

## ÇAPRAZ KAMALI HADDELEME İŞLEMİNDE TERSİNE MÜHENDİSLİK

**Necip Fazıl YILMAZ\***, **Gönül TANRIÖVER\*\***, **Ali İhsan ÇELİK\*\*\***,  
**Sadık OLGUNER\*\*\*\***

\*[nfyilmaz@gantep.edu.tr](mailto:nfyilmaz@gantep.edu.tr) Gaziantep Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, 27310-Gaziantep,

\*\*[gonultanriover@gmail.com](mailto:gonultanriover@gmail.com) Makine Mühendisi-Gaziantep,

\*\*\*[acelik@adiyaman.edu.tr](mailto:acelik@adiyaman.edu.tr) Adıyaman Üniversitesi Besni MYO, 02300 Besni-Adıyaman,

\*\*\*\*[sadikolguner@hotmail.com](mailto:sadikolguner@hotmail.com) Gazikent Üniversitesi-Gaziantep,

### ÖZET

Çapraz kamalı haddeleme (ÇKH) işlemi, silindirik iş parçalarının düz plaka ya da merdaneler üzerine sabitlenmiş kamalı kalıpların arasında deforme edilerek eksensel simetrik şekil verme işlemidir. Dövme ve haddeleme işlemlerinde meydana gelen mukavemet artışları tek bir işlem yapılarak Çapraz Kamalı Haddeleme ile elde edilmektedir. Diğer yandan nete yakın şekilli imalat yapılabilirdiği için atık malzeme sarfiyatının az olması, üretim kapasitesinin fazla olması, çevre dostu bir üretim yöntemi olması, otomasyon maliyetinin az olması, Çapraz Kamalı Haddeleme yönteminin diğer imalat yöntemlerine göre üstün yanlarını oluşturmaktadır.

Tersine mühendislik ise var olan ürünlerin veya sistemlerin, işlevinin gözlemlenmesi ve çıkarımcı bir akıl yürütme analiziyle söz konusu sistemle aynı işlevi yerine getirebilecek farklı sistemlerin tasarlanması işlemidir. Aynı işleve sahip farklı sistemlerin tasarlanmasının yanı sıra ürünlerin herhangi bir değişikliğe uğramadan birebir kopyalanması da tersine mühendisliğin önemli bir uygulamasıdır. Bu yöntemle son üründen hareketle aynı işlevi yerine getiren yeni bir ürün tasarlanabilir ya da aynı ürünün elde edilebileceği farklı imalat yöntemleri geliştirilebilmektedir. Kopyalanması ya da geliştirilmesi düşünülen ürünün önce koordinatlarının belirlenmesi suretiyle katı modelinin bilgisayar ortamına aktarılması, ürün üzerinde gerekli düzenleme ve geliştirmeler tamamlandıktan sonra üretimin yapılacağı imalat yöntemine karar verilmesi ve gerekiyorsa imalat sırasında kullanılacak kalıpların tasarlanması gerekmektedir.

Bu çalışmada, otomotiv sektöründe kullanılan ve genellikle dövme yöntemiyle elde edilen çift kademeli millerin tersine mühendislik yaklaşımıyla unsur algılamasının yapılması ve bu millerin Çapraz Kamalı Haddeleme yöntemi ile üretilmesini sağlayacak kamalı kalıpların tasarlanması üzerine çalışmalar yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Çapraz Kamalı Haddeleme, Metal Şekillendirme, Tersine Mühendislik

## ABSTRACT

Cross Wedge Rolling (CWR) is a metal processing technology in which a cylindrical billet is plastically deformed into an axisymmetric part by the action of wedge shape dies moving tangentially relative to the workpiece. Strength increment achieved by forging and rolling operations, is also obtained by only one CWR operation. On the other hand, low material requirement, high production rate, environmentally friendly and low automation cost are the advantages of CWR with respect to other manufacturing processes.

The reverse engineering is the process of discovering the technological principles of a device, object or system through analysis of its structure, function and operation. Designing different systems and copying existing products without any major change are the main applications of reverse engineering. Within this method, a new product that has same function with existing one can be designed or different manufacturing processes can be developed to obtain same final product. The existing product is transferred to software system by determining the coordinates and this product is revised and developed on the software system and dies of the product is designed.

In this study, many works had been attempted to design cross wedge rolling dies. Feature recognition and to manufacture double stepped automobile shafts, manufactured generally by forging, has been achieved by reverse engineering approach.

**Keywords:** Cross Wedge Rolling, Metal Forming, Reverse Engineering (RE)

## 1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile birlikte müşteri beklentilerinin ve ürün çeşitliliğinin artması, firmaları ihtiyaca daha fazla cevap verebilecek ürünler geliştirmeye zorlamaktadır. Bu durum var olan ürünlerin daha işlevsel olarak yeniden üretilmesini gerektirmektedir. Daha işlevsel ürünlerin geliştirilmesi, ürünlerin daha karmaşık geometrilere sahip olmasına ve buna bağlı olarak imalat ve kontrol yöntemlerinin değişmesine neden olmaktadır. Bu yüzden son zamanlarda imalat sektöründe, müşteri isteklerine ve önceden kestirilemeyen değişikliklere çok çabuk uyum sağlayabilecek esnek üretim stratejileri ve yöntemleri öne çıkmakta, artan rekabet koşulları ürünlerin en az maliyetle en kısa sürede üretilmesini zorunlu kılmaktadır. Çapraz Kamalı Haddelme işlemi bu konularda sağladığı önemli avantajlarla son zamanlarda öne çıkan imalat yöntemlerinden biri haline gelmiştir [1]. Tersine mühendislik ise ürünlerin kopyalanması, daha işlevsel hale getirilmesi veya model hassasiyetinin geliştirilmesi için faydalanılabilecek önemli bir yaklaşımdır. Tersine mühendislik yaklaşımından faydalanmak işletmelere ürün geliştirme zamanının kısaltılması, verimin artırılması ve üretimin kolaylaştırılması gibi önemli avantajlar sağlamaktadır.

Bu çalışmada ÇKH işleminin ve tersine mühendislik yaklaşımının özellikleri birleştirilerek, otomotiv sektöründe kullanılan ve genellikle dövme yöntemi ile üretilen çift kademeli millerin farklı bir imalat yöntemi ile daha avantajlı şekilde üretilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, halen kullanılmakta olan çift kademeli bir mil alınarak üründen tasarıma doğru gidilmiş ve sonuç olarak bu milin çapraz kamalı haddelme yöntemiyle üretilbileceği gösterilmiştir. Bu durum, yapılan simülasyon çalışmalarıyla da desteklenmiştir.

## 2. ÇAPRAZ KAMALI HADDELEME

Çapraz Kamalı Haddeleme yöntemi, dairesel iş parçalarının kamalı kalıpların arasında şekillendirilmesi esasına dayandığından, iş parçasının kalıpların hareketine bağlı olarak kendi eksenini etrafında dönmesi ve dairesel iş parçası yüzeyinin tamamının kamalı kalıplarla temas etmesi gerekmektedir. Elde edilecek parçanın geometrisi, kalıplar üzerindeki kamaların şekillerine doğrudan bağlıdır. ÇKH işlemi aksenal simetrik parçaların üretiminde ve son işlemi dövme olan işparçalarına ilk şekil verme sırasında da kullanılmaktadır. Geleneksel imalat teknikleri ile karşılaştırıldığında çapraz kamalı haddeleme; talaşlı imalat, dövme, haddeleme gibi tekniklere göre yüksek verim, iyi malzeme, yüksek mukavemet, düşük enerji tüketimi ve kolay otomasyon gibi pek çok avantaja sahiptir [2]. Tüm bu avantajların yanı sıra çapraz kamalı haddeleme işleminin en büyük dezavantajı, kalıp tasarımında yaşanan zorluklardır.

Çapraz kamalı haddeleme kalıbı, malzemeye şekil vermeyi sağlayan tipik bir kamanın kalıp zemini üzerine yerleştirilmesi ile ya da kütükten oyma yöntemiyle elde edilir. Kamalı kalıp kesme, kılavuzlama, gerdirme ve boyutlandırma olmak üzere dört ana bölgeden oluşur [3]. Kesme bölgesi, kamanın işparçasına ilk temas ettiği bölümdür. Kama malzeme içerisine kalınlığı kadar nüfuz eder ve çapraz kamalı haddelemede çok önemli bir parametre olan deformasyon oranı ( $\delta=d_0/d$ ) bu bölgede sağlanmış olur. İşlem sırasında sadece kesme bölgesinde radyal deformasyon gerçekleştirilir. Kesme bölgesinde elde edilen V-şekilli kanalın yüzeyi kılavuzlama bölgesinde daha düzenli hale getirilir. Kılavuzlama bölgesinde işparçası üzerinde önemli bir deformasyon oluşmadığı için yük gereksinimi bu bölgede minimum düzeyde kalmaktadır. Gerdirme bölgesinde ise işlemin en önemli bölümü gerçekleştirilir. Kesme bölgesinde açılan V-şekilli kanal işparçası boyunca genişletilerek parçanın anahatları oluşturulur. Bu bölgedeki gerdirme açısı ( $\beta$ ) ve şekil verme açısı ( $\alpha$ ) kalıp tasarımı açısından büyük önem taşımaktadır. Son bölge olan boyutlandırma bölgesi, işparçasının boyutsal toleransının ve yüzey kalitesinin belirlendiği kısmı oluşturmaktadır. İşparçasının kenarlarında oluşan artık malzeme boyutlandırma bölgesinin sonunda bulunan kenar kesicileri ile üründen ayrılır [4]. Malzemenin mukavemeti, işlemin sıcaklığı, malzeme ile kalıplar arasındaki sürtünme katsayısı, kalıp geometrisi ve kalıpların hareket hızı şekillendirmeyi etkilemektedir. Tasarlanan kalıpların birbiriyle ve iş parçası ile uyum içerisinde çalışabilmesi için tüm bu parametrelerin doğru ve birbiriyle uyumlu olması gerekir. Aksi takdirde, bu tür işlemlerde en çok karşılaşılan kayma, sürüklenme, aksenal eğilme, yalpalama ve malzeme içerisinde çatlakların oluşması gibi sorunlarla karşılaşmaktadır.

ÇKH, son yıllarda başta Çin olmak üzere yaygın bir kullanım alanı bulmuş ve daha sonra Avrupa ve Amerika'da bilimsel çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Özellikle son on yıl içerisinde, farklı imalat teknikleri ile üretilen ürünlerin ÇKH yöntemi ile üretiminde kayda değer şekilde zaman ve maliyet tasarrufu sağlandığı görülmüş ve ÇKH yöntemi ile üretilebilecek parça arayışları hız kazanmıştır. ÇKH işleminin geleneksel imalat yöntemlerine göre pek çok üstün özelliği bulunmasına ve yurt dışında yoğun ilgi görmesine karşın ülkemizde bu konuya ilişkin yeterli çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma, ülkemizdeki bu eksikliği kapatmak adına önem arz etmektedir.

## 3. TERSİNE MÜHENDİSLİK

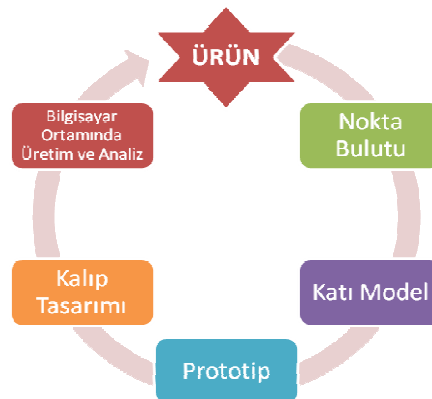
Tersine Mühendislik (TM), bilgisayar teknolojilerinin hızla gelişmesiyle birlikte, var olan parçaların üç boyutlu modellerinin oluşturulmasını, ürünlerin kopyalanmasını veya

geliştirilmesini, yıpranmış veya hasar görmüş parçaların kurtarılmasını sağlayan sistemdir. Bir başka deyişle tersine mühendislik, tasarımdan ürüne değil üründen tasarıma giden bir imalat sürecidir. Tersine Mühendislik sürecinde ürün tasarımına, gerçekte var olan bir modelin şekil bilgisinin elde edilmesi ile başlanır. Seri şekilde imal edilmek istenen ancak sadece numunesi ya da modeli var olan parçaların CAD çizimleri bulunmadığı için parçalar üzerinde herhangi bir tasarım değişikliği yapmak ya da parçaların seri üretimi için kalıp tasarlamak mümkün olmamaktadır. Karmaşık şekilli parçalar üzerinden ölçü alarak CAD çizimleri oluşturmak, çok uzun zaman almakta ve parçanın ölçüleri tam olarak elde edilememektedir. Bu nedenle ürünün geometrik bilgilerinin bilgisayar ortamına aktarılması CMM adı verilen koordinat ölçme makineleriyle ya da lazer tarayıcılar sayesinde mümkün olmaktadır. Böylece ürünün CAD çizimleri tam bir hassasiyetle oluşturulur ve bu çizim üzerinde düzenleme ve tasarım geliştirmeleri yapılır. Tersine Mühendislik, 3 Boyutlu (3B) sayısallaştırma tekniklerini uygulamak suretiyle bir iş parçasına ait nokta bulutu verilerinin toplanmasına ve dolayısıyla CAD modelinin oluşturulmasına imkân tanımaktadır [5]. Ayrıca yeniden yapılandırılacak parça modelinin yüzey kalitesi, başlangıç modelinin üzerinde alınan noktaların sayısına, ölçüm tipine, doğruluğuna ve ölçüm tekniğine (cihazın cinsi vb) bağlı olarak değişmektedir.

Tersine Mühendislik yaklaşımı pek çok çalışmayla literatürde kendisine yer bulmaktadır. Tasarım ve imalat işlemlerini geliştirmek için tersine mühendislik tekniklerinin gerekliliği üzerinde duran pek çok makale bulunmaktadır [6-9]. Üç boyutlu sayısallaştırma sonuçlarının düşük kalitesinden oluşan sorunlara karşı geliştirilmiş programlama çalışmaları mevcuttur [10]. Hsiao ve Chuang [11] ise ürün üzerinden aldıkları nokta bulutları üzerine dört farklı şekil harmanlama yöntemi uygulayarak yeni şekiller oluşturmuş, tasarımcının kısa zamanda model oluşturmasına imkân sağlamışlardır.

#### 4. ÇAPRAZ KAMALI HADDELEME İŞLEMLERİNDE TERSİNE MÜHENDİSLİK

Otomotiv sektöründe kullanılan millerin üretimi genellikle dövme yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Çapraz kamalı haddeleme yönteminin özellikleri incelendiğinde, eksenel simetrik millerin ÇKH yöntemi ile üretilmesinin pek çok avantaj sağladığı görülmektedir. Var olan bir ürünün farklı imalat işlemleri ile yeniden üretilmesi sırasında kavramsal tasarım yerine tersine mühendislik yaklaşımı kullanılması gerekmektedir. Bu çalışmada otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan mil çeşitleri hedef belirlenerek seçilen ürünler çapraz kamalı haddeleme işlemi ve tersine mühendislik yaklaşımı ile elde edilmeye çalışılmıştır. Tersine mühendislik yaklaşımının işlem basamakları Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. Tersine Mühendislik Çalışmalarında İşlem Basamakları

#### 4.1. Nokta Bulutunun Hazırlanması

Nesnelerin üç boyutlu ölçümlerinin yapılması, bu ürünlerin bilgisayar ortamına aktarılıp üzerinde geliştirme, düzenleme yapılabilmesi ve kalite kontrol uygulamaları için vazgeçilmez bir unsurdur. Üç boyutlu sayısallaştırma var olan bir parça ya da modelin kullanılan cihazlar ve programlar aracılığı ile bilgisayar ortamına aktarılmasıdır [12-14]. Tersine mühendislik uygulamalarında ilk adım olan nokta bulutunun elde edilebilmesi için kullanılan koordinat ölçme cihazlarını (Coordinate Measuring Machine/CMM) malzemeye temas ederek sayısallaştırma yapan cihazlar ve malzemeye temas etmeden sayısallaştırma yapan cihazlar olmak üzere iki ana grup altına incelemek mümkündür. Ayrıca temassız sayısallaştırma cihazları kendi içerisinde lazerli ve kameralı olmak üzere ikiye ayrılır. Bu çalışmada, işparçasına temas etmeden sayısallaştırma yapan 3 boyutlu lazer tarayıcı (3D Lazer Scanner) kullanılmıştır. Sayısallaştırma işleminin yapıldığı lazer tarayıcı ve işparçasının resmi Şekil 2 ve Şekil 3'te gösterilmektedir.

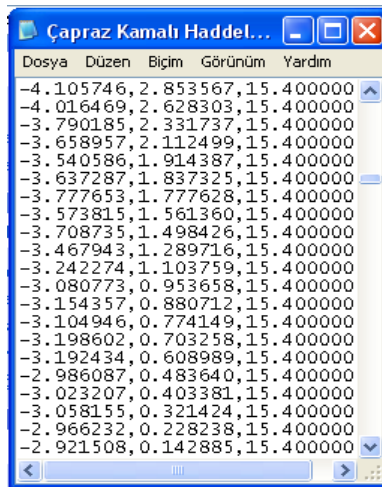


Şekil 2. Lazer Tarayıcı



Şekil 3. İşparçası

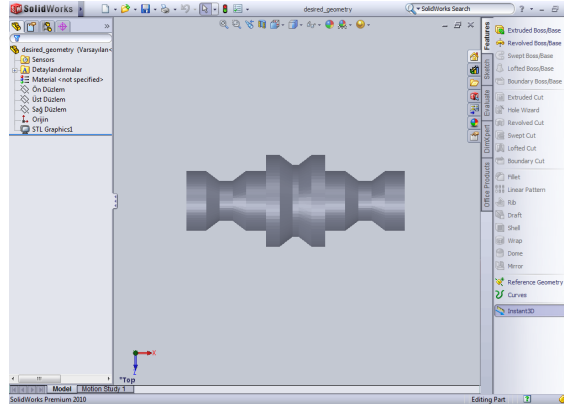
Nokta bulutu, malzeme üzerinde belirlenen bütün noktaların X,Y ve Z koordinatlarının, koordinat ölçme cihazları tarafından bilgisayar ortamında kaydedilmesi ile oluşturulur. ÇKH yöntemi ile üretilecek parçanın 3B lazer tarayıcı kullanılarak elde edilen nokta bulutu koordinat dosyasının bir kısmı Şekil 4'te gösterilmiştir



Şekil 4. Nokta Bulutu Dosyası

## 4.2. Katı Modelleme

Nokta bulutu elde edilen iş parçasının SolidWorks katı modelleme programı tarafından algılanabilmesi için dosya formatı 'STL' uzantısına dönüştürülmüştür. Dönüştürme işlemi tarayıcının sahip olduğu ara yüz programı tarafından gerçekleştirilmiştir. Böylelikle katı modelleme yazılımı aracılığıyla lazer tarayıcıdan elde edilen yüzey üzerinde istenilen değişiklik veya geliştirmeler yapılmıştır. Çapraz kamalı haddeleme işlemi ile üretilcek parçanın SolidWorks programı kullanılarak elde edilen modeli Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5. Katı Model Tasarımı

## 4.3. Prototip Oluşturulması

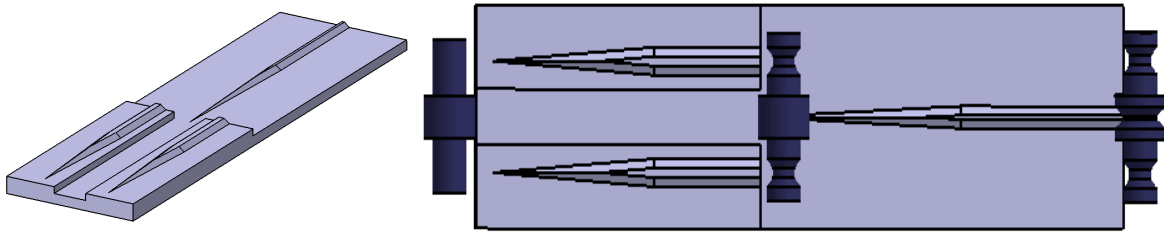
Üretilcek parçanın, hatalarını ve bu hataların doğurabileceği sıkıntıları fark edebilmek ve tasarım sırasında göz ardı edilmiş ancak üretimde sıkıntı oluşturabilecek detayları görebilmek için seri üretime geçmeden önce prototipinin hazırlanması gerekmektedir. Prototip oluşturmak, seri üretimi yapılacak parçaların imalatı sırasında karşılaşılabilecek pek çok sorunun en aza indirgenmesini ve hatalardan kaynaklanacak ek maliyetlerin yok edilmesini sağlayabildiği gibi az sayıda üretimin yapılacağı durumlarda da üreticiyi kalıp maliyetlerinden kurtararak doğrudan üretimle tasarruf sağlayabilmektedir. Bilgisayar ortamında çapraz kamalı haddeleme işlemi ile üretilcek parçanın prototip üretimi Şekil 6'da görülen hızlı prototipleme cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6. Hızlı prototipleme makinesi

#### 4.4. Kalıp Tasarımı

ÇKH yöntemi ile hassas ürünler elde edilebilmesi için, kalıpların doğru şekilde tasarlanması ve başlangıç parçasının en uygun boyut ve geometride seçilmesi gerekmektedir. Kalıp tasarımında yapılacak en küçük hata üretim sürecinde istenilen geometrinin elde edilmesini engelleyecek ve kalıbın yeniden tasarlanmasını gerektirecektir. Çapraz Kamalı Haddelenmede kullanılan alt ve üst kalıpların birbirleriyle ve iş parçasıyla uyum içerisinde hareket etmesi de uç ürün hassasiyeti için büyük önem arz etmektedir. ÇKH kalıplarının tasarımı sırasında dikkat edilmesi gereken pek çok parametrenin varlığı, kalıp tasarımını üretim sürecinin en zor aşaması haline getirmektedir. Sırasıyla nokta bulutu, katı modeli ve prototipi elde edilen iş parçasının Çapraz Kamalı Haddelenmeyle üretilmesini sağlayacak kalıp geometrisi ve iş parçasının kalıp üzerindeki deformasyonu Şekil 7’de gösterilmektedir.

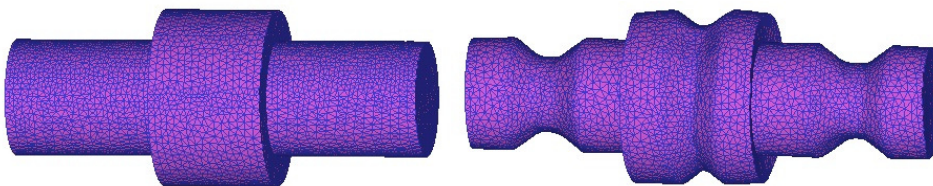


Şekil 7. Kalıp geometrisi ve malzemenin kalıp üzerindeki deformasyonu

Tasarlanan kalıp, üretilcek parçanın 3 adet V-şekilli kanala sahip olması nedeniyle 3 farklı kamadan oluşmaktadır. Ancak bu kamaların tamamının iş parçasını aynı anda deforme etmesi birim zamanda uygulanacak deformasyonu aşırı şekilde artıracak ve kamalardan birinin meydana getirdiği deformasyonun diğer kamaları kayda değer ölçüde etkilediğinden, kalıp 2 ana bölümden oluşacak şekilde tasarlanmıştır. Malzeme üzerinde kenarlarda bulunan kanallar kalıbın ilk bölümünde, ortadaki kanal ise kalıbın ikinci bölümünde oluşturulmaktadır. Ayrıca her bir kama kendi içerisinde kesme, gerdirme ve boyutlandırma olmak üzere 3 bölümden oluşmaktadır.

#### 4.5. Bilgisayar Ortamında Üretim ve Analiz

Çapraz Kamalı Haddelenme işleminin bilgisayar ortamında gerçekleştirilebilmesi için, sonlu elemanlar yöntemi (FEM – Finite Element Method), üst sınır eleman tekniği (UBET – Upper Bound Elemental Technique) gibi metotlar kullanılabilir. Bu çalışmada farklı kalıp geometrileri ve ÇKH parametreleri kullanılarak, sonlu elemanlar yöntemi ile oluşturulan çok sayıda simülasyon gerçekleştirilmiş, çift çekirdekli işlemcisi ve 1GB RAM bulunan bir bilgisayarda her bir simülasyon yaklaşık 6 ile 8 gün arasında sonlanmıştır. Sonlu elemanlar yönteminin kullanıldığı simülasyonlarda plastik deformasyona maruz kalan iş parçasının ilk ve son hali Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8. İş parçasının ÇKH işleminden önceki ve sonraki geometrileri



Simülasyonlar sonucunda ürüne ait deformasyon bilgileri, kalıplara etkiyen yük, parçada ve kalıpta meydana gelen gerilmeler ayrıca incelenmiştir. Elde edilen, yük-kalıp uzunluğu grafikleri yardımıyla kalıbın her bir bölgesindeki gerilme dağılımı ortaya konulmuş ve en uygun kalıp geometrisi parametreleri belirlenmiştir. Ancak yük-kalıp uzunluğu grafikleriyle, kalıp parametrelerinin değerlendirilmesi çok geniş bir yer aldığı ve bu çalışmanın konusu olmadığı için detaylara bu çalışmada yer verilmemiştir.

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada, otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan ve bugüne kadar dövme işlemi ile üretilen aksel simetrik çift kademeli millerin, tersine mühendislik yaklaşımından faydalanarak çapraz kamalı haddeleme yöntemi ile bilgisayar ortamında üretimi gerçekleştirilmiştir. Örnek model, lazer tarayıcı ile nokta bulutu alınarak bilgisayar ortamına aktarılmış, katı modelleme programlarında gerekli düzenlemeler yapılarak hızlı prototipleme cihazıyla parçanın prototipi elde edilmiştir. Üretilen parçanın çapraz kamalı haddeleme kalıpları tasarlanarak, sonlu elemanlar yöntemi aracılığıyla en uygun kalıp parametreleri belirlenmiş ve bilgisayar ortamında üretim sorunsuz bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Varılan bu noktada;

- Tersine mühendislik uygulamasının, çapraz kamalı haddeleme işlemlerinde kullanılabilecek uygun bir yöntem olduğu görülmüştür.
- Otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan aksel simetrik çift kademeli millerin, çapraz kamalı haddeleme işlemi ile sorunsuz bir şekilde üretilebileceği görülmüştür.

Bu çalışma, otomotiv sektöründe kullanılan farklı parçaların çapraz kamalı haddeleme yöntemi ile üretilmesi ve üretilen parçaların hem fonksiyonel olarak hem de mekanik özellikler açısından karşılaştırmasına yönelik olarak devam etmektedir.

## KAYNAKLAR

[1] LI, Q., LOVELL, M., **International Journal Advanced Manufacturing Technolgy**, 37: 265–278, (2008).

[2] YILMAZ, N. F., DERELİ, T., ÇAĞLAR, A. F., Yeni Bir İleri Teknoloji Üretim Metodu: Çapraz Kamalı Haddeleme, **3. Makine Tasarım Ve İmalat Teknolojileri Kongresi**, 77–83, Konya /Türkiye, (2005).

[3] YILMAZ, N. F., BOZGEYİK, A., GÖV, K., Çapraz Kamalı Haddeleme Tezgâhı Tasarım ve İmalatı, **Mühendis ve Makine Dergisi**, Cilt 49, Sayı 577, 7–15, (2008).

[4] TANRIÖVER, G., Computer-Aided Evaluation of Cross Wedge Rolling Parameters, Gaziantep Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konstrüksiyon Ve İmalat Anabilim Dalı Tez Çalışması, (2009).

[5] SMIRNOV, V.S., The deformation process in cross rolling. *Stal* 7(6):511, (1947).



- [6] SOKOVIC, M., KOPAC, J., RE (Reverse Engineering), As Necessary Phase By Rapid Product Development, **Journal of Materials Processing Technology**, 175,398–403, (2006).
- [7] TAM, K., CHAN, K., Thermoforming mould design using a reverse engineering approach, **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, 23, 305–314, (2007).
- [8] AYYILDIZ, M., GÖLOĞLU, G., Hasarlı Kalıp Elemanlarının Onarılması Amaçlı Tersine Mühendislik Destekli Bir Çerçeve Çalışması, Karabük Üniversitesi, **5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (Iats'09)**, Karabük, Türkiye, (13–15 Mayıs 2009).
- [9] AYYILDIZ, M., Tersine Mühendislik, Teknik Rapor, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, (2007).
- [10] BUDAK, I., HODOLIC, J., SOKOVIC, M., Development of a programme system for data-point pre-processing in Reverse Engineering, **Journal of Materials Processing Technology**, 162–163, 730–735, (2005).
- [11] HSIAO, S., CHUANG, J., A reverse engineering based approach for product form design, **Design Studies**, 24(2), (2003).
- [12] HONG-TZONG, Yau, Reverse engineering of engine intake ports by digitization and surface approximation, **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, Volume 37, Issue 6, pp. 855-871, (June 1997).
- [13] ABİGEM, [www.abigem.com.tr](http://www.abigem.com.tr), ABİGEM Teknopark, Tersine Mühendislik, (2008).
- [14] TurkCadCam, [www.turkcadcam.net](http://www.turkcadcam.net), Otomotiv endüstrisinde tersine mühendislik uygulamaları, Ping Fu, RE in Auto Industry, Time Compression Technologies - Europe, (Mart/Nisan 2004).