

5 AXIS CNC PRECISION TIRE SIDE MACHINING

Melih KUNCAN^{*1}, *Kaplan KAPLAN*², *H. Metin ERTUNÇ*², *Selim KÜÇÜKATES*²

^{*1}Siirt Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Siirt, TÜRKİYE

²Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, İzmit, Kocaeli, TÜRKİYE

melihkuncan@siirt.edu.tr

Abstract: *In this study, a mechanical design, mathematical modeling and software algorithm for a 5-axis CNC prototype was realized that were employed especially in tire industry and in the other sectors such as processing of shoe soles mold, prosthesis manufacturing in the medical industry, aerospace industry, the jewelry industry, etc. Using the machine developed in this study, it is possible to realize machining on the surface of tire mold such as marking of tire sizes, production date and location.*

Key words: *CNC machine, precision machining, tire side machining.*

5 EKSEN CNC HASSAS LASTİK YANAK İŞLEME

Özet: *Bu çalışmada başta lastik sektörü olmak üzere bir çok sektörde (ayakkabı taban kalıplarının işlenmesi, medikal sektöründeki protez imalatı, havacılık sektörü, kuyumculuk sektörü v.b) kullanılan 5 eksen CNC prototip üretim çalışmasında mekanik tasarım, matematiksel model çalışması ve yazılım algoritması gerçekleştirilmektedir. Bu çalışma kapsamında, 5 eksen CNC lastik kalıbı desen makinesinin prototipinin tasarım ve imalatı yapılmıştır. Prototip makine kullanarak bir araç tekerlek kalıbı üzerine lastik kullanım alanı, lastik ölçüsü, lastik üretim tarihi, imalatın yapıldığı ülke gibi farklı desen işlemlerini gerçekleştirmek mümkündür.*

Anahtar sözcükler: *CNC makine, hassas işleme, lastik yanak işleme.*

1. Giriş

CNC tezgahları günden güne artarak konvensiyonel tezgahların yerine geçmektedir. CNC, yüksek hassasiyet isteyen ve hızlı şekilde işleme yapabilme özelliği ile sanayinin birçok farklı kolunda kullanılan elzem bir endüstriyel makine haline gelmiştir [1].

Sanayinin günden güne gelişmesiyle, farklı özellikte çalışan (3 eksen, 4 eksen, 5 eksen) CNC makinelerine ihtiyaçların oluşmasına sebep olmuştur. 3 eksenli CNC tezgahları 5 eksenli CNC tezgahlarla karşılaştırıldığında, 5 eksenli CNC tezgahların yüksek işleyebilirlik ve daha kaliteli yüzey elde ettikleri görülmüştür [2,3]. Bazı takım ve kalıp imalatçıları 5 eksenli CNC tezgahın, 3 eksenli CNC tezgaha göre 10 ile 20 kat arası daha verimli olduğu görüşündedirler [4,5]. Son yıllarda talaşlı şekil verme yöntemleri, havacılık sektörü, otomobil sanayi, kesici takımlar ve kalıp imalatında çok önem kazanmış olup bu uygulamaların birçoğu 5 eksenli CNC tezgahlarla mümkün olmaktadır [6]. Endüstriyel uygulamalarda işlenmek istenen birçok yüzey, düzensiz eğrilik (kompleks) yapılarına sahip olmasından dolayı bu

eğrilikler, işlenebilirliği zorlaştırmaktadır. Yüzeylerin düzensiz eğriliklerinin artmasıyla, 5 eksenli CNC tezgahların kullanımı önem arz etmektedir. Diğer bir ifadeyle, yüzeylerin kompleksleşmesiyle 5 eksenli CNC tezgahların verimi doğru orantılıdır [7]. 5 eksenli tezgahların kullanılması, gelişmiş kesme yolu sayesinde işlem zamanını %85'e kadar azaltabilmektedir [8,9]. 5 eksenli CNC tezgahın en önemli avantajları daha iyi yüzey kalitesi, daha az işleme zamanı ve düşük kurulum ve işletme maliyeti olarak söz edilebileceğini belirtmiştir. Son 30 yıldır araştırmacıların en çok araştırdıkları konuların başında daha iyi yüzey kalitesi elde edebilmek için, kesme yolunun otomatik olarak en iyi şekilde belirlenmesi gelmektedir [10,11].

Gelişen teknolojik gelişmelerle orantılı olarak, özellikle motorlu taşıtların kullanımının yaygınlaşmasıyla lastik kullanımı ve ihtiyacı, çok hızlı artmaktadır. Otomotiv sektöründe, daha az yakıt tüketimi, daha emniyetli ve güvenli araçlar üretmenin en önemli amaçlar arasında olduğu bilinmektedir. Yakıt tüketimi konusunda en önemli parametrelerden birisi, lastik ve yer arasındaki sürtünmedir. Lastik ve yer arasındaki sürtünmenin minimuma indirilebilmesi, optimum lastik parametrelerine bağlıdır. Benzer şekilde güvenlik konusunda da araçların yol tutuşu ve fren mesafesinin azaltılması, lastik için önemli parametrelerden birisidir. Bu parametrelerin kullanıcı tarafından bilinmesi çok önemlidir. Çünkü kullanıcı kullanım alanına göre farklı özelliklerde lastik seçebilmelidir. Bu desenlerin lastik üzerinde olması kullanıcı, üretici, satıcı için bir standartlaşmaya gitmesini gerekli kılmaktadır. Bu nedenle lastik üreticilerinin hepsinin bu değişik parametreleri (kullanım alanı, lastik ölçüsü, lastik üretim tarihi, hangi ülkede imal edildiği v.b) farklı lastik gruplarında uygulaması gerekmektedir. Bu nedenle lastik sektöründeki bütün üreticilerin lastik desen makinesi kullanarak, farklı desenleri kalıpların üzerine işlenmesi gerekmektedir. Kalıpların üzerine bu desenleri işlemek için CNC (Computer Numerical Control) tezgahları kullanılmaktadır. Son yıllarda desenlerin kompleksleşmesiyle 5 eksenli CNC lastik kalıp desen makinasına olan ihtiyaç da artmaktadır.

2. 5 Eksen CNC

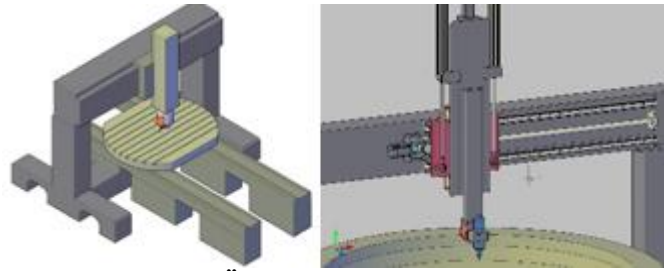
Günümüz makina teknolojisiyle karmaşık yüzeylere sahip ürünlere ihtiyaç artmaktadır. Bu ihtiyacı karşılayacak bilgisayar destekli tasarım araçları geliştirilmektedir. Bu sayede yüzey ve katı modelleme gibi uygulamalar çok daha kolaylaşmaktadır. Bu ürünlerin tasarımı kadar üretimi de önemli olmaktadır. Son yıllarda geliştirilen bilgisayar destekli üretim paketleri artan bu ihtiyacı karşılamaya çalışmaktadır. Karmaşık yüzeylerin işlenmesinde geometrik kısıtlamalar nedeniyle 3 eksen frezelemede parçanın birden fazla bağlanması gerekmektedir. Bir parçayı tek bağlamada üretebilmek için 5 eksen işleme tezgahları geliştirilmiştir [12].

Bu çalışma kapsamında prototip olarak imal edilen 5 eksen CNC, lastik sektörü başta olmak üzere birçok farklı sektörde kullanılabilir. 5 eksen CNC lastik kalıbı desen makinasının, diğer 5 eksenli CNC tezgahlarından ayıran en büyük özelliği kesici motorunun (Spindle Motor) kafa devrinin çok yüksek olmasıdır. Normal bir 5 eksen CNC tezgahın kafa devri 6000-8000 dakika/devir iken, çalışmadaki desen işleme yapacak 5 eksenli tezgahın kafa devri yaklaşık olarak 40000 dakika/devir olması hedeflenmiştir. Bu kadar yüksek devire ihtiyaç duyulmasının gerçek sebebi, kesici ucun ölçüsüyle alakalıdır. Çünkü, kesici ucun kesme çapı 1mm'den bile küçük olmasından dolayı, kalıp yüzeyinden talaş kaldırabilmesi için yüksek devirler gereklidir. Ayrıca bu kadar küçük kesici ucun kullanılmasının bir diğer gerekçesi, karmaşık geometrilerde olabilecek desen yapma işlemi sırasında kalıba takımın çapmadan işlemeye imkan vermesidir. Aynı zamanda çalışmadaki makinenin gövde yapısı, çelik döküm konstrüksiyondan yapılarak parçaların daha hassas işlenebilmesi amaçlanmıştır. Bu şekilde rijit gövde yapısı ile daha kaliteli ürünler ortaya çıkacağı hedeflenmiştir.

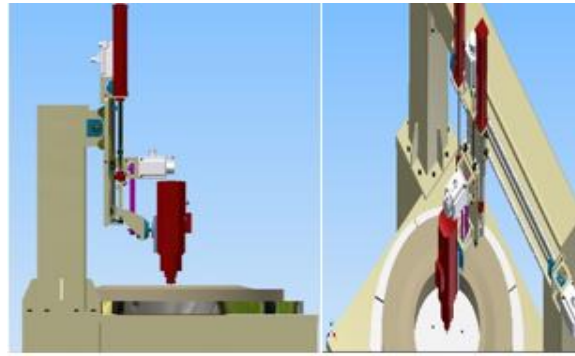
2.1. 5 Eksen CNC Mekanik Tasarım

Bu çalışmada prototip makineye özgün bir mekanik tasarımı belirlenmiştir. Belirlenen mekanik tasarım farklı sektörlerde kullanılabilir hassas şekilde tasarlanmıştır. Tasarım esasları planlanarak prototip makine, bilgisayar ortamında projelendirilme çalışmaları yapılmıştır. Bu amaçla bilgisayar ortamında mekanik hesaplamalar ve teknik çizimler gerçekleştirilmiştir. Bilgisayar ortamında tasarım ve simülasyon programları kullanılarak prototip makinenin mekanik tasarımı çalışmaları tamamlanmıştır. Çalışma başlangıcı olarak bilgisayar ortamında bir ön tasarım çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın

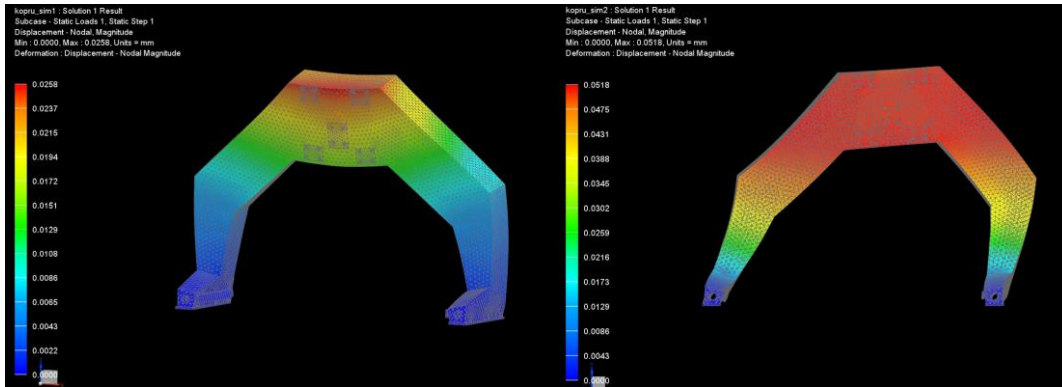
ilerleyen aşamasında ön tasarım üzerinde gerekli birtakım revüzyonlara ihtiyaç duyulduğu belirlenmiştir. Ön mekanik tasarım çalışmalarının çizimi Şekil 1’de görülmektedir. Çalışmada kullanılan prototip makine için tasarlanan son mekanik tasarım ise Şekil 2’de görülmektedir. Çalışmada gerçekleştirilen mekanik analiz görüntüleri Şekil 3 ve Şekil 4’te verilmiştir.



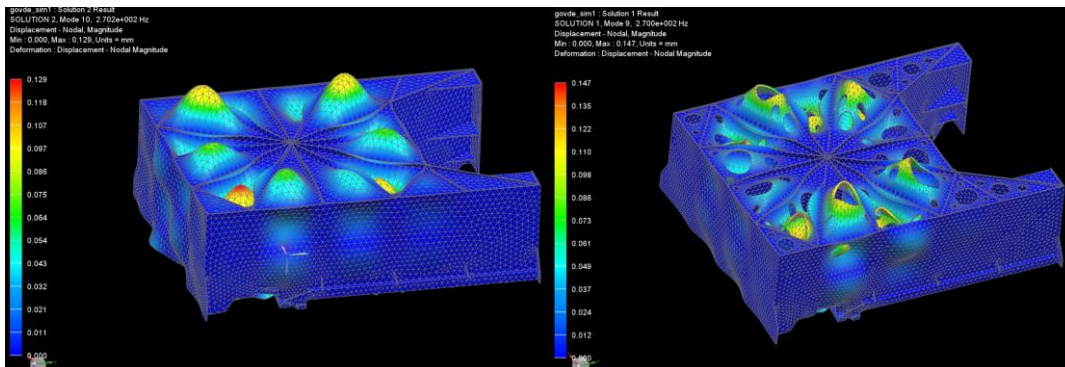
Şekil 1. Ön Mekanik Tasarım [13]



Şekil 2. Mekanik Tasarım



Şekil 3. Mekanik Tasarımın bilgisayar ortamındaki yükleme analizi

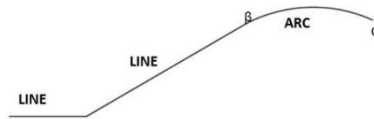


Şekil 4. Mekanik Tasarımın bilgisayar ortamındaki titreşim analizi

Çalışmanın önceki kısımlarında makinenin ön mekanik tasarım ve revize mekanik tasarım çalışmaları bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiştir. Ancak, çalışmanın ilerleyen aşamasında CNC makine tasarımında detaylı ve kapsamlı mekanik analiz çalışmaları gerektiği belirlenmiştir. Bu nedenle bilgisayar ortamında, çalışma konusu makinenin farklı mekanik analiz çalışmaları yapılmıştır. Mekanik analiz esasları baz alınarak yükleme, titreşim v.b analiz yöntemlerinden faydalanarak daha başarılı bir şekilde mekanik tasarım çalışmaları elde edilmesi amaçlanmıştır. Bilgisayar ortamında farklı yük ve titreşim değerlerindeki mekanik sistemin test işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu analiz çalışmaları neticesinde mekanik tasarım çalışmaları iyileştirilmiştir.

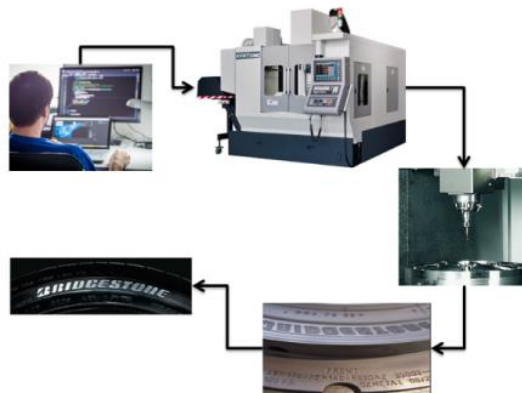
3. Yazılım Çalışması

Bu çalışmada kullanılması planlanan ve araştırmanın en önemli yenilikçi yönlerinden birisi olan özgün yazılım geliştirme çalışmaları yapılmıştır. Bu amaçla literatür taranmıştır. Bu bağlamda, bilgisayar destekli farklı çizim programları incelenmiştir. Çalışmaların odağında, bilgisayar ortamında yapılan çizimlerin matematiksel mantığının anlaşılması bulunmaktadır. Bu maksatla, Autodesk firması bünyesinde bulunan Autocad programı incelenmiştir. Bununla beraber farklı çizim programlarının oluşturduğu DXF uzantılı dosyalar üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca Numeric Control (NC) ortamında oluşturulan dosyalar da incelenerek, özgün bir yazılım araştırma çalışmaları yapılmıştır. Çalışma neticesinde ortaya çıkan makinenin, kesici takım iş parçası üzerinde izleyeceği yörüngenin interpolasyonu için farklı tekniklerin kullanılması hedeflenmektedir. Özellikle iki nokta arasını 'spline' yöntemi ile fonksiyon uydurulması için çalışmalara yoğunluk verilmektedir. Çalışma kapsamında yazılım çıktılarının doğruluğunun saptanması için, 3 eksen CNC bir makine üzerinde test edilmiştir. Geliştirilen yazılım algoritmasının makinede simültane olarak çalıştığı görülmüştür. Yazılım algoritmasında elde edilen çıktılar, NC dosyalarından kontrol edilerek, çalışmalarda tespit edilen koordinat eksenlerinin doğruluğu incelenmiştir. Devam eden çalışma kapsamında farklı yörünge izleme metodları, makinenin kesici takım iş parçası üzerinde izleyeceği yörüngenin interpolasyonu için incelenmektedir. Özellikle iki nokta arasını bu CNC makinesine özel 'spline' yöntemi ile fonksiyon uydurulması için çalışmalar yapılmaktadır.

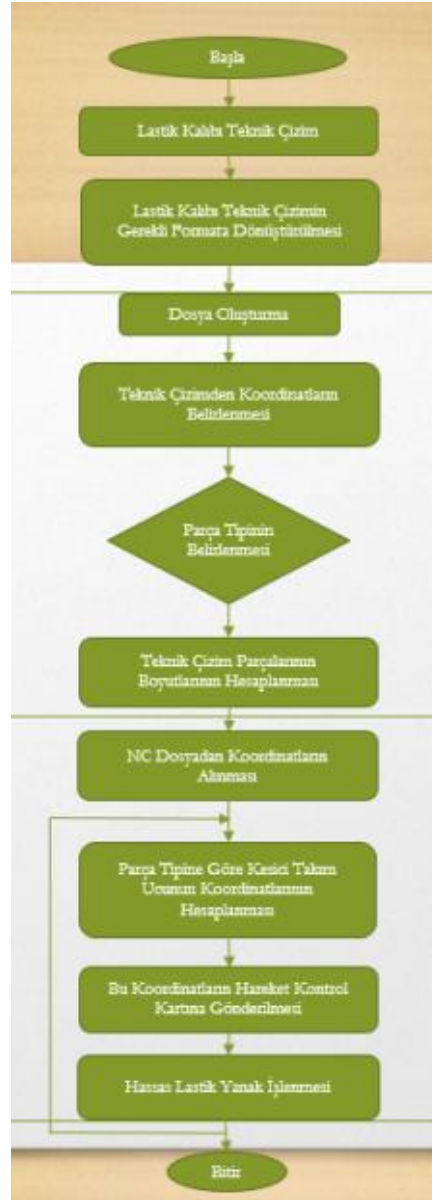


Şekil 5. Line-circle gösterimi [13]

Çalışma konusu makinenin şematik görüntüsü ve matematiksel model çalışmaları neticesinde, geliştirilen yazılım algoritması çalışması şekil 6'da görülmektedir [13].



Şekil 6. Sistemin Şematik Görüntüsü



Şekil 7. Yazılım Algoritmasının Akış Diyagramı

İnterpolasyon polinomlarının derecesi arttıkça, uzun ve karmaşık hale gelmekte, noktalar arasında gerçek eğriden büyük oranda sapmalar olmaktadır. Bunun nedenleri, bulunan polinomun noktalarda fonksiyonun eğimleri hakkında bilgi içermemesi, derece arttıkça kötü şartlanmış denklem sistemlerinin oluşması ve yuvarlama hatalarıdır. Gerçek fonksiyona en uygun, yuvarlama hataları az, bütün noktaları kullanılan ama derecesi düşük interpolasyon polinomları kullanılması daha uygundur. Bu şekilde noktalar gruplandırılarak interpolasyon yöntemlerinden Spline modeli seçilmelidir. Çalışma kapsamında spline modeli ile tezgâh uç takımının daha hassas ve hızlı işleme kabiliyeti kazanabilmesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle makineye özgü spline modeli geliştirilmektedir. CNC takım uçları bu model ile oluşturulan yörüngeyi takip ederek istenilen kalitede ürünler ortaya çıkacaktır. Bilgisayar ortamında çizilen bir parçanın gösterimi Şekil 5’te verilmiştir. Bu çalışmada sistemin genel çalışma mantığı Şekil 6’da ve gerçekleştirilen özgün yazılım algoritmasından bir kısım akış diyagramı Şekil 7’de gösterilmektedir.

Yapılan çalışmada, parça boyutlarının uzunlukları Öklid mesafesi kullanılarak hesaplanmıştır. Öklid uzaklığı, Pisagor Teoremi temel alınarak bir noktanın diğer noktaya olan doğrusal uzaklığının ölçüm yöntemidir. Sınıflandırmada karşılaştırmak için oluşturulan veri kümelerinin sayısına göre, bilgisayar tüm veri setlerini tarayarak yeni verinin ortalamasıyla karşılaştırır ve nesneyi en yakın kümeyle atar. n

boyutlu Öklid uzayında $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ ve $M = (m_1, m_2, \dots, m_n)$ noktaları arasındaki Öklid uzaklığı Denklem (1)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\sqrt{(x_1 - m_1)^2 + (x_2 - m_2)^2 + \dots + (x_n - m_n)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - m_i)^2} \quad (1)$$

$$|Arc| = \frac{2\pi r}{360} |\alpha - \beta| \quad (2)$$

Denklem (1) ile hesaplanan uzunluklar arasındaki açı Denklem (2)'deki gibi hesaplanmaktadır.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, 5 eksenli CNC tezgahın tasarım çalışması bilgisayar ortamında yapılmıştır. Geliştirilen yazılım algoritması için matematiksel model çalışmaları bu Prototip makinede kullanmak üzere gerçekleştirilmiştir. Yörünge planına göre yazılım algoritması NC dosyasından oluşturulmuştur. Çalışmanın ilerleyen dönemlerinde daha hassas ve hızlı yörünge takibi için, iki nokta arasında fonksiyon uydurulması için çalışma konusu makineye özel 'spline' yönteminin yazılım çalışmasına entegre edilmesi yapılacaktır [13].

Teşekkür

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 bildirinin yazarları, verilen destekten dolayı Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na ve Sensör Laboratuvar çalışanlarına teşekkür ederler.

Kaynaklar

- [1] Altan, T., Advanced techniques for die and mold manufacturing. *Annals of CIRP*, 42 (1993), 2, pp. 707-716.
- [2] Bohez, E.L.J., Five-axis milling machine tool kinematic chain design and analysis. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, (2002).
- [3] Elber, G., & Cohen, E., Second-order surface analysis using hybrid symbolic and numeric operators. *ACM Transactions on Graphics*, 12 (1993), 2, pp. 160-178.
- [4] Elber, G., Accessibility in 5-axis milling environment. *Computer-Aided Design* 26 (1994), 11, pp. 796-802.
- [5] Hwang, Y.R., & Liang, C.S., Cutting error analysis for spindle-tiltingtype five-axis NC machines. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 14 (1998), pp. 399-405.
- [6] Jerard, R. B., Angleton, J. M., Drysdale, R. L., & Su, P., The use of surface point sets for generation, simulation and automatic correction of NC machining programs. *Proceeding of NSF Design and Manufacturing Systems Conference, Tempe, AZ*, (1990), pp. 143-148.
- [7] 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 (1997), 2, pp. 223-236.
- [8] Sheltami, K., Bedi, S., & Ismail, F., Swept volumes of toroidal cutters using generating curves. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* (1998).

- [9] Suresh, K., & Yang, D.C.H., Constant scallop-height machining of free-form surfaces. *ASME J. Eng. Ind.* 116, (1994), pp. 253–259.
- [10] Uyar, E., & Kavala, D., 5 Eksen CNC İşleme Tezgahı Tasarımı ve PC Destekli Kontrolü- 1. *MakinaTek Dergisi*, (2010), Türkiye.
- [11] Vickers, W.G., & Quan, K.W., Ball-mills versus end-mills for curved surface machining. *ASME Journal of Engineering for Industry* 111, (1989), pp. 22–26.
- [12] Wang, Y., Ma, X., Chen, L., & Han, Z., Realization Methodology of a 5-axis Spline Interpolator in an Open CNC System. *Chinese Journal of Aeronautics* (2007).
- [13] Kuncan, M., Kaplan, K. and Ertunç, H.M., 5 Axis CNC Tire Surface Prototype Machine, *3rd International Symposium On Innovative Technologies In Engineering And Science, ISITES 2015*, 3-5 June 2015, Valencia, Spain, pp. 759-765.