİLERİNİN OLUŞTURULMASI*

Çalışmada hasarlı dişliye ait veriler 3B tarayıcı yardımıyla alınmıştır. Hasarlı dişlinin taranmasında kullanılan tarayıcı 30 mm küçük, 1500 mm büyük görüş alanına sahip, minyatür projeksiyon tekniği ile çalışan, LED ışık kaynaklı (kırmızı, mavi, beyaz ve yeşil), 0.8 ila 8.0 mega piksel arasında değişen beş farklı çözünürlüğe göre ayarlanabilmektedir. Pozlama süresi 1 sn'den küçük olan tarayıcı BRE, STL, PLY ve VRML veri formatlarını desteklemektedir.

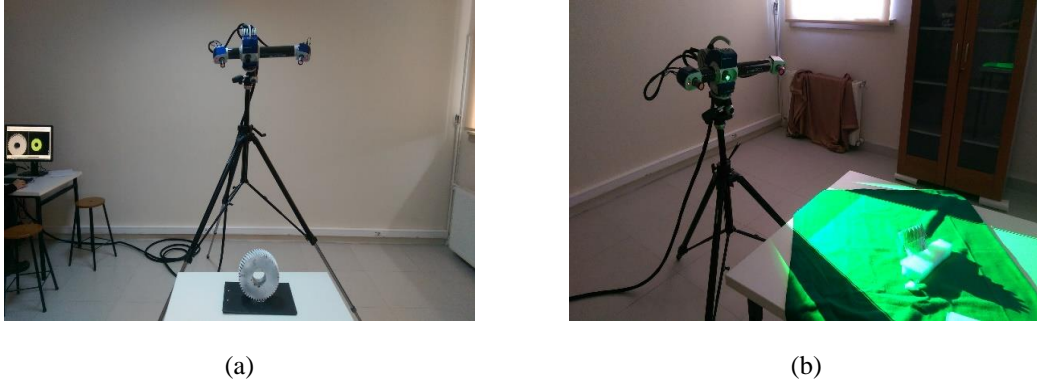
Hasarlı helis dişlinin hassas bir şekilde bilgisayar ortamında modelini oluşturabilmek için parçanın en ince detayına kadar görüntüsünü almak gerekmektedir. Metal parçaların taranması sırasında oluşan

yansımalar parçanın bazı bölgelerinde eksik veri oluşumuna yol açabilir. Bunu önlemek için bu tür parçalarda yansımaya önleyici sprej kullanılarak parça boyama işlemi yapılır (Şekil 1-b).



**Şekil 1. (a) Çalışmada kullanılacak hasarlı helis dişli (b) Sprej ile boyanmış hali**

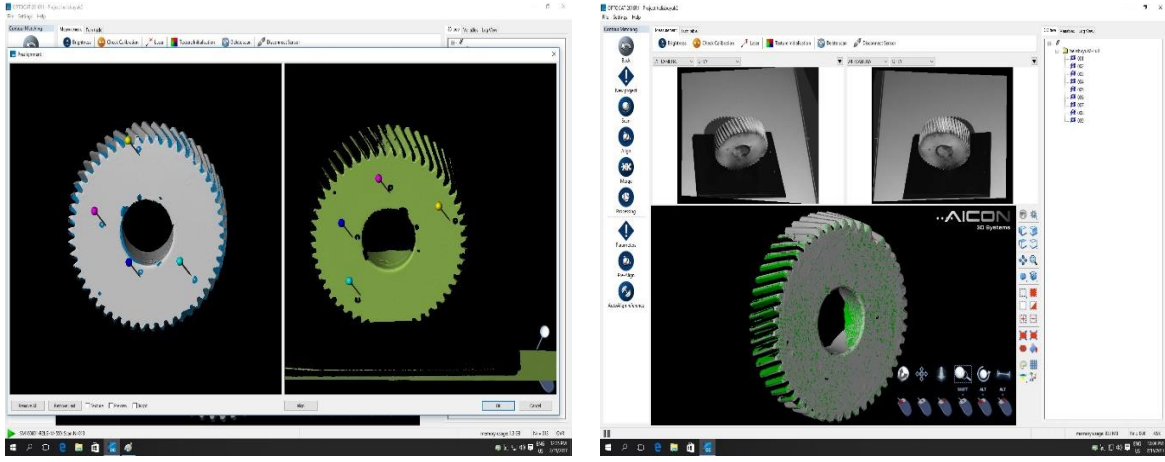
Sprej ile boyanan hasarlı dişlinin görüntülerini eşleştirmeyi kolaylaştırmak için dişlinin her iki yüzeyine markerlar yapıştırılmıştır. Tarama işlemi AICON Smart Scan marka tarayıcı ile yapılmıştır (Şekil 2).



**Şekil 2. Tarama işleminden görüntüler**

Parça tarama işleminde ilk görüntü alındıktan sonra parça yaklaşık 15-20 derece döndürülerek bir sonraki görüntü alınmıştır. Alınan iki görüntü bilgisayar ortamında eşleştirilerek tek görüntü elde edilmiştir (Şekil 4). Bu işlem başlangıç noktasına gelene kadar her alınan görüntü elde edilen birleştirilmiş görüntü ile örtüştürülerek işleme devam edilmiştir. Aynı işlem diğer yüzeyler için de yapılmıştır. Bu şekilde toplam 20 adet görüntü alınmıştır. Alınan görüntü bir önceki görüntü ile en az 3 noktadan eşleştirilerek elde edilmiştir.

Tarama işlemini tamamladıktan sonra tarayıcının göremediği boşluklar program tarafından en küçük boşluktan başlayarak doldurulmuştur. Doldurma işlemi tamamlandıktan sonra görüntü STL formatında kaydedilmiştir.



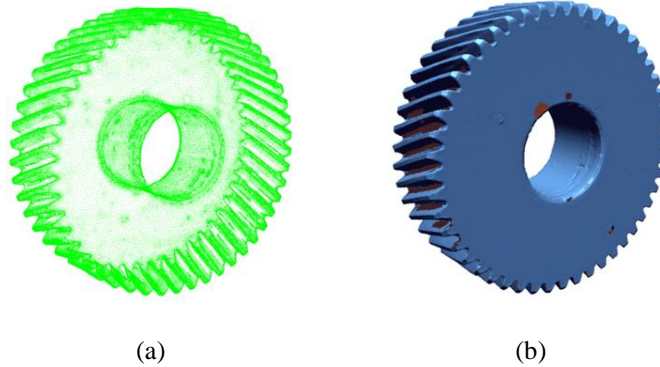
(a)

(b)

*Şekil 3. İki ayrı görüntünün markerlar yardımı ile eşleştirilmesi*

### **B. HASARLI DİŞ PROFİLİNİN YENİDEN OLUŞTURULMASI**

Bu bölümde helis dişlinin, çalışma sürecinde maruz kaldığı yükler dolayısıyla deforme olan diş profilinin tadilatı için gerekli olan 3B (üç boyutlu) modelinin tersine mühendislik yazılımı ile elde edilmesi anlatılmaktadır. Hasarlı diş profilinin tadilatı ve modelin tekrar oluşturulması ile ilgili işlemler için Geomagic Design X yazılımı kullanılmıştır. AICON Smart Scan tarayıcı ile taranıp tarayıcı yazılımında oluşturulan helis dişli çarka ait koordinat bilgilerini içeren nokta bulutu Geomagic Design yazılımında açılarak üzerinde gerekli işlemler yapılmaktadır. Geomagic Design X yazılımı içerisinde alınan nokta bulutu verisi StereoLithography (STL) formatındadır. Hasarlı dişli üzerinden elde edilen nokta sayısı 230077 adettir (Şekil 4 (a)). Nokta bulutu üzerinden tekrar modelleme yapılabilmesi için noktalar arasında ağ model oluşturulmalıdır. Bunun için Mesh Building Wizard yardımı ile ağ boyutları ve noktalar arasındaki en yüksek ve en düşük uzunluk bilgisine göre ağ model oluşturulur. Ağ yapısı, en büyük ağ boyutu 2,5mm ve noktalar arası en fazla uzaklığı 0,1mm olacak şekilde hazırlanmıştır.



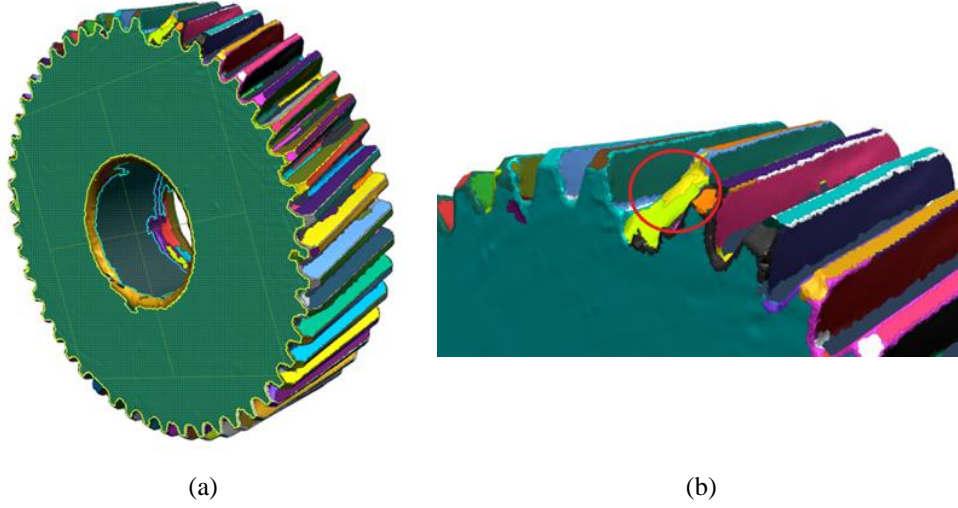
(a)

(b)

*Şekil 4. Hasarlı dişli: (a) nokta bulutu verisi (b) ağ modeli*

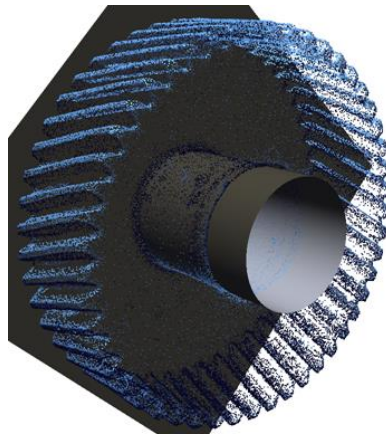
Büyük çaplı dişli çarkların tekrar üretimindeki maliyetlerin yüksek oluşu, tadilat işlemlerinin daha uygun olduğunu ve mevcut dişli çarkın maksimum ömürde kullanılmasına katkı sağladığını ortaya koymaktadır. Ağ modeli, noktaların birbirleri ile uzaklık değişimleri dikkate alınarak eğrisellik ve yarıçap dönüşümlerine göre bölgelere ayrılır. Bölgelerin ayrıştırılmasının nedeni, parça üzerindeki

pah, yarıçap, düzlem veya eğrisel formların tespit edilerek, bu bölgelerin buna uygun olacak şekilde modellenmesidir. Şekil 5 (a)' da Geomagic Design X yazılımının izin verdiği yoğunluk değişkeni %20 olacak şekilde ayrıştırılan bölge taraması verilmiştir. Bu hesaplama süresini belirleyen en önemli değişkenler, bilgisayar işlemci kapasitesi ve ağ yapısı boyut ve düzenidir. Bölgelerin ayrıştırılmasının ardından helis dişlinin çalışma ekseninin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun nedeni, Şekil 5 (b)'de gösterilen hasarlı diş profilinin diğer diş profillerinden elde edilmesi ve çalışma ekseninde döndürülerek, hasarlı diş üzerine pozisyonlanabilmesidir.



*Şekil 5. (a) Bölgelere ayrılan ağ modeli (b) Hasarlı diş profilinin ağ modeli*

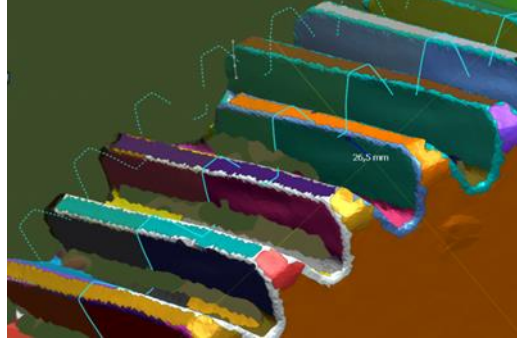
Bölge tanımlaması ile parça üzerinde düzlem ve silindirik yapıların ayrıştırılması sağlanmıştı. Belirlenen bu form yapılarından yararlanılarak, parçanın yan yüzeyine düzlem ve ortasına bir silindirik yüzey oluşturulur. Bunun için Surface Primitives komutundan ilgili bölge ve oluşturulmak istenen form yapısı seçilir. Şekil 6'da helis dişli dönme merkezine oluşturulan silindirik ve düzlem yüzey gösterilmiştir.



*Şekil 6. Helis dişli çalışma ekseninin belirlenmesi*

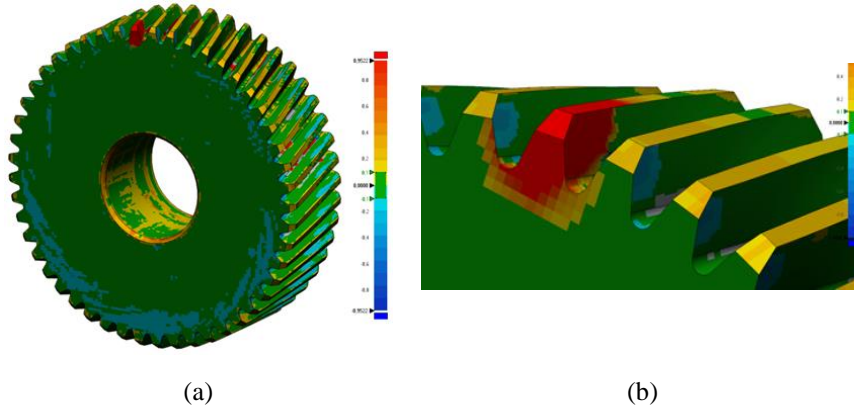
Bölge ayrıştırılması ile oluşturulan yüzey model geliştirilme çalışması hasarlı olmayan bir diş profili içinde gerçekleştirilir. Ancak diş profilinin helis olmasından dolayı form yapısında eğrisellik vardır. Bu eğrisel form yapısının elde edilmesi için ağ model üzerinde belirli mesafe aralıklarında kesitler oluşturulur. Şekil 7'de elde edilen kesit profilleri gösterilmiştir. Diş formu için elde edilen 2B (iki

boyutlu) kesit çizgileri kullanılarak aralarından geçen formlu yüzey modeli elde edilir. Oluşan yüzeyler arasında gerekli kesme ve birleştirme operasyonları yapılarak sağlam bir diş profili elde edilir.



*Şekil 7. Diş profilinin elde edilmesi*

Elde edilen 3B helis diş profili ile nokta bulutu verisi arasındaki sapma miktarının minimize edilmesi çok önemlidir. Bunun için bölge tanımlamaları ile elde ettiğimiz tüm yüzeyler için (Deviation Analysis) sapma analizinin yapılması gerekmektedir. Sapma analizi parça boyutu, çalışma hassasiyeti ve bölgesel kararlılık değişkenleri dikkate alınarak incelenir. Bu helis dişli çark için izin verilen en yüksek sapma miktarı 0.05 mm'dir. Bu nedenle oluşturulan her yüzeyde bu analiz kontrolü yapılmıştır. Hasarlı diş profilinin olduğu bölge, en yüksek sapmanın olduğu hacimdir. Şekil 8'de ilgili hasar bölgesi gösterilmiştir.



*Şekil 8. (a) Sapma analizi sonucu (b) hasarlı diş profili*

Aşağıda hasarlı diş profili ve elde edilen 3B modeli gösterilmiştir (Şekil 9). Hasarlı bölgenin tadilatı için ihtiyaç duyulan model elde edilmesi ile ihtiyaç duyulan imalat çalışmaları başlanabilir

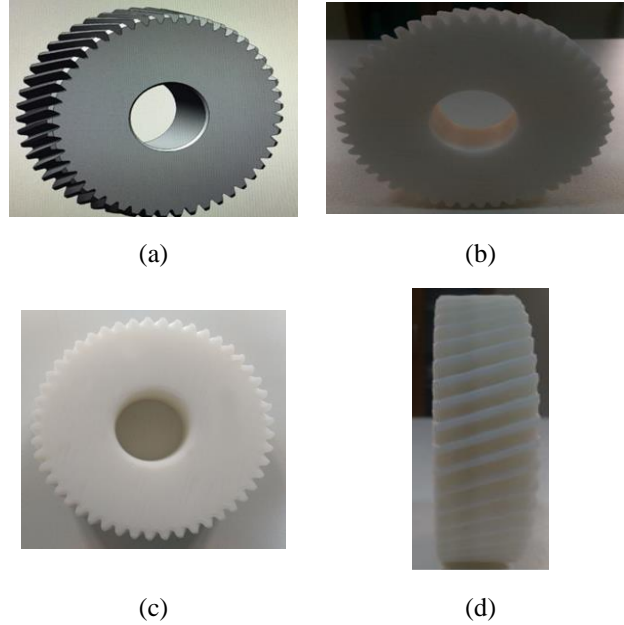


*Şekil 9. (a) Hasarlı diş profili (b) Onarılmış dişli profili*

### C. DİŞLİNİN 3B HIZLI PROTOTİPİNİN OLUŞTURULMASI

3B modeli oluşturulan hasarlı helis dişlinin hızlı prototipi 3Dison Pro marka yazıcı kullanılarak oluşturulmuştur. Yazıcı ABS, PLA, Naylon, Esnek plastik, HIPS, PVA ve Isıya dayanıklı PLA malzemelerini yazdırma özelliğine sahiptir. Yazıcının maksimum yapı boyutu 290-205-250 mm'dir. Windows, Mac OS X işletim sistemine uyumludur. Yazıcı baskı hızı 40 mm/dk – 1000 mm/dk arındadır. Helis dişli yazdırma parametreleri; nozul çapı 0,40 mm, katman kalınlığı 0.250 mm, tabla sıcaklığı 110°C, nozul sıcaklığı 245°C ve doluluk oranı %25 olarak ayarlanmıştır. Destek malzemesi kullanılmamıştır.

Yazdırma işlemi 1:1 ve 1:2 ölçekli prototip olarak yapılmıştır. Prototip 1:1 ve 1:2 ölçekli yazdırıldığı zaman malzeme ve baskı süresinin doğru orantılı olup olmadığı gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra ölçüsel sapmalarda doğru orantı olup olmadığına da bakılmıştır. Yazdırma işlemi 1:2 ölçekli prototip için 5 saat 52 dakika, 1:1 ölçekli prototip için 32 Saat 3 dakikada tamamlanmıştır. Yazdırma işleminde 1:2 ölçekli prototip için 27260.8 mm, 1:1 Ölçekli prototip için 183274,5 mm ABS filament kullanılarak helis dişli oluşturulmuştur. Hacim olarak 1:1 ölçekli prototip 5336,8  $cm^3$ , 1:2 ölçekli prototip 667,35  $cm^3$  hesaplanmıştır. Baskı ölçeği ile malzeme sarfiyatı ve baskı zamanı arasında bir paralellik olmadığı gözlenmiştir.



Şekil 10. BDT modeli oluşturulan dişli ve dişli çıktıları

## IV. SONUÇ

Bu çalışmada 3B tarayıcı sistemler aracılığı ile hasarlı bir helis dişlinin taranması, STL formatlı nokta bulutlarının oluşturulması ve nihayet hasarlı bölgenin onarılarak dilinin tekrar oluşturulmasını içeren tersine mühendisliğe dayalı bir hızlı prototipleme uygulaması tanıtılmıştır. Yapılan bu uygulama, diş profili bilinmeyen bir helisel dişli çarkın tersine mühendislik uygulamaları sayesinde diş profillerinin belirlenebildiğini göstermiştir. Helis dişliler gibi diş profillerinin oluşturulmasının güç olduğu parçalarda tersine mühendislik uygulamalarının olumlu sonuç verdiği gösterilmiştir. Bunun yanında,



tersine mühendisliğin farklı mühendislik problemlerine çözümler getirebileceğini, tarihçesini bilmediğimiz sistemlerin bilgilerine kolayca ulaşmaya olanak sağladığı görülmüştür.

Hızlı prototipi oluşturulan helis dişlinin orijinali ile hızlı prototipi arasında yapılan boyutsal karşılaştırmalarda prototip ölçülerinin yazıcı toleransı aralığında ölçüsel tutarlılığa sahip olduğu görülmüştür (Çizelge). Çizelgede numune ile ilgili verilen veriler geleneksel ölçümlerle elde edilmiştir. Ölçüm sonuçları ve hesaplanan veriler helis dişli çarkın prototipinin (1:1) gerçek nesneyi % 99,42 doğrulukta karşıladığını göstermektedir. Bu doğruluk 1:2 ölçekli prototip için % 98,916 olarak belirlenmiştir.

Buradaki sapma 3B yazıcı, malzeme, tabla ısı, BDT modelinin oluşturulma hassasiyeti ve diğer şartlara bağlı olarak değişebilir. Elde edilen değerlerle, eşitlik 1-5'te verilen helis dişli formülleri kullanılarak analitik olarak dişlinin diğer değerleri hesaplanabilir. Bu hesaplamalar sonucunda dişlinin normal modülü ( $M_n$ ) 3,5 olarak hesaplanmıştır. Hesaplama sonucunda görünen adım ( $M_t$ ) 3.64, bölüm dairesi çapı ( $d$ ) 178,36 mm, diş dibi çapı ( $d_f$ ) 170,08 mm olarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 1.** 3B yazıcıdan alınan çıktılar ve hasarlı dişli arasındaki boyutsal karşılaştırma

Ölçülen değerler	Numune	Prototip (1:1)	Prototip (1:2)	1:1 Sapma (%)	1:2 Sapma (%)
Göbek çapı (mm)	59,7	59,2 mm	29,6 mm	0,84	0,837521
Diş Üstü Çapı ( $D_a$ -mm)	185,64 mm	185,67	93,2 mm	0,02	0,40939
Diş yüksekliği ( $h$ )	7,64	7,49 mm	3,7 mm	1,96	3,141361
Dişli genişliği ( $b$ )	54,98 mm	54,92 mm	27,2 mm	0,11	1,054929
Helis açısı ( $\beta$ )	16°	16°	16°	0	0,837521
<b>Ortalama Doğruluk %</b>				<b>%99,42</b>	<b>%98,916</b>

$$h = 2,166 \times M_n \quad (1)$$

$$M_t = \frac{M_n}{\cos \beta} \quad (2)$$

$$d = M_t \times Z \quad (3)$$

$$d_a = d + (2 \times M_n) \quad (4)$$

$$d_f = d_a + (2 \times h) \quad (5)$$

Çalışmada tarayıcılarla elde edilen verilerden yola çıkarak oluşturulan hızlı prototiplerle eksik bilgilere erişilebileceği görülmüştür. Tarama hassasiyeti iyileştirilerek prototip ve fiziksel parça arasındaki doğruluk % 100'e çıkartılabilir. Ayrıca geliştirilecek yazılımlarla tersine mühendislik yaklaşımıyla elde edilen parça verileri parametrik hale getirilebilir.

### **YAYIN ETİĞİ:**

Bu çalışma, II. 3B Baskı Teknolojileri Sempozyumu'nda sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

## V. KAYNAKLAR

- [1] 3D Sayısallaştırma Sistemleri, (27 Aralık 2016). [Online]. Erişim: [http://www.modelleme.8k.com/new\\_page\\_6.htm](http://www.modelleme.8k.com/new_page_6.htm).
- [2] Chikofsky, E.J.; J.H. Cross . "Reverse Engineering and Design Recovery: A Taxonomy in IEEE Software". IEEE Computer Society: 13–17., 1990.
- [3] Xiuzi Ye, Hongzheng Liu, Lei Chen, Zhiyang Chen, Xiang Pan, Sanyuan Zhang, Reverse innovative design—an integrated product design methodology, *ComputerAided Design* 40, 812–827, 2008.
- [4] Shih-Wen Hsiao and Jiun-Chau Chuang, A reverse engineering based approach for product form design, *Design Studies* 24, 155–171, 2003.
- [5] Zhengyi Yang, Yonghua Chen, A reverse engineering method based on haptic volume removing, *Computer-Aided Design*, 37, 45–54, 2005.
- [6] I. Budak, J. Hodolic , M. Sokovic, Development of a programme system for datapoint pre-processing in Reverse Engineering, *Journal of Materials Processing Technology* 162–163, 730–735, 2005.
- [7] M. Sokovic , J. Kopac, RE (reverse engineering) as necessary phase by rapid product development, *Journal of Materials Processing Technology* 175, 398–403, 2006.
- [8] Ayyıldız, M., Hasarlı Makine Elemanlarının Tersine Mühendislikle İle Tasarım ve İmalat İçin Yenilenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [9] Ayyıldız, M., Göloğlu, C., Hasarlı Kalıp Elemanlarının Tamiri İçin Tersine Mühendislik Destekli Bir Çerçeve Çalışması, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Iats, Karabük, Mayıs 13-15, 1437–1441, 2009.
- [10] K.W. Tam, K.W. Chan, Thermoforming mould design using a reverse engineering approach, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 23, 305–314, 2009.
- [11] Çiçek, 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.
- [12] Nitish Kumar, Hemant Kumar, Jagdeep Singh Khurmi, Experimental Investigation of Process Parameters for Rapid Prototyping Technique (Selective Laser Sintering) to Enhance the Part Quality of Prototype by Taguchi Method, *Procedia Technology*, Volume 23, Pages 352-360, 2016.
- [13] Ratnadeep Paul, Sam Anand, A new Steiner patch based file format for Additive Manufacturing processes, *Computer-Aided Design*, Volume 63 , Pages 86-100, 2015.
- [14] Çetinel, M., Tersine Mühendislik İle Üç Boyutlu Cisimlerden Grafik Tasarım İçin Veri Eldesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
- [15] 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.

- [16] Avcıl, Ö.A., Dişli Çarkların Standartlara Göre Hesaplanması ve Bilgisayar Destekli Tasarımla Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [17] Sönmezler, H., Bilgisayar Destekli Tasarım Programlarında Dişli Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [18] Ayyıldız, M., Çiçek A, Kara F., Bilgisayar Destekli Tasarımda Parametrik Dişli Çark Uygulamaları, Gazi Üniversitesi Mühendislik Ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, Ankara, Cilt 25, No 3, 643-651, 2010.
- [19] Nitish Kumar, Hemant Kumar, Jagdeep Singh Khurmi, Experimental Investigation of Process Parameters for Rapid Prototyping Technique (Selective Laser Sintering) to Enhance the Part Quality of Prototype by Taguchi Method, Procedia Technology, Volume 23, Pages 352-360, 2016.