



## Design, production and novel NC tool path generation of CNC tire mold processing machine

Melih Kuncan<sup>1\*</sup>, Kaplan Kaplan<sup>2</sup>, H. Metin Ertuğç<sup>2</sup>, Selim Küçükateş<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Electrical - Electronic Engineering, Siirt University, Siirt, 56100, Turkey

<sup>2</sup>Department of Mechatronic Engineering, Kocaeli University, Kocaeli, 41580, Turkey

### Highlights:

- CNC tire mold processing machine
- Generating NC tool path
- Pattern and character processing of tire molds

### Keywords:

- CNC machine
- Transfer of patterns and character to 3D surface
- Tire mold processing machine
- Precision machining
- 

### Article Info:

Received: 20.02.2017

Accepted: 12.06.2017

### DOI:

10.17341/gazimmfd.416419

### Acknowledgement:

This work was supported by Republic of Turkey, Ministry of Science, Industry and Technology under the project code 0577.STZ.2013-2.

### Correspondence:

Author: Kaplan Kaplan

e-mail:

kaplan.kaplan@kocaeli.edu.tr

phone: +90 262 303 3098

### Graphical/Tabular Abstract

In this study, a mechanical design, mathematical modeling and software algorithm have been realized for CNC prototype machine. For this aim, a mechanical design and manufacturing of CNC tire mold machine was firstly performed. The main contribution of the study is the development of an original mathematical transformation algorithm that transfer the texts and patterns to 3D complex surfaces with CNC machines. Moreover, an interface for the users is developed based on C # compiler using the outputs from the software algorithm. The NC codes of the algorithm output were tested on the designed prototype machine. Based on the test results, pattern and character processing with the desired precision is carried out successfully.

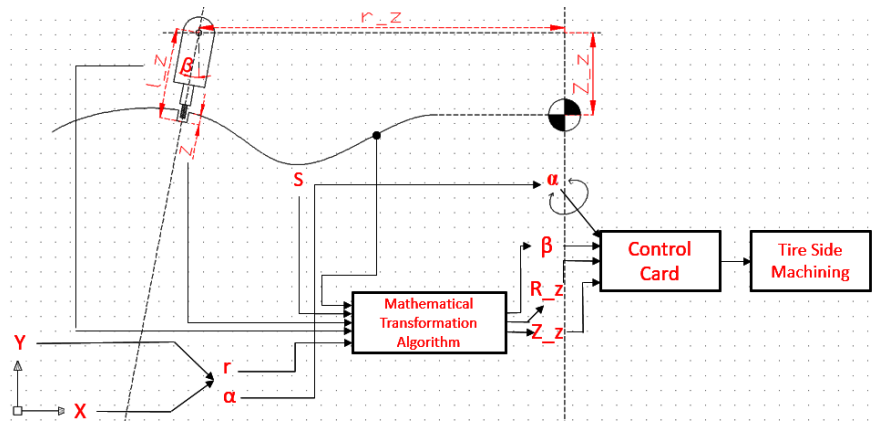


Figure A. General Flow Diagram of the CNC Machine

### Purpose:

This work aims to design of a CNC machine that adequately transfer characters and patterns into a curved tire mold surface.

### Theory and Methods:

This work consists of two main phases, namely, mechanical design and a particular software development.

### Results:

Within the scope of this study, a CNC machine has been manufactured so that it can be used in many different sectors especially tire sector. During patterning in complex geometries, the spindle motor revolution is chosen too high for processing more precisely in small areas. At the same time, the body structure of the prototype machine is made of steel casting construction. An original mathematical transformation algorithm has been developed to transfer characters and patterns to the tire surface in a proper form. An interface for the users was developed based on C # compiler.

### Conclusion:

An innovative and original aspect of this work in mechanical design has emerged as a result of the computer analyzes. By determining the optimal material and design, the suitability of the CNC machine was tested for the operating conditions. A more robust body has been achieved with less deflection, lighter, less vibration structure. In addition, a mathematical transformation algorithm has been developed as another unique aspect of the study. NC file has been reconstructed with the software algorithm according to the curved trajectory plan. The prototype machine was tested on a tire mold and machining of a tire mold pattern and characters have been achieved precisely.



## CNC lastik kalıbı işleme makine tasarımı, imalatı ve özgün NC takım yolu oluşturulması

Melih Kuncan<sup>1</sup>, Kaplan Kaplan<sup>2,\*</sup>, H. Metin Ertunç<sup>2</sup>, Selim Küçükateş<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik- Elektronik Mühendisliği Bölümü, Siirt, 56100, Türkiye

<sup>2</sup>Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, 41380, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- CNC lastik kalıp işleme makinesi
- NC takım yolu oluşturulması
- Lastik kalıplarına desen ve karakter işlenmesi

### Makale Bilgileri

Geliş: 20.02.2017

Kabul: 12.06.2017

### DOI:

10.17341/gazimmfd.416419

### Anahtar Kelimeler:

CNC makine,  
desenlerin 3 boyutlu yüzeye  
aktarılması,  
lastik yanak işleme makinesi,  
hassas işleme

### ÖZET

Bu çalışmada, başta lastik sektörü olmak üzere bir çok sektörde (ayakkabı, medikal protez imalatı, havacılık, otomotiv, kuyumculuk sektörü vb.) kullanılan CNC makine (Computer Numerical Control) prototip üretimi için mekanik tasarım, matematiksel modelleme ve yazılım algoritması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla ilk olarak CNC lastik kalıbı desen makinesinin prototip tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Mekanik tasarım aşamasında yapılan araştırmalar ve gerçekleştirilen analizlerin sonucunda, en uygun tasarım modeli belirlenmiştir. Böylelikle tasarlanan makinenin, lastik kalıp işleme sektörünün haricindeki başka alanlarda da kullanımının mümkün olması amaçlanmıştır. Çalışmanın en önemli katkısı, CNC tezgâhları kullanarak yazı ve desenlerin 3 boyutlu karmaşık yüzeylere aktarılması işlemi için özgün bir matematiksel dönüşüm algoritmasının gerçekleştirilmesidir. Ayrıca yazılım algoritmasında elde edilen çıktılar kullanılarak C# derleyicisi ile kullanıcılar için bir arayüz tasarlanmıştır. Algoritma çıktısı NC kodları tasarlanan prototip makinede test edilmiştir. Prototip makine farklı materyaller (tahta, demir, çelik vb.) ile de test edilmiş ve test sonuçları gözlenmiştir. Test sonuçlarında, istenilen hassasiyette desen ve karakter işleme başarı ile gerçekleştirilmiştir.

## Design, production and novel NC tool path generation of CNC tire mold processing machine

### H I G H L I G H T S

- CNC tire mold processing machine
- Generating NC tool path
- Pattern and character processing of tire molds

### Article Info

Received: 20.02.2017

Accepted: 12.06.2017

### DOI:

10.17341/gazimmfd.416419

### Keywords:

CNC machine,  
transfer of patterns to 3D  
surface,  
tire mold processing  
machine,  
precision machining

### ABSTRACT

In this study, a mechanical design, mathematical modeling and software algorithm have been realized for CNC prototype machine which is mainly used in tire sector and in the others (shoe sole plate and medical prosthetic manufacturing, aviation, automotive, jewelry sector etc.). For this aim, a mechanical design and manufacturing of CNC tire mold machine was firstly performed. The most feasible design model has been determined as a result of the research and analysis carried out for the mechanical design stage. Thus, it is aimed to provide the designed machine to be used in other areas besides tire mold processing sector. The main contribution of the study is the development of an original and mathematical transformation algorithm that transfer the texts and patterns to 3D complex surfaces with CNC machines. Moreover, an interface for the users is developed based on C # compiler using the outputs from the software algorithm. The NC codes of the algorithm output were tested on the designed prototype machine. Then, the prototype machine was tested with different materials (wood, iron, steel etc.) and the test results were observed. Based on the test results, pattern and character processing with the desired precision is carried out successfully.

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: kaplan.kaplan@kocaeli.edu.tr / Tel: +90 262 303 3098

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bilim ve teknolojinin hızlı gelişmesi ile çok sayıda endüstriyel ürün ortaya çıkmış ve beraberinde farklı alanlarda yeniliklere ve yeni uygulamalara ihtiyaç doğmuştur. Başta sanayi uygulamaları olmak üzere, günümüz imalat sektörünün vazgeçilmezi durumundaki CNC tezgâhlar üzerine çalışmalar artmıştır. CNC tezgâhlar, konvansiyonel tezgâhların optimize edilmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Yüksek hassasiyet ve hızlı işlem özelliklerinden dolayı, imalat sektöründe CNC'ler çok yaygın olarak kullanılmaktadırlar [1]. CNC tezgâhlarının en çok kullanıldığı alanlarından birisi de kalıp imalatıdır. Geçmişte, döküm kalıp tasarımı, kalıp tasarımcıları veya teknisyenler tarafından deneme-yanılma yöntemi ile uygulandığından dolayı zor bir işleme süreci gerektirirken; günümüzde ise kalıp döküm imalatında, bilgisayar destekli mühendislik uygulamaları ile bu süreç göreceli olarak kolaylaşmıştır. Böylece kaliteyi artırmak, maliyeti düşürmek, kalıp tasarım sürecini hızlandırmak için simülasyon programların kullanımını yaygın hale gelmiştir. Bunun sonucu olarak, günümüzde kalıp imalatı, hassas CNC makineleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir [2].

Endüstriyel uygulamalarda işlenmek istenen birçok kalıp yüzeyi, düzensiz (karışık) eğrilik yapılarına sahip olduğundan dolayı işlenebilmesi kolay değildir. Yüzeyler üzerindeki karmaşık eğrilik yapılarının artmasıyla, işlem ya da işlenebilirlik süresi de artmaktadır. Diğer taraftan gelişmiş kesme yoluna sahip CNC tezgâhlar kullanılarak, işlem zamanı %85'e kadar azaltılabilmektedir [3]. Kısaca ifade etmek gerekirse, gelişmiş kesme yoluna sahip CNC tezgâhlarının en önemli avantajları; daha iyi yüzey kalitesi, daha az işleme zamanı, düşük kurulum ve işletme maliyetidir [4]. Diğer taraftan; son 30 yıldır araştırmacıların en çok uğraştıkları konuların başında, daha iyi yüzey kalitesi elde edebilmek için kesme yolunun otomatik olarak en iyi şekilde belirlenmesi gelmektedir. Kaliteli ürünler elde etmek için en iyi işleme parametrelerinin seçilmesi ve dış faktörlerden kaynaklı olumsuz etkilerinin en aza indirebilecek parametrelerin belirlenmesi bir başka dikkat edilmesi gereken husustur [5, 6].

Son yıllarda farklı alanlarda kalıp imalatında kullanmak için; 3, 4, 5 eksen gibi çeşitli CNC makinelere olan ihtiyaç artmıştır. Ayrıca talaşlı şekil verme yöntemleri, havacılık sektörü, otomobil sektörü, sanayi, medikal protez sektörü, ayakkabı, lastik, kesici takım vb. kalıp imalatlarında, çok önem kazanmış olup bu uygulamaların birçoğu 5 eksenli CNC tezgâhlar ile mümkün olmaktadır. Yüksek hassas işleme için takım ucunun hatası da önemli bir parametredir. CNC takım ucu üzerinde oluşan hatalar, CNC tezgâhlarının karmaşık yapıları, üretim hatası, montaj hatası veya yarı statik hata sonucu kinematik parametre sapmasından dolayı ortaya çıkmaktadır. Makineler açısız hatalara karşı çok duyarlıdır. Bu tür hatalar sadece takım tezgâhının gerçek kinematik yapısıyla düzgün olarak tanımlanabilmektedir [7]. Mahbubur R. MD. vd. [8] yazdıkları makalede, takım

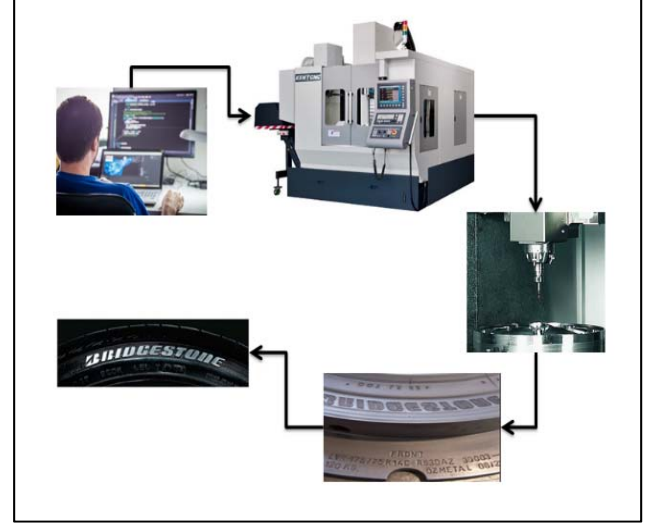
tezgâhı kinematik analizleri üzerine çalışmalarını yayınlamışlardır. Yeni eksen değerlerini sayarak, kesici konum verilerinden gelen hatalı eksenlerin numerik yineleme tekniğini kullanarak, takım ucunu istenen konuma ve yöne konumlandırmanın mümkün olabileceğini rapor etmişlerdir. Bir post-işlemede uyguladıkları yöntemleri sayesinde, kinematik hesaplamaların makinede on-line çalışmayı mümkün kıldıklarını belirtmişlerdir. Liang H. ve Li X. [9] serbest formlu yüzeylerin üretiminde, serbest şekillendirilmiş yüzeylerin beş eksenli işlenmesinde takım yolu planlaması, takım ofseti ve ters kinematik CAM'den CNC'ye aktarılan STEP-NC standardına dayanan yeni bir CNC yapısı önermişlerdir. Yüzey işlemleri için 5 eksenli gerçek zamanlı düzgün olmayan oransal B-spline tabanlı interpolasyon gerçekleştirmişlerdir. Bu teknolojilere dayalı olarak 5 eksenli bir CNC derleyici, görev koordinatörü, eksen grubu, PLC yazılımı içeren yazılım geliştirmişlerdir. CNC yazılım algoritmasını, eğri-döner tipli 5 eksen bir tezgâh üzerinde başarıyla frezeleme uygulaması için gerçekleştirmişlerdir. Lin Z. vd. [10] 5 eksenli işleme için jenerik üniform taraklı takım yolu oluşturma yöntemi sunmuşlardır. Geleneksel yöntemlerin aksine, yerel yüzey geometrisi varsayımlarına dayanan bu yöntemde, kesme simülasyonundan faydalanmışlardır. Kesici temas noktalarını, bir sonraki takım yolunu oluşturmak için birbirine bağlamışlardır. Bu sayede, tüm takım yollarını yinelemeli olarak oluşturmuşlardır. Bu yöntemin bir diğer göze çarpan özelliği ise, yerel yüzey geometrisi varsayımlarından yoksun olması ve bu nedenle elde edilen takım yollarının daha hassas olmasıdır. Önerdikleri yöntemi birkaç serbest formlu yüzey örneğinde test etmişlerdir. Metodun uygulanabilirliğini de kesme deneyi ile doğrulamışlardır. Lin Z. vd. [11] 5 eksenli CNC tezgâhlarda geleneksel olarak noktadan noktaya geçiş yönteminin aksine, örnek iş parçası yüzeyi için kabul edilebilir bir algoritma geliştirdiklerini belirtmişlerdir. Önerilen algoritma; örnekleme ve interpolasyon olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Bu algoritma ile yapılan testler sonucunda, algoritmanın tüm yüzeyi incelerken, nispeten hassas ve etkili olduğunu rapor etmişlerdir. Roth D. vd. [12] kavisli yüzeylerin işlenmesi için 5 eksenli bir takım yolunu izleyen ve bir prop tarafından taranarak yüzeyin şeklini belirleme yöntemi önermişlerdir. Önerilen yöntem kullanılarak, 3 eksenli bir takım yolunun öngörülen sonuçları ve aynı takım yoluyla yapılmış bir parçanın ölçümleri ile 5 eksenli bir takım yolunun analitik sonuçları ve öngörülen sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Sunulan yöntemin uygulanması basit, doğru, hızlı olduğunu; aynı zamanda, 5 eksenli takım hareketleri için de uygulanabilir olduğunu belirtmişlerdir. Fan W. vd. [13]  $G^3$  interpolasyon ve hareket planlama ile  $G01$  yörünge için, gerçek zamanlı takım yolu işleme yöntemini önermişlerdir. Çalışmalarını iki takım yolu üretimi ve hareket planlaması olmak üzere iki aşamadan oluşturmuşlardır. Takım yolu oluşturma aşamasında yüksek etkili algoritma olarak gösterdikleri kuadratik Bezier spline ve çizgi parçaları kullanarak  $G^3$  interpolatif takım yolunu üretmişlerdir. Hareket planlaması aşamasında,  $G^3$  takım yolu için sarsıntısız-kesintisiz ilerleme hızı planlama algoritması

önermişlerdir. Uygulama olarak ticari bir tezgâh üzerinde işlemler yapmışlardır. Uyguladıkları algoritmanın  $G^2$  algoritmasına göre hem takım yolu eğrilik, kontur hataları ve ilerleme hızı dalgalanmasını azalttığını hem de çapraz düzgünlüğü ve işleme verimliliğini artırdığını rapor etmişlerdir.

Daha iyi yüzey kalitesi istendiği ve işlenebilirliğin zor olduğu alanlardan birisi de lastik imalatıdır. Motorlu taşıtların kullanımının yaygınlaşmasıyla, lastik kullanımı ve ihtiyacı çok hızlı bir şekilde arttığı bir gerçektir. Otomotiv sektöründe, daha az yakıt tüketimi, daha emniyetli ve güvenli araçlar üretmenin en önemli parametrelerinden birisi, lastik ve yer arasındaki sürtünmedir. Lastik ve yer arasındaki sürtünmenin minimuma indirilebilmesi, lastik desenine ve parametrelerine bağlıdır. Güvenlik açısından da araçların yol tutuşu ve fren mesafesinin azaltılması hassas lastik deseni işleminin önemini artırmaktadır. Diğer taraftan lastik üzerinde lastiğin modelini, ölçüsünü, üretim tarihini ve yerini belirten bilgilerin bulunması satıcı ve tüketici açısından bir gerekliliktir. Bu bilgilerin okunaklı ve düzgün bir şekilde farklı lastik tipleri için kalıplar üzerine markalama yolu ile işlenmesi de önemli uygulama problemlerinden biridir. Genel olarak, lastik sektöründeki bütün üreticilerin, lastik desen makinesi kullanarak, farklı desenleri kalıpların üzerine işlenmesi gerekmektedir. Kalıpların üzerine bu desenleri işlemek için CNC tezgâhları kullanılmaktadır. Chu C.H. vd. [14] 3D lastik kalıp üretimi için parametrik tasarım sistemi geliştirmişlerdir. Çalışmalarında lastik kalıp tasarımının standartlaştırılması için bir temel oluşturduklarını ve ortaya çıkan yüzey modelini parametrelendirdiklerini belirtmişlerdir. Tasarım esnasında ortaya çıkan istenmeyen oluk geometrilerini algılayan ve daha sonra otomatik olarak düzelten geometrik algoritma seti önermişlerdir. Bu çalışmayı, gerçek kalıp üretimi için entegre bir CAD/CAM sisteminde uygulamışlardır. Yaptıkları test örneklerinde, lastik kalıp gelişiminin kalitesini artırmak ve işlem süresini azaltmak için etkili bir yaklaşım sağladıklarını ve kalıp tasarımının kalitesini arttırdıklarını rapor etmişlerdir. Benzer bir çalışmada, Chen H.C. vd. [15], karmaşık ayakkabı kalıplarının numerik kontrol takım yolu üretimi için bilgisayar destekli süreç planlama sistemini sunmuşlardır. Böyle bir yaklaşımla geleneksel ayakkabı kalıp üretim sürecini, otomatik üretim sürecine dönüştürdüklerini belirtmişlerdir. Otomatik takım yolu üretme ile hızlı üretim ve tutarlı kalite hedefine ulaştıklarını vurgulamışlardır. Ayrıca takım yolu düzenleme, programlama ve işleme süresini azaltmak için hem de verimliliği artırmak için önerdikleri algoritmanın başarıyla çalıştığını rapor etmişlerdir.

Bu çalışmada, ilk kısımda, çalışma konusu hakkında literatür araştırması ve CNC makineleri için genel bilgiler sunulmuştur. İkinci kısımda, mekanik tasarım ve imalatı hakkında bilgiler verilmiştir. Üçüncü kısımda, çalışmanın özgün kısımlarından birisi olan yazılım algoritması açıklanmıştır. Deneysel sonuçlar, dördüncü kısımda kısaca değerlendirilmiştir. Beşinci kısımda da genel sonuçlara yer

verilmiştir. CNC tezgâhın tasarım çalışması ve yazılım çalışması olmak üzere 2 aşamalı bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen özgün yazılım algoritması için matematiksel model çalışmaları bu prototip makinede kullanmak üzere gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışma Şekil 1’de görsel olarak tasvir edilmektedir [16].

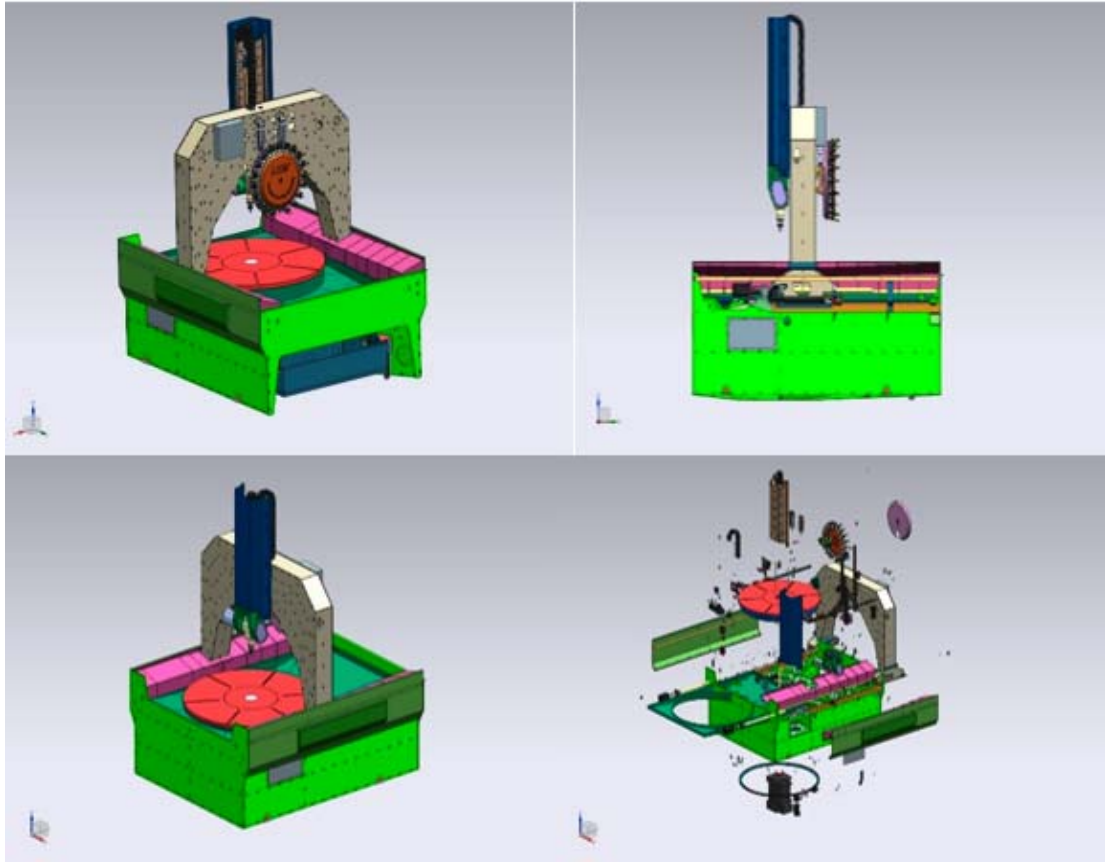


Şekil 1. Çalışma konusu sistemin şematik akış diyagramı  
(Schematic flow diagram of the operating system) [16]

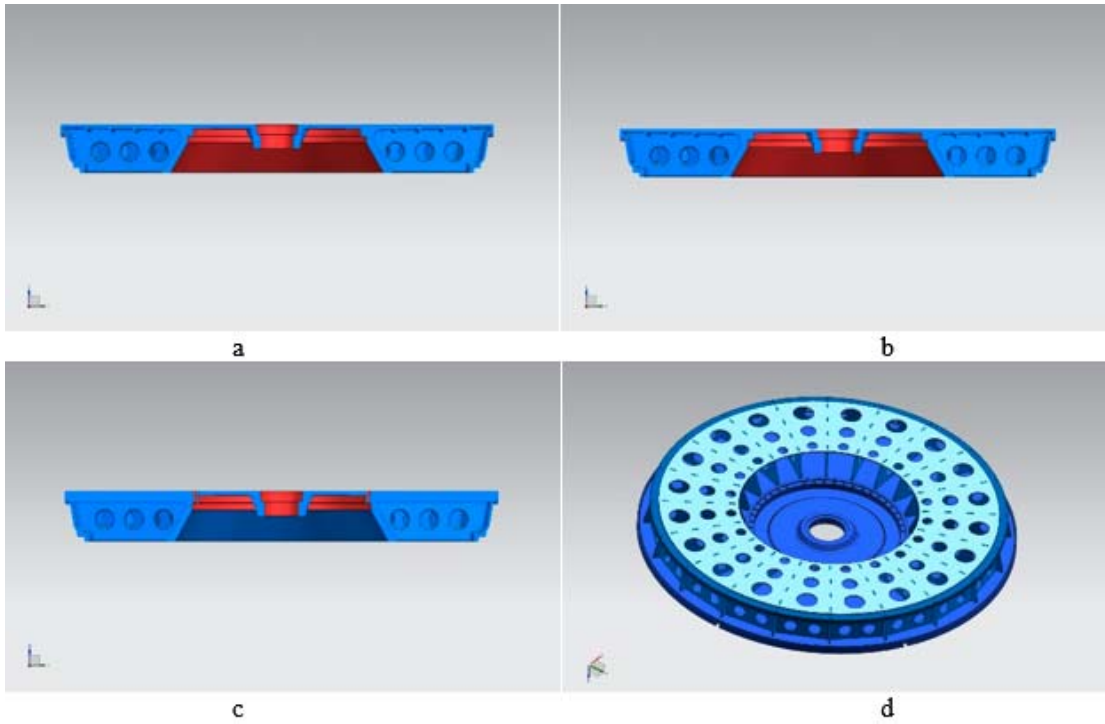
## 2. PROTOTİP CNC MAKİNE MEKANİK TASARIMI VE İMALATI (CNC PROTOTYPE MACHINE MECHANICAL DESIGN AND MANUFACTURING)

Literatür araştırmaları sonucunda, optimal CNC lastik desen makinası için özgün mekanik tasarım farklı sektörlerde kullanılabilir şekilde tasarlanmıştır. Tasarım esasları planlanarak, prototip makinenin bilgisayar ortamında mekanik hesaplamaları ve teknik çizimleri yapılmıştır. Elde edilen literatür çalışmaları sonucunda prototip makinede kullanılan özgün mekanik tasarım Şekil 2’deki gibi gerçekleştirilmiştir.

Mekanik tasarımın diğer aşamasında, kapsamlı mekanik analiz çalışmaları gerektiği belirlenmiştir. Bu nedenle bilgisayar ortamında, çalışma konusu prototip makinenin farklı mekanik analiz çalışmaları yapılmıştır. Mekanik analiz esasları temel alınarak yükleme, sehim, titreşim vb. analizleri ile mekanik tasarımın uygunluğu incelenmiştir. Prototip makine için belirlenen analizler, NX Nastran bilgisayar programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 3D Tetrahedral Mesh uygulanarak analiz çıktıları incelenmiştir. Tablo 1’de farklı yükler ve malzemeler altında analiz sonucu oluşan sehim miktarları verilmiştir. Yapılan sehim analizi sonucunda, sehim miktarının en az olması ve dayanıklılığı nedeniyle döküm gövde tercih edilmiştir. Makinanın tablasında yapılan statik analizler sonucunda aynı yük altında farklı malzeme, imalat tekniği ve değişik geometrilerde elde edilen ağırlık ve sehim ilişkisi ile ilgili tasarım aşamaları Şekil 3’te verilmiştir.



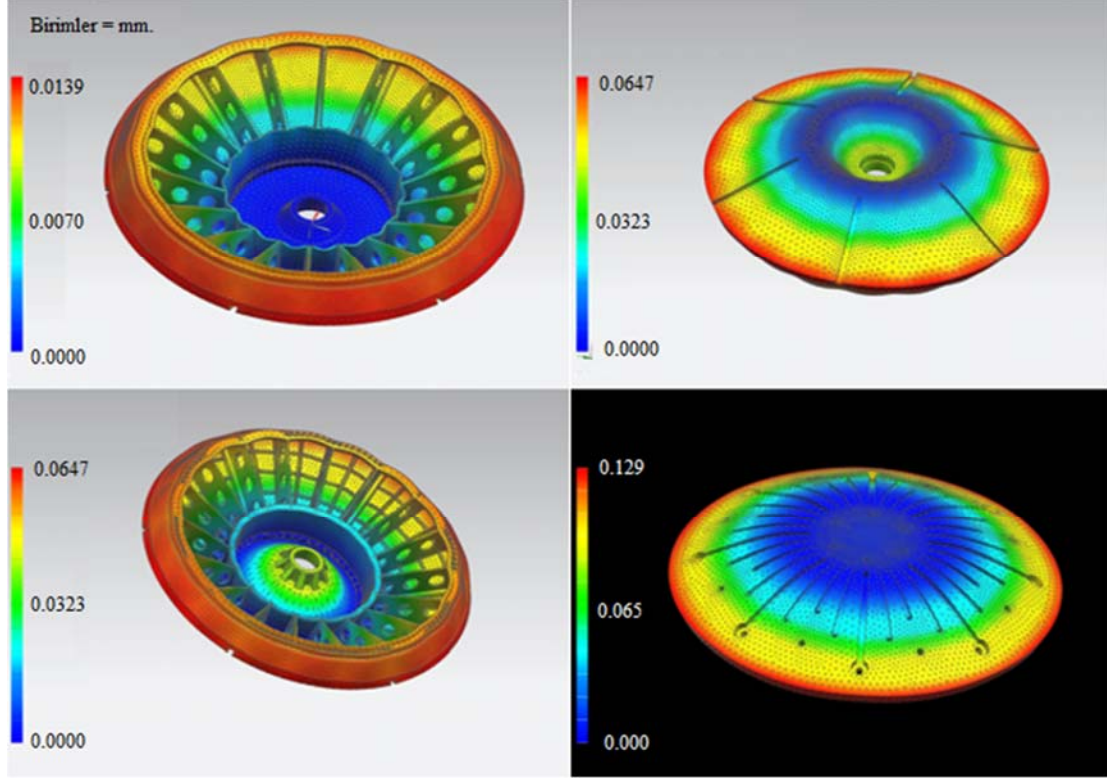
Şekil 2. Prototip makine tasarımı (Prototype machine design)



Şekil 3. a) Döküm açılı nervürlü b) Çevre nervürlü c) Döküm düz nervürsüz d) Sac konstrüksiyon malzemeler ile oluşturulan tabla çizimleri ( a) Sfero cast with drafted rib b) Sfero cast surroundings rib c) Sfero cast without rib d) Sheet construction)

Şekil 4'te ise belirtilen farklı koşullarda analiz edilen tablada en iyi performans sonucu gösterilmiştir. Tablo 2'de prototip makinenin tabla ve köprüsünde belirlenen analiz parametreleri ile belirlenen analiz yöntemi verilmiştir. Bilgisayar ortamında farklı yük ve titreşim değerlerindeki

tasarlanan mekanik sistemin test işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu analiz çalışmaları neticesinde, mekanik tasarımın rijitliği iyileştirilmiştir. Lazer kesimli saçların kaynaklı konstrüksiyon ile birleştirilmesi esasına göre tasarlanan gövdede yapılan titreşim analizlerinde



Şekil 4. En iyi tabla sehim analiz sonucu (Best table deflection analysis results)

Tablo 1. Farklı yük ve malzemeler altında oluşan sehim uzunlukları (Lengths of deflection formed under different loads and materials)

Malzeme Adı	Tabla Ağırlığı (kg)	Yayılı Yük (kg)	Sehim (mm)	Analiz Sonucu
Dolu saç plaka	652	5000	0,129	Dolu saç plaka işleyerek yapılan tabla; yapımı kolay fakat çok ağır ve dayanıksız olduğu tespit edilmiştir. Lazerde kesilip lego gibi birleştirilip yapılan kaynaklı konstrüksiyon; işçiliği oldukça fazla, ısıl gerilmeler ve ağırlık etkisinin çok fazla olduğu görülmüştür.  Sfero döküm yöntemi; kolay üretim ve titreşim sönümlenme gibi özellikleri sayesinde avantajlıdır. Geometride kademe kademe düzenlemeler yapılarak en hafif ve az sehimli yapı, döküm çevre nervürlü malzemesi ile elde edilmiştir.
Saç konstrüksiyon	480	5000	0,070	
Döküm nervürlü	456	5000	0,184	
Döküm açılı nervür	588	5000	0,046	
Döküm düz nervür	429	5000	0,0699	
Döküm çift açılı nervür	454	5000	0,0806	
	437	5000	0,0709	
	431	5000	0,0704	
	441	5000	0,0702	
Çevre nervürlü	421	5000	0,0708	
	399,5	5000	0,0750	
	386	5000	0,0647	

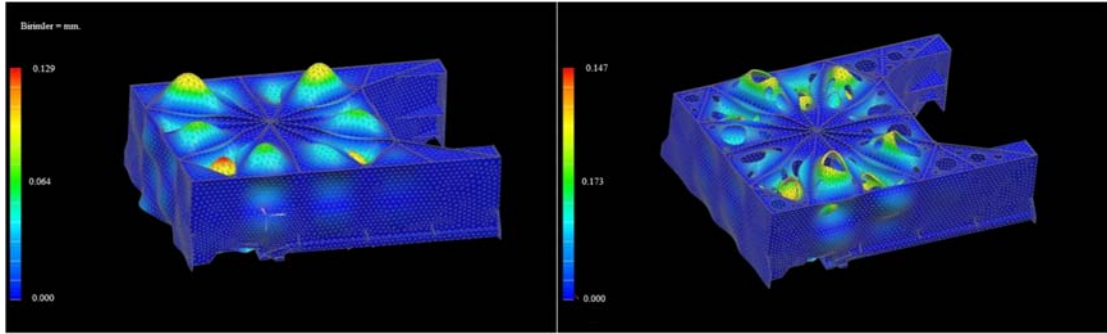
titreşim genliğinin en fazla olduğu yerlerde Şekil 5'teki gibi boşaltmalar yapılmıştır. Bu işlem sonucunda daha hafif ve daha sağlam bir yapı elde edilmiştir. Yine titreşim analizleri sonucu bükülmelerin fazla olacağı değerlendirilen yerlerde, ikinci bir katman saç kaynakılarak bu durum Şekil 6'daki gibi giderilmiştir. Mekanik tasarıma özgü köprü konstrüksiyon yöntemi ile olası yükler altında yapılan analizlerde oldukça düşük deformasyon değerleri Şekil 7'deki gibi elde edilmiştir.

### 3. YAZILIM ÇALIŞMASI (SOFTWARE DEVELOPMENT)

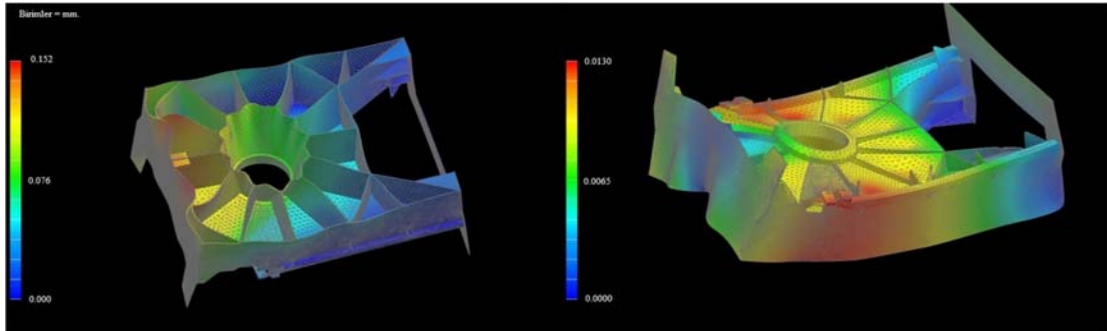
Bu çalışmada, mekanik tasarımla uyumlu özgün bir yazılım geliştirilmiştir. Yazılım çalışmasının ilk aşaması olarak; öncelikle geniş kapsamlı bir literatür taraması yapılmış ve farklı bilgisayar destekli çizim programları incelenmiştir. Yapılan araştırmada, bilgisayar ortamında gerçekleştirilen çizimlerin matematiksel işleyiş altyapısının anlaşılması üzerine odaklanılmıştır. Bununla beraber, farklı çizim

**Tablo 2.** Tabla ve köprü parçaları için belirlenen analiz parametreleri (Analysis parameters determined for table and bridge parts)

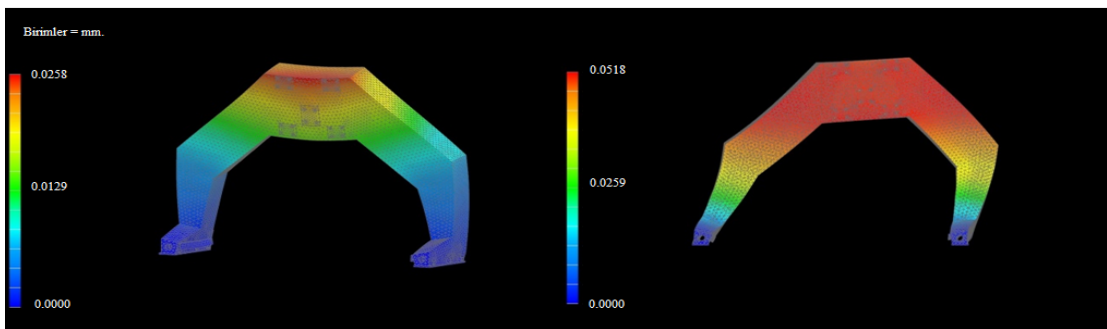
Parça Adı	Element Tipi	Element Boyutu (mm)	Maksimum Jacobiyen	Yöntem
Tabla	CTETRA(10)	15	10	Rulman bölgesinden sabitlenerek, tabla üzerine 50000 N. yayılı yük uygulanmıştır. Gravity 9810 mm/sec <sup>2</sup> tanımlanmıştır.
Köprü	CTETRA(10)	15	10	Tabanlardan sabitlenerek, bağlantı bölgesine 10000 N. aşağı yönlü yük uygulanmıştır.



**Şekil 5.** Mekanik tasarımın bilgisayar ortamındaki titreşim analizi (Vibration analysis of mechanical design in computer environment)



**Şekil 6.** Mekanik Tasarımın bilgisayar ortamındaki yüklenme analizi (Load analysis of mechanical design in computer environment)



**Şekil 7.** Mekanik Tasarımın bilgisayar ortamındaki yüklenme analizi (Load analysis of mechanical design in computer environment)

programlarının oluşturduğu DXF (Drawing Interchange Format) uzantılı dosyaların içeriği üzerine çalışmalar yapılmıştır. DXF uzantısını en yaygın olarak kullanan Autodesk firması bünyesinde bulunan Autocad programı incelenmiştir. Numeric Control (NC) olarak bilinen komut seti, takım tezgâhlarının çalışması için kullanılmaktadır. Bu yüzden NC ortamında oluşturulan yüzey dosyaları da incelenerek, DXF ve NC uzantılı dosyalarının birleşimi ile dönüştürülmüş NC dosyası elde edilmesi hedeflenmiştir. Dönüştürülen NC dosyası ile elde edilen koordinatların, matematiksel olarak eğrisel lastik yanağı yüzeyini karşıladığı görülmüştür. Dönüştürülmüş NC koordinatları ilk olarak 3 eksen bir CNC makine üzerinde test edilerek yazılım çıktılarının makine ile uyumlu çalışıp çalışmadığı incelenmiştir. Geliştirilen yazılım algoritması sonucu elde edilen dönüştürülmüş NC koordinatları ve matematiksel denklemlerden elde edilmiş hedef NC koordinatları karşılaştırılarak, yazılım çıktısının doğru bir şekilde elde edildiği gözlenmiştir [16-18]. Gerçekleştirilen özgün yazılım algoritmasının akış diyagramı Şekil 8’de gösterilmektedir.

Matematiksel dönüşüm algoritmasındaki amaç, CAD/CAM programları ile çizilen harf, desen vb. karakterlerin koordinatlarını alarak, bu karakterlerin dönüştürülmüş NC programı ile çizilmiş lastik yanak yüzeyine en hassas biçimde işlenmesidir. Şekil 9’da sistem için geliştirilen algoritmanın görsel çizimi verilmiştir. Geliştirilen prototip makinede karakterlerin işleneceği yüzey ve CNC takım ucunun izlemesi istenen yörünge gösterilmiştir.

Matematiksel problemin tanımına başlamadan önce birkaç matematiksel basit eşitliklerin ve parametrelerin açılımlarının bilinmesi; ayrıca, DXF, NC uzantılı dosyalardan koordinatların doğru olarak elde edilmesi gerekmektedir. DXF uzantılı dosyadan okunan koordinatlar, aşağıda tanımlanan parametrelere atanmıştır:

$L_i$	: i’nci noktadaki çizgisel uzunluk
$C_i$	: i’nci noktadaki yay uzunluğu
$L_t$	: CNC makinesinde kullanılan uç işlevci takım boyu
$n$	: parça sayısı
$X_{ib}$	: X ekseninde i’inci çizgi veya yay uzunluğun başlangıç noktası koordinatı
$Y_{ib}$	: Y ekseninde i’inci çizgi veya yay uzunluğun başlangıç noktası koordinatı
$X_{is}$	: X ekseninde i’inci çizgi veya yay uzunluğun bitiş noktası koordinatı
$Y_{is}$	: Y ekseninde i’inci çizgi veya yay uzunluğun bitiş noktası koordinatı
$A_{ib}$	: i’inci yay başlangıç açısı
$A_{is}$	: i’inci yay bitiş açısı
$R_{im}$	: i’inci yay yarıçap uzunluğu
$X_{im}$	: i’inci yay merkezi X noktası koordinatı
$Y_{im}$	: i’inci yay merkezi Y noktası koordinatı
$Z_{im}$	: i’inci yay merkezi Z noktası koordinatı
$X_{nc}$	: Yüzey için NC dosyasından alınan X koordinatı
$Y_{nc}$	: Yüzey için NC dosyasından alınan Y koordinatı
$Z_{nc}$	: Yüzey için NC dosyasından alınan Z koordinatı

Makine için gerekli parçalar çizgi ve yay olmak üzere iki farklı şekilde okunmaktadır. Eğer DXF dosyasından okunan bir çizgi ise,  $X_{ib}$ ,  $X_{is}$ ,  $Y_{ib}$ ,  $Y_{is}$ ,  $Z_{ib}$ ,  $Z_{is}$  koordinatları okunmakta ve  $L_i$  uzunluğu Eş. 1’deki Öklid uzaklık metodundan elde edilmektedir. Yapılan çalışmada, parça boyutlarının uzunlukları Öklid uzaklık mesafesi kullanılarak hesaplanmıştır.

$$L_i = \sqrt{(X_{is} - X_{ib})^2 + (Z_{is} - Z_{ib})^2} \quad (1)$$

Eğer DXF dosyasından okunan bir yay ise,  $A_{ib}$ ,  $A_{is}$ ,  $X_{im}$ ,  $Y_{im}$ ,  $Z_{im}$ ,  $R_{im}$  parametreleri dosyadan elde edilir ve yay için gerekli olan  $X_{ib}$ ,  $Z_{ib}$ ,  $X_{is}$ ,  $Z_{is}$  ve  $C_i$  parametreleri Eş. 2 ile 6 arasında gösterildiği gibi elde edilir.

$$X_{ib} = X_{im} + R_{im} \times \left( \cos(A_{ib}) \times \frac{\pi}{180} \right) \quad (2)$$

$$Z_{ib} = Z_{im} + R_{im} \times \left( \sin(A_{ib}) \times \frac{\pi}{180} \right) \quad (3)$$

$$X_{is} = X_{im} + R_{im} \times \left( \cos(A_{is}) \times \frac{\pi}{180} \right) \quad (4)$$

$$Z_{is} = Z_{im} + R_{im} \times \left( \sin(A_{is}) \times \frac{\pi}{180} \right) \quad (5)$$

$$|C_i| = \frac{2\pi R_{im}}{360} \times (A_{is} - A_{ib}) \quad (6)$$

Problemin daha iyi anlaşılabilmesi için Şekil 10’daki gibi bir yüzey yörüngesi oluşturulmuş ve matematiksel dönüşüm algoritması sonucunda koordinatlar elde edilmiştir.  $n = 3$  parçalı bir yörünge için matematiksel dönüşüm hesaplamaları aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak yapılabilir.  $R_L$  ve  $R_C$  parçalar üzerindeki noktaların uzunluğunu göstermektedir.  $R_L$  çizgi üzerindeki,  $R_C$  ise yay üzerindeki uzunluğu temsil etmektedir.  $R_{2s}$  ve  $R_{3s}$  ise,  $k_0$  noktasının sırasıyla  $n_{2p}$  ve  $n_{3p}$  noktalarına olan uzaklığını göstermektedir.  $L_2$  doğrusal çizgi uzunluğu, Eş. 7 Öklid uzaklık metodu kullanılarak bulunmuştur. CNC ucu bir çizgi üzerinde işlem yapacak ise,  $R_L$  uzunluğu Eş. 8-9 kullanılarak bulunmuştur.

$$L_2 = \sqrt{(X_{2s} - X_{2b})^2 + (Z_{2s} - Z_{2b})^2} \quad (7)$$

$$R_{2s} = \sqrt{(X_{nc})^2 + (Y_{nc})^2} \quad (8)$$

$$R_L = R_{2s} - k_1 \quad (9)$$

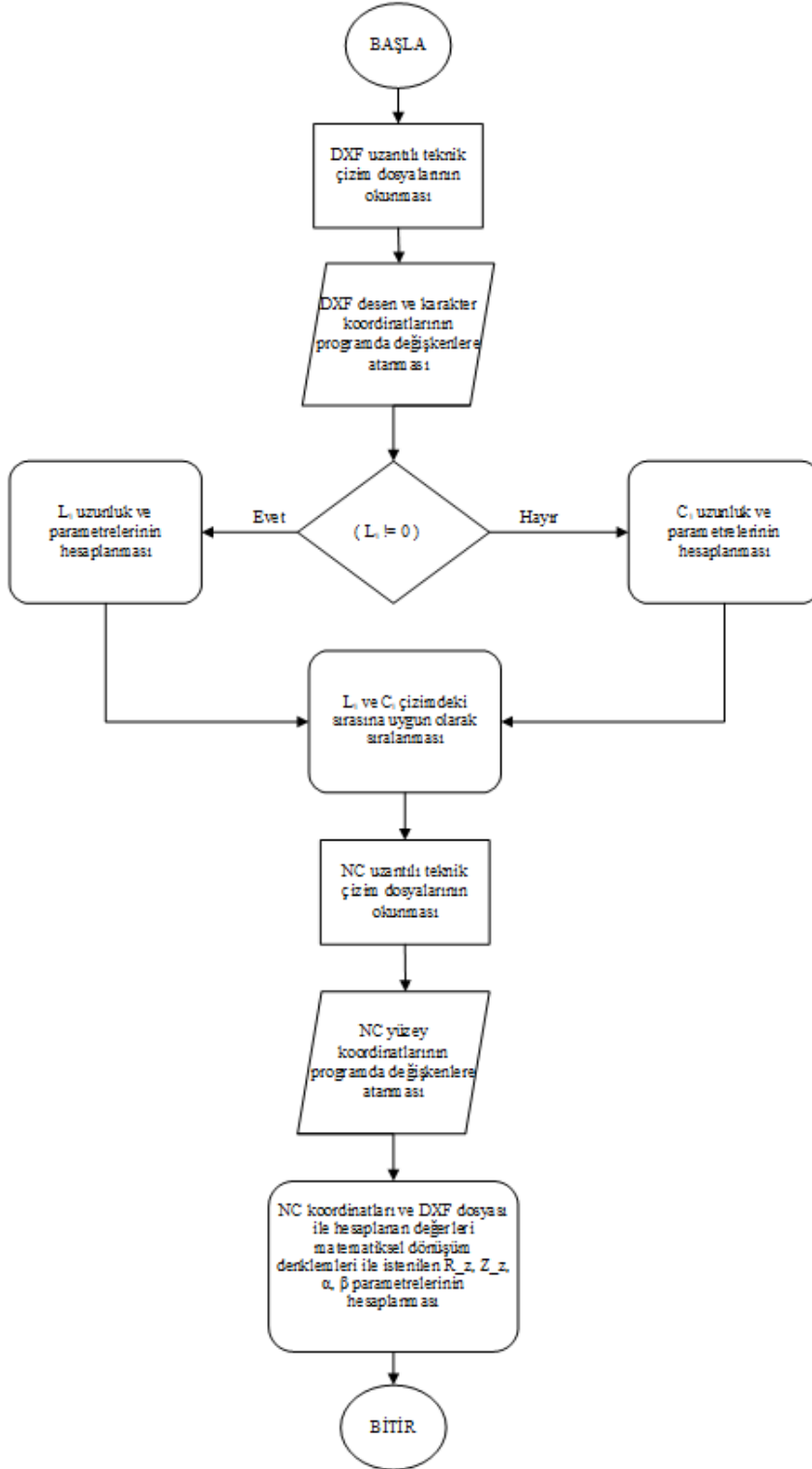
$$X_{2u} = \frac{X_{2s} - X_{2b}}{|L_2|} \quad (10)$$

$$Z_{2u} = \frac{Z_{2s} - Z_{2b}}{|L_2|} \quad (11)$$

$$X_p = X_{2b} \pm X_{2u} \times R_L \quad (12)$$

$$Z_p = Z_{2b} \pm Z_{2u} \times R_L \quad (13)$$

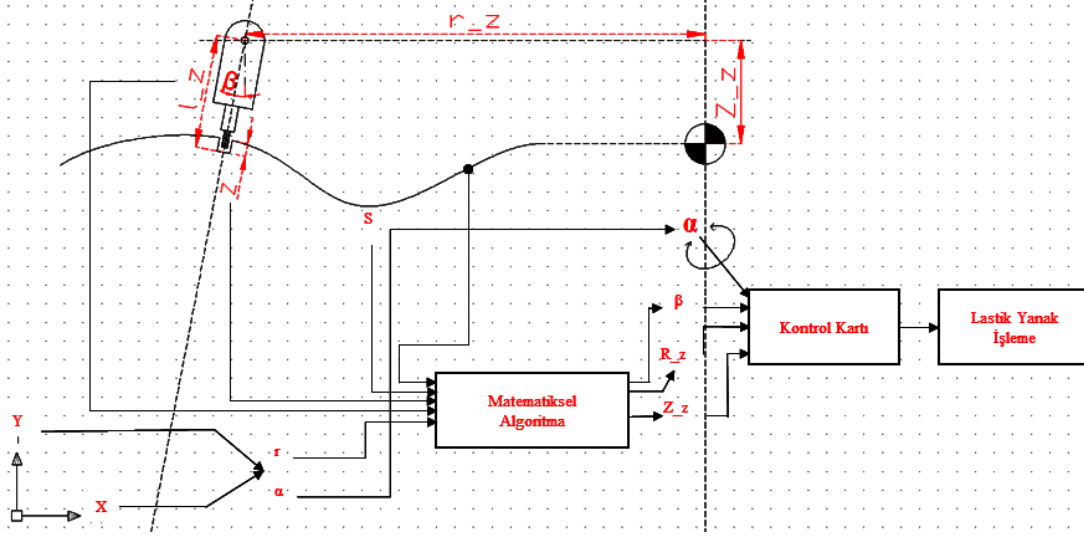




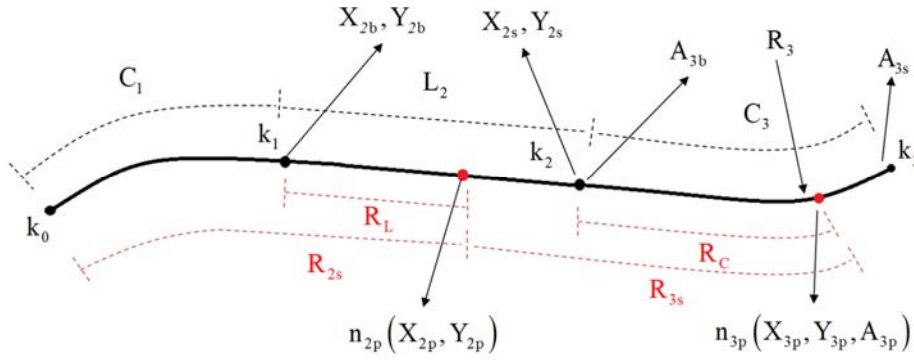
Şekil 8. Matematiksel dönüşüm yazılımı akış diyagramı (The flow diagram of mathematical transformation software)

$$X_{nu} = Z_{2u} \quad (14) \quad R_z = X_p + (L_t + Z_{nc}) \times X_{nu} \quad (16)$$

$$Z_{nu} = -X_{2u} \quad (15) \quad Z_z = Z_p + (L_t + Z_{nu}) \times Z_{nu} \quad (17)$$



Şekil 9. CNC makinesi genel akış diyagramı (General flow diagram of the CNC machine)



Şekil 10. Örnek yörünge problemi çizimi (Drawing a sample trajectory problem)

Eksenler için gerekli  $R_z$  ve  $Z_z$  uzunlukları Eş. 10-17 ile bulunmuştur. Eğer CNC ucu bir yay üzerinde işlem yapacak ise,  $R_c$  uzunluğu Eş. 18-20 ile bulunabilir.

$$R_c = |R_{3s} - k_2| \quad (18)$$

$$|C_3| = \frac{2\pi R_3}{360} \times (A_{3s} - A_{3b}) \quad (19)$$

$$R_c = \frac{2\pi R_3}{360} \times (A_{3p} - A_{3b}) \quad (20)$$

$$A_{3p} = \frac{360 \times R_c + 2\pi R_3 \times A_{3b}}{2\pi R_3} \quad (21)$$

$$X_{3p} = X_{3m} + R_3 \times \cos(A_{3p}) \quad (21)$$

$$Z_{3p} = Z_{3m} + R_3 \times \sin(A_{3p}) \quad (21)$$

$$X_{nu} = \frac{(X_p - X_{3m})}{R_{3m}} \quad (22)$$

$$Z_{nu} = \frac{(Z_p - Z_{3m})}{R_{3m}} \quad (23)$$

$$R_z = X_p + (L_t + Z_{nc}) \times X_{nu} \quad (24)$$

$$Z_z = Z_p + (L_t + Z_{nu}) \times Z_{nu} \quad (25)$$

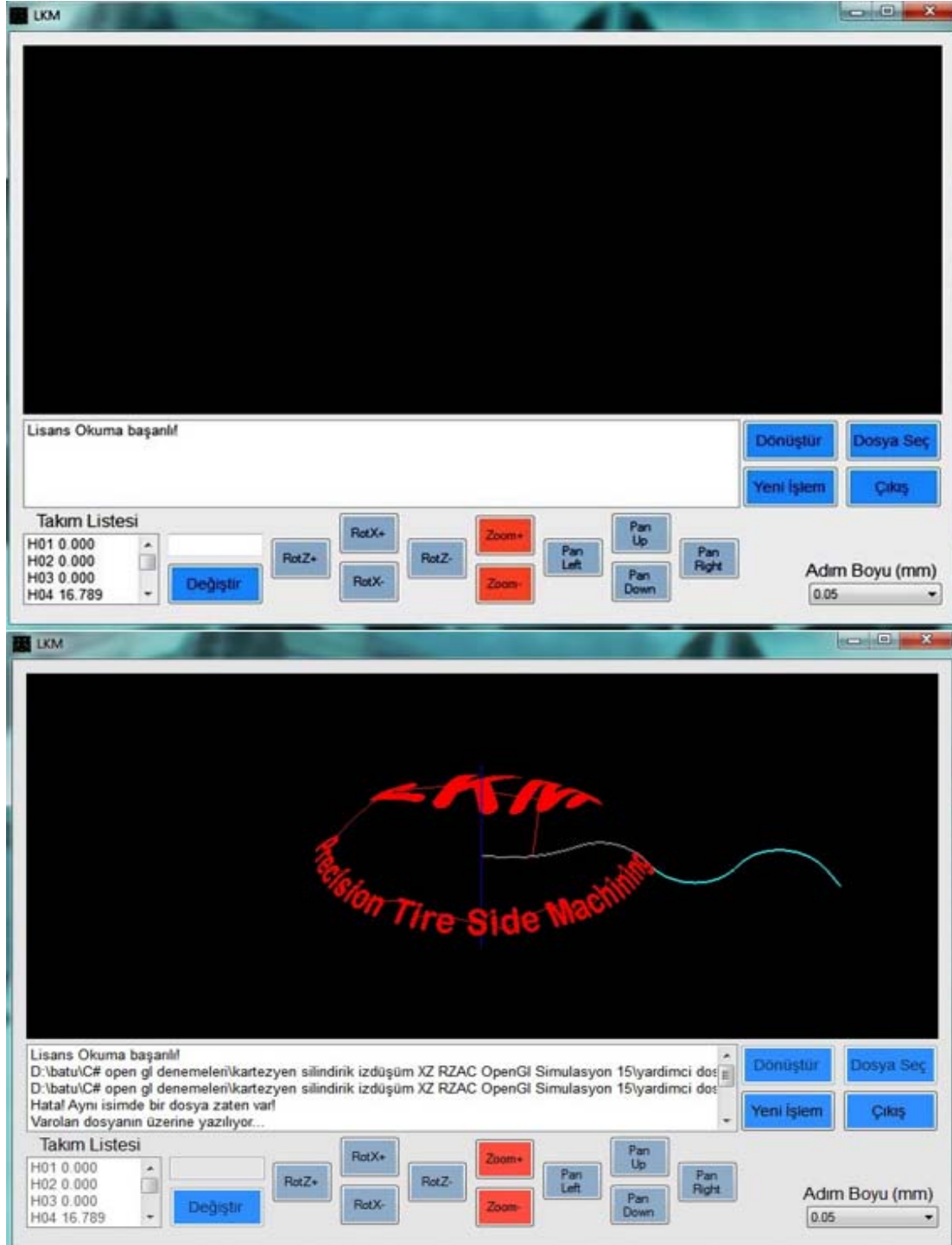
Eksenler için gerekli olan  $R_z$ ,  $Z_z$  Eş. 21-25 kullanılarak  $\alpha$  ve  $\beta$  açıları ise sırasıyla Eş. 26 ve Eş. 27'deki gibi elde edilmektedir.

$$\beta = \begin{cases} -90 \\ \arctan2(Z_{nu}, X_{nu}) - 90, \\ \arctan2(Z_{nu}, X_{nu}) = 0 \text{ ise} \\ \arctan2(Z_{nu}, X_{nu}) > 0 \ \& \ \arctan2(Z_{nu}, X_{nu}) < 270 \text{ ise} \\ \arctan2(Z_{nu}, X_{nu}) = 270 \text{ ise} \\ \arctan2(Z_{nu}, X_{nu}) - 450, \\ 90, \\ \arctan2(Z_{nu}, X_{nu}) > 270 \ \& \ \arctan2(Z_{nu}, X_{nu}) < 360 \text{ ise} \\ \arctan2(Z_{nu}, X_{nu}) = 360 \text{ ise} \end{cases} \quad (26)$$

$$\alpha = \arctan 2\sqrt{(X_{nc})^2 + (Y_{nc})^2} \quad (27)$$

Çıktı olarak CNC tezgâhında X, Y, Z koordinatları yerine, R<sub>z</sub>, Z<sub>z</sub>, α, β parametreleri kullanılmıştır. Denklemlerdeki işlemlerin yazılıma entegre edilmesiyle 3 boyutlu yazı ve desenlerin eğrisel lastik yanak yüzeyine işlenmesi gerçekleştirilmiştir. Yazılım algoritmasında elde edilen çıktılar, C# programlayıcı kullanarak elde edilmiştir. C#

programlayıcı ile Şekil 11'deki gibi bir arayüz geliştirilmiştir. Geliştirilen bu arayüzde operatör tarafından CNC makinesinin kontrolünün kolay ve farklı yüzeyler için uygulanabilir olması sağlanmıştır. Geliştirilen arayüz ile sistemin gerçek zamanlı çalışması başarıyla test edilmiştir. Şekil 12'de kullanılan DXF, NC dosyası ve yazılım ile elde edilen dönüştürülmüş NC uzantılı dosya örnek bir lastik kalıbı tasarımı için görülmektedir.



Şekil 11. Matematiksel dönüşüm algoritması arayüzü (Mathematical transformation algorithm interface)

#### 4. DENEYSEL SONUÇLAR (EXPERIMENTAL RESULTS)

Bu çalışma kapsamında prototip olarak imal edilen CNC makinesi, lastik sektörü başta olmak üzere birçok farklı sektörde kullanılabilir. Prototip imalat aşamalarından olan mekanik imalat çalışması Şekil 13'te ve parça imalatları

Şekil 14'te görülmektedir. Çalışma sonunda üretilen CNC makinesinin pano ve son prototip hali Şekil 15'te görülmektedir. Bu çalışma kapsamında tasarlanıp imal edilen CNC lastik kalıbı desen makinasının, diğer CNC tezgâhlarından ayıran en önemli özelliklerinden bir diğeri ise, kesici motor (Spindle Motor) kafa devrinin çok yüksek

0	O0001 ()	O0001 ()
SECTION	G17 G80 G49 G021 G40	G17 G80 G49 G021 G40
2	G251	G251
HEADER	G08 P1	G08 P1
9	G05 P10000 Q3	G05 P10000 Q3
\$ACADVER	T00 M6	T00 M6
1	T00	T00
AC1015	G00 G90 X123.943 Y205.904	R10.000 Z150.583 A0.000 C58.957
9	S20000 M03	R20.000 Z150.583 A0.000 C58.955
\$ACADMAINTVER	G43 Z20. H00	R30.000 Z150.583 A0.000 C58.954
70	Z10.4	R40.000 Z150.583 A0.000 C58.954
6	G01 Z-.2 F1000.	R50.000 Z150.583 A0.000 C58.954
9	X120.404 Y207.998	R60.000 Z150.583 A0.000 C58.954
\$DWGCODEPAGE	X117.425 Y209.693	R70.000 Z150.583 A0.000 C58.955
3	X115.905 Y210.54	R80.001 Z150.583 A0.000 C58.954
ANSI_1252	X113.296 Y211.954	R90.000 Z150.583 A0.000 C58.954
9	X123.678 Y231.409	R100.000 Z150.583 A0.000 C58.954
\$INSBASE	X124.836 Y230.788	R110.000 Z150.583 A0.000 C58.954
10	X128.536 Y228.749	R120.000 Z150.583 A0.000 C58.954
0.0	X132.635 Y226.395	R130.000 Z150.583 A0.000 C58.954
20	X124.15 Y211.898	R140.000 Z150.583 A0.000 C58.954
0.0	X124.162 Y211.842	R150.000 Z150.583 A0.000 C58.954
30	X124.189 Y211.821	R160.000 Z150.583 A0.000 C58.954
0.0	X124.205 Y211.8	R170.001 Z150.583 A0.000 C58.954
9	X124.218 Y211.789	R180.000 Z150.583 A0.000 C58.954
\$EXTMIN	X124.546 Y211.591	R190.000 Z150.583 A0.000 C58.954
10	X126.151 Y210.638	R293.359 Z115.922 A-38.620 C58.954
-0.939693	X127.749 Y209.672	R282.446 Z123.339 A-29.789 C58.954
20	X129.339 Y208.695	R270.524 Z128.993 A-20.959 C58.954
-0.984808	X130.921 Y207.706	R257.875 Z132.751 A-12.128 C58.954
30	X132.497 Y206.704	G00 G90 R244.365 Z134.545 A-3.006
0.0	X134.064 Y205.691	C58.954 S20000 M03
9	X135.624 Y204.666	G43 R245.414 Z154.518 A-3.006
\$EXTMAX	X137.176 Y203.629	C58.954 H00
10	X134.273 Y199.327	R244.910 Z144.931 A-3.006 C58.954
13.0	X130.097 Y202.068	G01 R244.354 Z134.346 A-3.006
20	X124.691 Y205.457	C58.954 F1000.
12.984808	X123.943 Y205.904	R244.349 Z134.346 A-3.003 C59.935
30	X123.995 Y205.99	R244.350 Z134.346 A-3.004 C60.752
0.0	X120.454 Y208.085	R244.347 Z134.346 A-3.001 C61.167
9	X117.474 Y209.78	R244.349 Z134.346 A-3.002 C61.874
\$LIMMIN	X115.953 Y210.628	R231.189 Z134.021 A5.828 C61.876
10	X113.431 Y211.995	R215.630 Z130.955 A16.470 C61.877
0.0	X123.719 Y231.273	R215.628 Z130.954 A16.472 C61.591
20	X124.788 Y230.7	R215.627 Z130.954 A16.472 C60.668
0.0	X128.486 Y228.662	R215.629 Z130.955 A16.471 C59.636
9	X132.498 Y226.359	R237.426 Z134.428 A1.638 C59.634
\$LIMMAX	X124.061 Y211.945	R237.482 Z134.430 A1.601 C59.625
10	X124.05 Y211.836	R237.488 Z134.430 A1.597 C59.617
0.0	X124.118 Y211.75	R237.501 Z134.430 A1.588 C59.612
20	X124.166 Y211.703	R237.505 Z134.431 A1.585 C59.608
0.0	X124.495 Y211.505	R237.511 Z134.431 A1.581 C59.518
9	X126.089 Y210.558	R237.511 Z134.431 A1.581 C59.083

Şekil 12. a) dxf uzantılı dosya b) nc uzantılı dosya c) dönüştürülmüş nc uzantılı dosya  
( a) dxf extended file b) nc extended file c) transformed nc extended file)



Şekil 13. CNC makinesinin mekanik imalatı (Mechanical manufacturing of CNC machine)



Şekil 14. CNC makinesinin parça imatları (Manufacturing of CNC machine parts)

olmasıdır. Normal bir CNC tezgâhın kafa devri 6000-8000 devir/dakika iken, kullanılan kesici motorun kafa devri yaklaşık olarak 40000 devir/dakika olarak çalışmaktadır.

Yüksek devirli kesici motor kullanılmasının nedeni, kesici ucun kesme çapının 1mm'den bile küçük olmasıdır. Böylece karmaşık geometrilere olabilecek desen yapma işlemi



Şekil 15. CNC makinesinin pano ve son prototip hali (The panel and final prototype of the CNC machine)



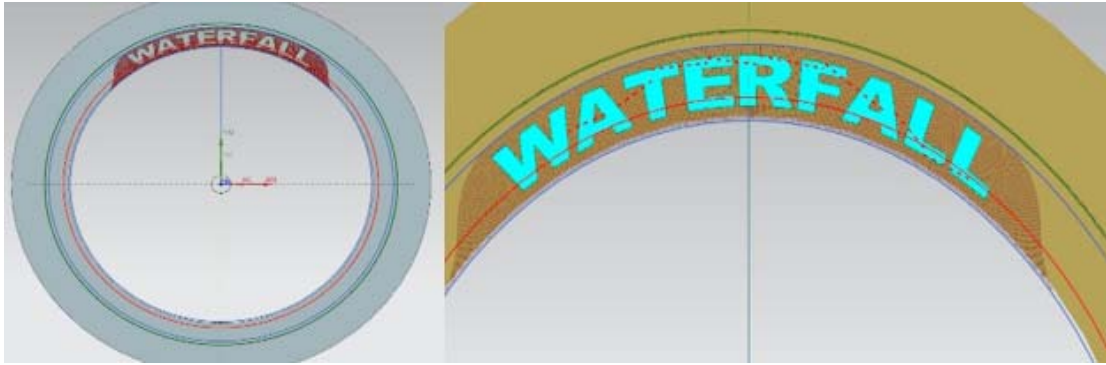
Şekil 16. Tahta yüzey üzerine karakter işlenmesi (Character processing on the wooden surface)

sırasında, kalıba takımın çarpmadan işlemeye imkân vermesi ve kesici ucun küçük alanlarda çalışması mümkün olmuştur. Aynı zamanda daha hassas işleme gerçekleştirmek için, prototip makinenin gövde yapısı çelik döküm konstrüksiyondan yapılmıştır. Tasarlanan rijit gövde yapısı ile kalıpların daha hassas işlenerek daha kaliteli ürünler ortaya çıkarıldığı görülmüştür. Şekil 16'da tahta yüzeye ve Şekil 17'de çelik yüzeye yapılan yazı karakterlerinin işlenmesi gösterilmiştir. Şekil 18'de örnek bir CAD/CAM çizimi gösterilirken, örnek CAD/CAM çiziminin yazılım

arayüzü ile elde edilen çıktısı ise Şekil 19'da verilmiştir. Şekil 20'de ise prototip CNC makinede lastik kalıp üzerine işlenen karakterlerin son hali görülmektedir. Şekil 21'de bir motosiklet lastiğinin CAD/CAM çizimi gösterilirken, Şekil 22'de ise prototip CNC makinede motosiklet lastik kalıp yüzeyinin işlenmiş son hali görülmektedir. Prototip makinede gerçekleştirilen deneyler 23000 d/d, 4 m/dk kesme hızı, 0,5 mm kesme derinliği ve 6 mm çaplı takımın konik ucu 0,2 mm çapında karbür takım kullanılarak kesme yağı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 17. Çelik yüzey üzerine karakter işlenmesi (Character processing on steel surface)



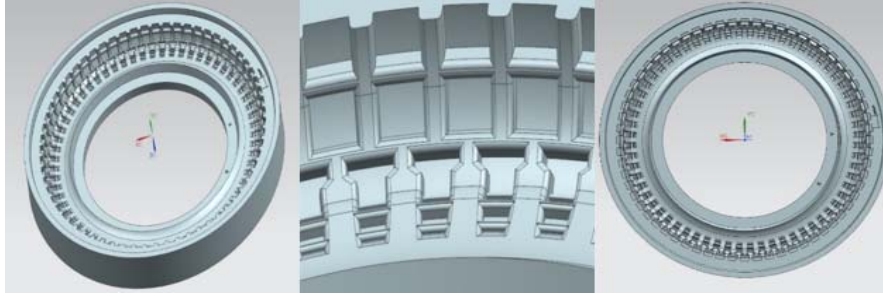
Şekil 18. CAD/CAM çizimi (CAD / CAM drawing)



Şekil 19. Arayüz ile elde edilen çıktı (Output obtained with the interface)



Şekil 20. CNC tezgâhı ile karakter işlenmesi (Processing characters with CNC machine)



Şekil 21. Örnek bir lastik tasarımı için CAD/CAM çizimi (CAD/CAM drawing of a sample tire pattern)



Şekil 22. Prototip CNC makine ile kalıp ve karakter işleme (Pattern and character processing by prototype CNC machine)

## 5. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

CNC'ler akademik ve endüstriyel ilginin artışı ile her geçen gün gelişen boyutlarda çalışmalara konu olmaya devam etmektedir. Endüstrideki CNC makine ihtiyacını karşılamak ve yerli ürün üretimini artırmak için son yıllarda ülkemizde de çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmada ise lastik desen ve karakterlerinin lastik kalıbı üzerine uygun bir şekilde işlenmesini gerçekleştiren CNC makinesinin prototip imalatı gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın özgün yönlerinden birisi, lastik kalıp yüzeyinin eğimli olmasından dolayı işlenecek karakter ve desenlerin yüzeye hatasız olarak aktarılmasını sağlayan CNC makinesinin üretimini

gerçekleştirmektir. Çalışma, mekanik tasarım ve yazılım olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Analiz sonuçlarına göre elde edilen mekanik tasarım, farklı malzeme ve çalışma şartlarında test edilmiştir. Kapsamlı bir literatür taraması ile, benzer özelliklerde çalışan makinelerin kullanıldığı yazılımlar incelenmiş ve özgün bir matematiksel dönüşüm algoritmasına ihtiyaç duyulduğu belirlenmiştir. Hedeflenen matematiksel dönüşüm algoritması ile eğrisel yüzeylere uygun NC takım yolu oluşturulması gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen matematiksel dönüşüm algoritması yazılımsal olarak C# programlayıcı diline çevrilerek optimize edilmiştir. DXF çizim dosyasından alınan karakter ve desen koordinatları ve NC yüzey koordinatları kullanılarak kalıp yüzeyindeki yörünge planına uygun NC dosyası yazılım



algoritması ile yeniden oluşturulmuştur. Elde edilen yazılım çalışmaları neticesinde, makinede kullanılmak üzere C# programlayıcı ile arayüz geliştirilmiştir. Geliştirilen arayüzün sade ve anlaşılır olması hem kullanıcının (operatörün) işini kolaylaştırmak hem de ticari ürün çalışmalarında fayda sağlaması hedeflenmiştir. Geliştirilen matematiksel dönüşüm algoritması ile imal edilen prototip makinede lastik kalıbı üzerine denemeler yapılmış ve başarıyla istenilen hassasiyette lastik kalıp desen ve karakter işlenmesi gerçekleştirilmiştir. Prototip makine üzerinde farklı malzeme çeşitlerinin işlenerek, iş parçaları üzerindeki yüzey kaliteleri test edilmiştir. Prototip makinede işlenen parçaların (yüzey pürüzlülüğü)  $R_a$  değeri  $1,2 \mu\text{m}$  (mikrometre) civarında ve N7 kalitesinde yüzey elde edilmiştir. Gerçekleştirilen testler sonucunda, istenilen hassasiyette desen ve karakter işlemenin başarı ile gerçekleştirildiği belirlenmiştir. Prototip makinede test işlemleri yapıldıktan hemen sonra kumpas ve komparatör kullanılarak, işlenen parçaların derinlik ve genişlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Kumpas ve komparatörde ölçülen değerlerin bilgisayar ortamında yapılan çizimlerle (Çalışmada oluşturulan desen ve karakterlerin NC dosyası) karşılaştırıldığında hatasız bir şekilde işlemenin gerçekleştirildiği belirlenmiştir. Söz konusu CNC makinesinin başta lastik kalıbı olmak üzere birçok farklı alanlarda kullanılabileceği öngörülmektedir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı 0577.STZ.2013-2 kodlu SANTEZ projesi kapsamında Destek alarak, Kocaeli Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü Sensör Laboratuvarında yapılmıştır. Bu makalenin yazarları, verilen destekten dolayı Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na ve Sensör Laboratuvar çalışanlarına teşekkür ederler.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Uyar E., Kavala D., 5 Eksen CNC İşleme Tezgahtı Tasarımı ve PC Destekli Kontrolü- 1. MakinaTek Dergisi, Türkiye, 2010.
2. Jeong S.I., Jin C.K., Seo H.Y., Kim J.D., Kang C.G., Mold structure design and casting simulation of the high-pressure die casting for aluminum automotive clutch housing manufacturing, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 84 (5-8), 1561-1572, 2016.
3. Sheltami K., Bedi S., Ismail F., Swept volumes of toroidal cutters using generating curves, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 38 (7), 855-870, 1998.
4. Kim Y.J., Elber G., Bartoň, M., Pottmann H., Precise gouging-free tool orientations for 5-axis CNC machining, *Computer-Aided Design*, 58, 220-229, 2015.
5. Kus A., Motorcu A. R., Estimation of the optimum cutting parameters for surface roughness in wire electrical discharge machining of nickel based waspaloy using Taguchi method, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32 (1), 195-204, 2017.
6. Yurdakul M., Gunes S., Ic Y. T., Improvement of the surface quality in the honing process using Taguchi method, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31 (2), 347-360, 2016.
7. Yan Y., Zhang L., Zhang K., Corner Smoothing Transition Algorithm for Five-axis Linear Tool Path, *Procedia CIRP*, 56, 604-609, (2016).
8. Mahbubur R.M.D., Heikkala J., Lappalainen K., Karjalainen J.A., Positioning accuracy improvement in five-axis milling by post processing, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 37 (2), 223-236, 1997.
9. Liang H., Li X., Five-axis STEP-NC controller for machining of surfaces, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 68, 2791-2800, 2013.
10. Lin Z., Fu J., Shen H., Gan W., A generic uniform scallop tool path generation method for five-axis machining of freeform surface, *Computer-Aided Design*, 56, 120-132, 2014.
11. Lin Z., Shen H., Gan W., Fu J., Approximate tool posture collision-free area generation for five-axis CNC finishing process using admissible area interpolation, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 62, 1191-1203, 2012.
12. Roth D., Bedi S., Ismail F., Mann S., Surface swept by a toroidal cutter during 5-axis machining, *Computer-Aided Design*, 33 (1), 57-63, 2001.
13. Fan W., Lee C. H., Chen J. H., A realtime curvature-smooth interpolation scheme and motion planning for CNC machining of short line segments, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 96, 27-46, 2015.
14. Chu C. H., Song M. C., Luo V. C., Computer aided parametric design for 3D tire mold production, *Computers in Industry*, 57 (1), 11-25, 2006.
15. Chen H. C., Yau H. T., Lin C. C., Computer-aided process planning for NC tool path generation of complex shoe molds, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 58 (5-8), 607-619, 2012.
16. Kuncan M., Kaplan K., Ertunç H.M., Küçükateş S., 5 Axis CNC Precision Tire Side Machining, *European Journal of Technic*, 6 (2), 117-123, 2016.
17. Kuncan M., Kaplan K., Ertunç H.M., 5 Axis CNC Tire Surface Prototype Machine, 3rd International Symposium On Innovative Technologies In Engineering and Science, ISITES 2015, Valencia, Spain, 759-765, 3-5 June 2015.
18. Bakbak D., Ozakca M., Gogus M.T., Development of Design Methodologies for Deployable Fabric Structures in Civil Engineering, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31 (1), 73-86, 2016.

