

ULUSLARARASI 3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ
VE DİJİTAL ENDÜSTRİ DERGİSİ

INTERNATIONAL JOURNAL OF 3D PRINTING
TECHNOLOGIES AND DIGITAL INDUSTRY

ISSN:2602-3350 (Online)

URL: <https://dergipark.org.tr/ij3dptdi>

BEŞ EKSEN CNC SICAK TEL STRAFOR KESİM MAKİNESİ İMALATI

MANUFACTURING FIVE AXIS CNC HOT WIRE STYROFOAM CUTTING MACHINE

Yazarlar (Authors): Onur CEYLAN^{ID*}, Ahmet KABUL^{ID}

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Ceylan O., Kabul A., "Beş Eksen CNC Sıcak Tel Strafor Kesim Makinesi İmalatı" *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, 8(1): 20-31, (2024).

DOI: 10.46519/ij3dptdi.1374711

Araştırma Makale/ Research Article

Erişim Linki: (To link to this article): <https://dergipark.org.tr/en/pub/ij3dptdi/archive>

BEŞ EKSEN CNC SICAK TEL STRAFOR KESİM MAKİNESİ İMALATI

Onur CEYLAN^a , Ahmet KABUL^a 

^a Burdur Mehmet Akif Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, TÜRKİYE

* Sorumlu Yazar: onurceylan15@gmail.com

(Geliş/Received: 11.10.23; Düzeltme/Revised: 29.12.23; Kabul/Accepted: 18.01.24)

ÖZ

Bu çalışmada, beş eksen Bilgisayarlı Sayısal Kontrol (CNC) sıcak tel straför kesme makinesinin tasarımı ve prototip üretimi gerçekleştirilmiştir. Tasarlanacak makine için öncelikle piyasada bulunan straför kesme makineleri incelenmiş ve bu makinelerin eksiklerine göre yeni bir makine tasarlanmıştır. Straförun en kolay kesim yöntemi sıcak telli kesim yöntemidir. Sıcak tel straförun içerisinde ilerlerken straförü eritmektedir. Tasarlanan makine de sıcak teli kullanmaktadır. Makine imalatı sırasında telin ne kadar ısıtılacağı, hareket hızı, çentik genişliği gibi dikkat edilmesi gereken birtakım parametreler mevcuttur. Kesimin hatasız ve düzgün yapılabilmesi için bu parametrelere dikkat edilmelidir. Sıcaklığın ve hızın ayarlanması makine imalatındaki en temel etmendir. Makinenin sıcaklık ayarı doğru akım (DA) gerilim regülatörü ile hız ayarı ise Mach3 programıyla sağlanmaktadır. Piyasada kullanılan iki eksenli straför kesim makinelerinin en önemli eksiği, üç boyutlu (3D) ürünleri kesememeleridir. Geleneksel iki boyutlu ürün kesebilen makinelerin aksine, tasarlanan makine ürünleri 3D şekilde kesebilmektedir. Prototipi üretilen CNC makinenin kolları x ve y eksenlerini temsil etmektedir. Kolların bağımsız şekilde hareket edebilmesi makinenin dört eksenli gibi davranmasını sağlamaktadır. Makine tablasının üstüne yerleştirilen döner tabla sayesinde döner bir A eksenini de elde edilmiştir. Döner bir eksenin ilave edilmesiyle makine beş eksenli olarak da çalışabilmektedir. Makinenin gövdesi 3D yazıcıdan basılan parçalar, sigma profiller ve Orta Yoğunluktaki Lif Levha (MDF) tabladan oluşmaktadır. Hareket, vidalı mil ve kayış kasnak ile sağlanmaktadır. Makinede beş adet step motor ve motor sürücülerini kullanılmıştır. Makinenin kontrolü Mach3 kontrol kartı ile sağlanmaktadır. Makinenin köpüğü işleme ölçüleri 900 mmx900 mmx390 mm'dir. Makine ile ayarlanabilir tel sıcaklığında 0,3 mm nikrom tel ile 2 cm kalınlığında straför kesimi yapılabilmektedir. Tasarlanan makine hem döner tablalı hem de döner tabla olmadan kullanılabilir. Prototip üretimi yapılan makine ile konik kesim, yıldız-beşgen kesim, vazo kesim ve burgulu kesim çalışmaları başarılı bir şekilde uygulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: CNC Straför Kesim, Sıcak Tel, Beş Eksen, Döner Tabla.

MANUFACTURING FIVE AXIS CNC HOT WIRE STYROFOAM CUTTING MACHINE

ABSTRACT

In this study, the design and prototype production of a five axis Computer Numerical Control (CNC) hot wire styrofoam cutting machine has been investigated. The styrofoam cutting machines which are available in the market has been investigated firstly. Then the proposed machine has been designed to overcome of the shortcomings of the existence machines. The easiest cutting method of styrofoam is the hot wire cutting method. If the hot wire moves through the styrofoam, the styrofoam will be melt. The proposed machine uses hot wire, too. The parameters such as; how much the wire should be warmed, the moving speed of wire, the width of the notch, should also be considered. In order to achieve accurate and smooth cutting process, these parameters should be set carefully. The fundamental manufacturing process of machine includes the adjustment of speed and temperature. While the temperature can be adjusted with a direct current (DA) voltage regulator, the speed can be adjusted by using Mach3

program. The most important disadvantage of two axis styrofoam cutting machines is the unavailability of three dimensional (3D) cutting. In contrast of two dimensional cutting machines, the proposed machine has an ability to cut 3D. Straight motion of the prototype CNC machine has been represented with x-axes and y-axes. The movement process has been achieved like four-axes by the regardless movement of two axes. A rotary table is mounted on the machine chasis to obtain rotational A-axis. By adding this rotational axis, the number of axes of the proposed CNC machine has been upgraded to five axes. The structure of the machine consists of materials which are produced in 3D printer, sigma profiles and Medium-Density Fiberboard (MDF) table. The movement has provided with the usage of ball screw and belt pulleys. Five step motors and their drivers have been used in the machine. The control of the machine has been provided with Mach3 control card. The dimensions of the processed styrofoam are $900\text{ mm} \times 900\text{ mm} \times 390\text{ mm}$. The machine is capable of cutting 2 cm styrofoam with 0.3 mm nichrome wire with adjustable temperature. The proposed machine can be operated both with a rotary table and without a rotary table. Conical, star-pentagon, vase and twisted cutting process has been applied successfully with the prototype machine.

Keywords: CNC Styrofoam Cutting, Hot Wire, Five Axis, Rotary Table.

1. GİRİŞ

Bilgisayarlı sayısal kontrol (CNC) makineleri farklı imalat sektörlerinde torna, freze, delme, taşlama, kesme, vb. operasyonel işlemleri yerine getirmek amacıyla yaygın olarak tercih edilen endüstrinin ana makineleridir [1-2]. CNC makinelerin temeli 1940'lı yıllarda üretilen Nümerik Kontrol (NC) makinelerine kadar dayanmaktadır. Günümüzde bilgisayar teknolojisindeki ilerlemeye paralel olarak çok değişik tipte ve özellikle CNC makineleri kullanılmaktadır [3-4].

Endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan CNC makineleri iki veya üç eksenlidir [5]. İki eksenli CNC makineleri x-eksen ve y-eksen doğrultusunda hareket ederken; üç eksenli CNC makineleri x-eksen, y-eksen ve z-eksen doğrultusunda hareket edebilmektedir. Gelişen bilgisayar, elektronik ve kontrol sistemlerinin yardımıyla üç lineer eksene ek olarak iki döner eksen de günümüz CNC makinelerinde tercih edilmektedir [6]. Gün vd., üç sabit ve iki döner eksene sahip beş eksenli beşik sistemli CNC freze tezgâhı üretimi yapmışlardır. Ürettikleri makine x, y ve z-eksenlerinde sırasıyla 400 mm , 400 mm ve 120 mm çalışma alanına sahip olup Mach3 kontrol programı ile çalıştırılmıştır [7]. Taşınabilir boyutlarda CNC freze makinesi üretimi alanında çalışan Bakar vd., $300\text{ mm} \times 300\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ ölçülerinde mini bir CNC freze makinesi tasarlamışlardır. Metal parçalarını yüksek hızlarda işleyebilme kapasitesine sahip CNC makinesinin eksenleri açık kaynak geometrik kodlar (G-kodları) ile

kontrol edilmiştir [8]. Rahman vd., x, y ve z-eksenlerinde sırasıyla 400 mm , 300 mm ve 200 mm çalışma alanına sahip üç eksenli bir CNC freze makinesi tasarlamışlardır. Çalışmalarında Mach3 kontrol kartı ile CNC makinenin eksen hareketleri kontrol edilmiştir. Üretilen makinenin endüstriyel uygulamalardan ziyade eğitim hedefli uygulamalar için kullanılması amaçlanmıştır [9].

Prototip CNC makine üretimi araştırma çalışmalarında mekanik tasarımın, matematiksel modellemenin ve yazılım algoritmasının bütünsel olarak geliştirildiği çalışmalar da mevcuttur. Kuncan vd., CNC tezgahlarındaki yazı ve desenlerin üç boyutlu karmaşık yüzeylere aktarılması için matematiksel dönüşüm algoritması gerçekleştirmişlerdir [10]. CNC makine üretimleri kadar CNC makinelerin kabiliyetlerini arttıracak çalışmalar da güncel çalışma konularındadır. Öztürk ve Kuncan, kameradan alınan gerçek zamanlı görüntüleri CNC tezgâhında işlemişlerdir. Görüntü işleme aşamasında MATLAB programı kullanılan çalışmada, G-kodları MATLAB üzerinde çalıştırılan bir komut dosyası ile elde edilmiştir. Üç eksen bir CNC makinesi yardımıyla kameradan alınan görüntüler başarılı bir şekilde işlenmiştir [11].

Strafor; kolay işlenebilen, ucuz ve hafif bir malzemedir. Strafor, tabelalarda ve ambalaj sanayisinde yalıtım ve dekorasyon malzemesi olarak kullanılmaktadır. Strafor kesimi için de özelleşmiş CNC makineler vardır. Strafor

kesim makinelerinde akım taşıyan bir telin köpük içerisinde hareket etmesiyle, telin temas ettiği köpük buharlaşır. Bu işlem, kısmen köpük yüzeyini eritir ve kesim yerinde açık bir boşluk bırakır. Bu boşluğa çentik denir [12]. Abeysinghe vd. [13] yaptıkları çalışmada telin sıcaklığının ve besleme hızının çentik genişliğine etkisini incelemişlerdir. Mohammed ve Kadhum [14] kesimi etkileyen parametrelere straforun yoğunluğunu da katarak, parametrelerin kesim üzerindeki etkilerini yüzdesel olarak ortaya koymuşlardır. Elektromekanik bir model Petkov ve Hattel [15] tarafından 2016 yılında yaptıkları bir çalışmada önerilmiştir. Kullandıkları yöntemle telin gerilimini ve sıcaklığını tahmin etmişlerdir. Ek olarak yatay yönden ölçülen kesme açısı ile kesme genişliğini ilişkilendirmişlerdir.

Sıcak kesim makinelerinde nikrom teller farklı malzemeleri kesen CNC makinelerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Nikrom telin kesim sırasında eğilmesini önlemeye yönelik yapılan bir çalışmada Karmakar ve Subbiah, kesim malzemesi olarak Ekspande Polistren Köpük (EPS) malzemesini tercih etmişlerdir [16]. Memon vd., nikrom tel ile yapılan kesimlerdeki farklı sıcaklıkların CNC makinelerdeki güç tüketimlerine etkilerini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre kesimi yapılan farklı malzemelere göre yüksek akım ihtiyacını karşılamaya yönelik Çift Birleşim Yüzeyleli Transistör (BJT) tabanlı doğru akım (DA) regüle devresi önermişlerdir [17].

Strafor kesme makineleri özelleşmiş CNC makineleri arasında yer almaktadır. Strafor kesme makineleri üzerine yapılan araştırmalar daha çok iki, üç ve dört eksenli strafor kesme makinelerinin tasarlanması ve geliştirilmesi üzerinedir. Syahriza vd., [18] Arduino kontrol kartlı iki eksenli CNC strafor kesme makinesi geliştirmişlerdir. Fahrizal vd., [19] iki eksenli CNC strafor kesme makinesi tasarlamış ve deneyler yapmışlardır. Yapılan çalışmada kesilen parçalardaki hata oranları da hesaplanmıştır. Ivanovskis [20] tarafından 2017 yılında yapılan tez çalışmasında uçak modellemek için dört eksenli sayısal kontrollü sıcak telli köpük kesici geliştirmiştir. Figliolini vd. [21] tarafından tasarlanan makine alışılmış sıcak tel strafor kesme makinelerinin dışındadır. Tasarlanan makine x, y, z eksenlerine ek olarak z eksenine bağlanmış döner bir eksen de

içermektedir. Tel ise döner eksenin ucuna ve döner eksene dik bir şekilde bağlanmıştır.

Mevcut araştırmaların yanında endüstriyel üretim süreçlerinde kullanılan CNC sıcak tel strafor kesim makineleri de bulunmaktadır. Bu makinelerin birçoğu ile yatay ve dikey eksende kesim yapılabilen ancak döner bir tablaya sahip olmamaları nedeniyle spiral formlu (burgulu) kesimler yapılamamaktadır. Çalışmanın temel motivasyonu halihazırda iki veya dört eksen olarak çalışan sıcak tel strafor kesim makinelerine beşinci eksen olarak döner bir tabla eklenmesi ile spiral formlu kesimlerin de yapılabileceği prototip bir makine üretmektir.

Çalışmada tasarlanan CNC makinesinin öne çıkan özellikleri:

- Strafor malzemesinin kesimi sıcak bir tel yardımıyla yapılmaktadır.
- Tasarımda kullanılan 360° dönebilir özelliğine sahip tabla yardımıyla, makine beş eksen olarak çalışabilmektedir.
- Makine kolları birbirinden bağımsız şekilde hareket edebilmektedir.
- Makine, portatif olarak kullanılabilir.

Çalışmanın 2. bölümünde makine eksenlerinin tasarımı ve elektronik kontrol panosu sunulmaktadır. Bölüm 3'te tasarlanan prototip makineye ait kesim aşamaları ve örnek çalışmalar ortaya konulmaktadır. Makale, Bölüm 4'teki değerlendirmeler ile sonuçlandırılmaktadır.

2.TASARIM VE YÖNTEM

2.1. Sistem Tasarımı

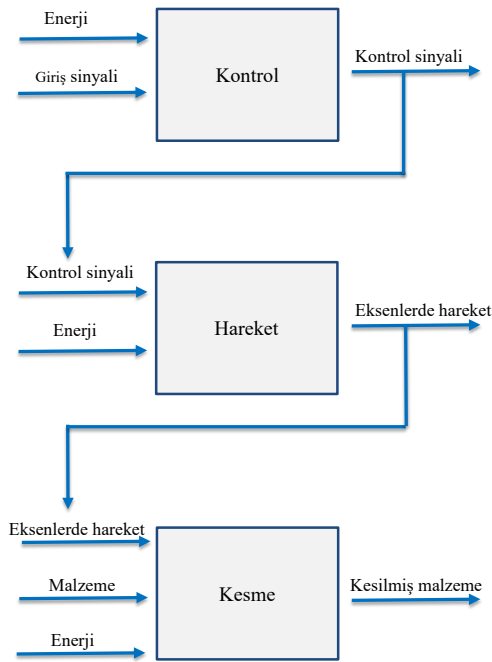
Prototip üretimi yapılan makinenin amacı strafor kesmektir. Bu nedenle üretilecek makine 'Strafor Kesme Makinesi' olarak adlandırılabilir. Bu makine bilgisayar kontrollü sayesinde straforun otomatik olarak kesilmesini sağlar. Makineye gönderilen kontrol sinyali nasıl bir kesim yapılacağını belirler. Verilen kontrol sinyali sayesinde eksenler hareket eder ve hareket eden tel kesim işlemi yapar. Şekil 1'de sistemin işleyiş ana fonksiyonu verilmiştir [22].



Şekil 1. CNC strafor kesme makinesi ana fonksiyonu [22].

Şekil 2’de CNC kontrollü strafor kesme makinesinde 3 adet alt fonksiyon sunulmuştur [22]. Bunlar;

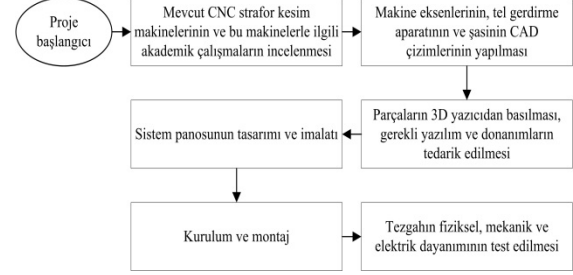
- Kontrol alt fonksiyonu,
- Hareket alt fonksiyonu,
- Kesme alt fonksiyonu.



Şekil 2. CNC strafor kesme makinesi alt fonksiyonları [22].

Prototip CNC makinenin üretimi için öncelikle endüstriyel uygulamalarda kullanılan CNC sıcak tel strafor kesim makineleri fiziksel ve operasyonel çalışma şartları açısından incelenmiştir. Bu makinelerin tasarımlarını, optimizasyonlarını ve iyileştirmelerini konu alan güncel akademik çalışmalar da detaylıca araştırılmıştır. Eksen parçaları üretilmeden önce Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) çizimleri yapılarak üretim sürecine geçilmiştir. Üretim sürecinde gerekli parçalar 3D yazıcıdan basılmış, ihtiyaç duyulan yazılım ve donanımlar tedarik edilmiştir. Sistem kontrol panosu içerisinde kullanılacak elektronik devrelerin benzetim çalışmaları yapılarak, makine sistem panosu imal edilmiştir. Montaj ve kurulum

işlerini takiben de prototip CNC makinesi test edilmiştir. Bu aşamaların gösterildiği blok diyagram Şekil 3’te sunulmuştur.



Şekil 3. CNC strafor kesme makinesi üretim aşamaları.

2.2. Makine Eksenlerinde Hareket

Kartezyen makinenin tasarımında dikkate alınması gereken en önemli şey koordinat sistemidir. Koordinat sisteminin belirlenmesi özellikle tercih edilen yazılım programı için önemlidir. Kartezyen koordinat sisteminde x-ekseni makinenin yatay hareketini, y-ekseni ise makinenin dikey hareketini temsil etmektedir. Kolların sağa ve yukarı hareketleri pozitif, ters yöndeki hareketleri ise negatif kabul edilmiştir. Makine üzerinde kolların başlangıç konumu sol alt köşede yani 0.0 konumundadır. Şekil 4’te ve Şekil 5’te sırasıyla x ve y eksenlerinin çizimleri verilmektedir.

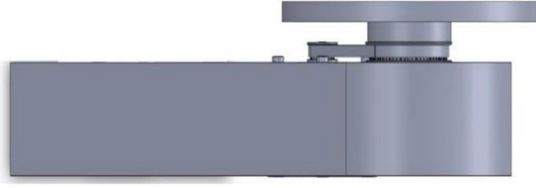


Şekil 4. x-ekseni CAD çizimi.



Şekil 5. y-ekseni CAD çizimi.

Koordinat sisteminde z-ekseni yukarı aşağı yönü temsil etmektedir. Bu makinenin tasarımında z-ekseni, x-ekseni veya y eksenine paralel 360° dönebilen bir eksen temsil etmektedir. Şekil 6’da ve Şekil 7’de sunulduğu üzere döner tabla iki farklı şekilde kullanılabilir.



Şekil 6. z-ekseni (y-eksenine paralel) CAD çizimi.



Şekil 7. z-ekseni (x-eksenine paralel) CAD çizimi.

2.3. Kesme İşlemi

Kesme işlemi için öncelikle uygun sıcaklık ve hareket hızı sağlanmalıdır. Bunlar sağlandıktan sonra iki kol arasında bağlanan telin yeterince gergin olması gerekir. Kollar birbirinden bağımsız hareket ettiği için tel boyu değişken olmalıdır. Bunun için telin boyu değiştikçe telin hala gergin kalmasını sağlayan bir sisteme ihtiyaç duyulmuştur. Şekil 8’de sunulduğu üzere y-eksenindeki hareketli parça üzerine bağlanan yaylı sistemle, telin boyu değişmektedir. Şekil 9’da tel gerdirme aparatının makine kollarına bağlanmış hali verilmektedir.



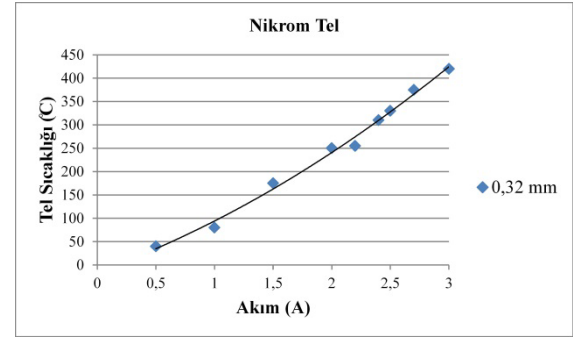
Şekil 8. Teli gerdirme aparatı CAD çizimi.



Şekil 9. Tel gerdirme aparatı montajlı hali CAD çizimi.

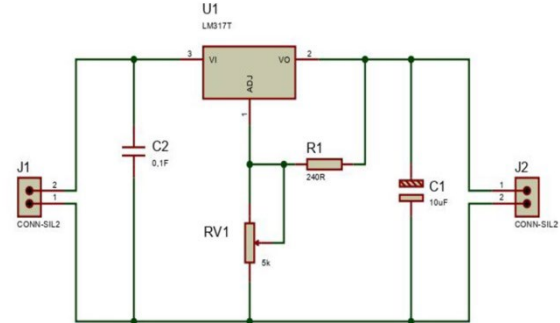
2.4. DA Gerilim Regülatörü

Telin sıcaklığının ayarlanması güç kaynağından çıkan gerilimin değiştirilmesiyle mümkündür. Strafor köpüğün kesimi için elektrik ile ısıtılan nikel krom alaşım ve çapı 0,3 mm olan tel kullanılmıştır. Abeyinghe vd. tarafından 0,32 mm çaplı nikrom tel kullanılarak yapılan tel sıcaklığı-akım değişimi çalışmasına [13] ait sonuç grafiği Şekil 10’da paylaşılmaktadır.



Şekil 10. Tel sıcaklığının akım ile değişim grafiği [13].

Prototip makinedeki kesimler için sabit kalınlığa sahip straforlar kullanılmaktadır. Sıcaklık değişimi DA gerilim regülatörü sayesinde yapılmaktadır. Şekil 11’de DA gerilim regülatörünün devre şeması verilmektedir.



Şekil 11. DA gerilim regülatörü devre şeması.

2.4.1. Kullanılan Telin Direnci ve DA Gerilim Regülatörü Çıkış Parametreleri

Maddelerin elektrik enerjisinin iletilmesine karşı gösterdikleri dirence “elektiriksel direnç” denir. Güç kaynağından çekilen akımın hesaplanabilmesi için kullanılan telin direncinin hesaplanması gerekmektedir.

Kablo direncinin hesaplanması aşağıdaki etmenlere bağlıdır.

- Kablo metalinin öz direnci
- Kablonun uzunluğu
- Kablonun kesiti

İletkenin direnci Denklem (1) kullanılarak hesaplanır [23].

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (1)$$

R : Bir iletkenin direnci (Ω)

ρ : Bir iletkenin öz direnci ($\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$)

l : Bir iletkenin uzunluğu (m)

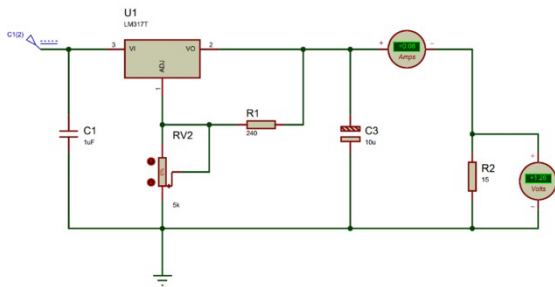
A : Bir iletkenin kesiti (mm^2)

Tel olarak nikrom tel kullanıldığı için hesaplamalar nikrom telin öz direnci olan $1,05 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$ üzerinden yapılmaktadır. Kullanılan telin çapı $0,3 mm$ seçilmiş, uzunluğu $1 m$ kabul edilmiştir.

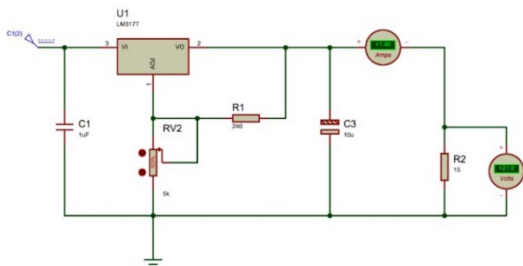
Eşitlik (2)'de sunulduğu üzere, nikrom telin direnci 15Ω olarak hesaplanmıştır.

$$R = 1,05 \frac{1}{\pi \times 0,15^2} \approx 15 \Omega \quad (2)$$

Şekil 11'de sunulan devrenin çıkışına direnç hesabı yapılan nikrom teli temsilen 15Ω 'luk yük bağlanmaktadır. Potansiyometrenin ayar konumuna göre ölçülen gerilim değerleri $1,2 V - 22 V$ arasında, ölçülen akım değerleri ise $0,08 A - 1,46 A$ değerleri arasında değişmektedir. Şekil 12'de ve Şekil 13'te sırasıyla potansiyometrenin %0 ve %100 konumları için elde edilen ölçüm sonuçları verilmektedir.



Şekil 12. Potansiyometre %0 konumunda.

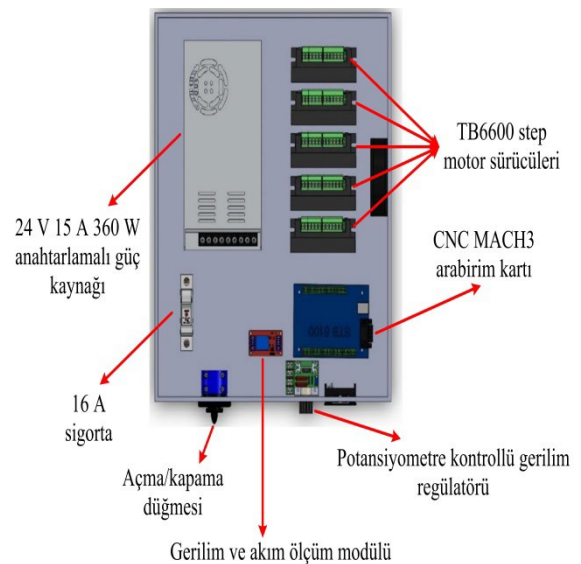


Şekil 13. Potansiyometre %100 konumunda.

Şekil 10 referans alındığında, prototip üretimi yapılan makinedeki kesimler için $200^\circ C$ civarında bir sıcaklık $2 cm$ civarında bir köpüğü kesmek için yeterli olacaktır.

2.5. Pano Tasarımı

Makinenin hareketi step motorlar ve bu motorların sürücüleri tarafından sağlanmaktadır. Güç kaynağı ise sisteme güç sağlamaktadır. Teli uygun sıcaklığa getirmek için DA gerilim regülatörüne ihtiyaç vardır. Gerilim ölçümü ise dijital voltmetre ile sağlanmaktadır. Kontrol kartıyla tüm sistem kontrol edilmektedir. Pano tasarımında kullanılan $24 V, 15 A, 360 W$ anahtarlama güç kaynağı ile DA gerilim regüle devresi ve CNC MACH3 arabirim kontrol kartı beslenmektedir. Sıcaklık kontrolünü sağlayan DA regülasyon devresinin açıp/kapatılması da yine pano üzerine konulan harici bir aç/kapa anahtar ile yapılmaktadır. Mach3 kontrol kartı ile tezgâh tasarımında kullanılan Nema17 step motorların sürücüleri (TB6600) kontrol edilmektedir. DA regülasyon devresinden ölçülen akım ve gerilim değerleri bir display aracılığıyla pano üzerinden takip edilmektedir. Pano yüksek akımları önlemek amacıyla $16 A$ sigorta kullanılmaktadır. Pano tasarımı CAD çiziminin üstten ve önden görünüşleri sırasıyla Şekil 14'te ve Şekil 15'te sunulmaktadır.



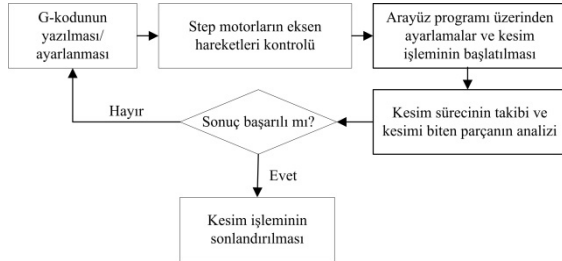
Şekil 14. Pano CAD çiziminin üstten görüntüsü.



Şekil 15. Pano CAD çiziminin önden görüntüsü.

2.6. Yazılım

Kartezyen sistemini kullanan çoğu makine gibi tasarlanan makine de G-kodu tabanlıdır. İstenilen çizimin yapılabilmesi ancak çizimin makinenin anlayabileceği G-kodu diline çevrilmesiyle mümkündür. Bir bilgisayar yardımıyla kesimi yapılacak parçanın CAD programında çizimi yapılmakta ve Bilgisayar Destekli Üretim (CAM) programı aracılığıyla G-kodu dönüşümü yapılmaktadır. CNC Mach3 kontrol kartı aracılığıyla CNC makinenin eksen hareketleri kontrol edilmektedir. Nikrom tel istenilen sıcaklık değerine ayarlanarak kesim işlemi başlatılmaktadır. Kesim işlemi sırasında ve kesimden sonra, kesimi yapılan parça fiziksel olarak incelenerek kesimin başarısı değerlendirilmektedir. İstenilen başarımın elde edilememesi durumunda G-kodları üzerinde tekrardan bir çalışma yapılmaktadır. Kesim işleminin başarılı olması halinde süreç sonlandırılmaktadır. Bu aşamaları gösteren blok diyagram Şekil 16'da verilmektedir.

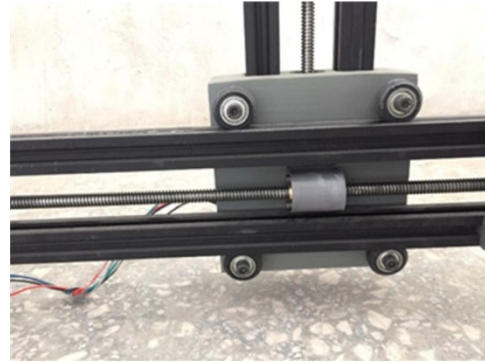


Şekil 16. Kesim işlemi blok diyagramı.

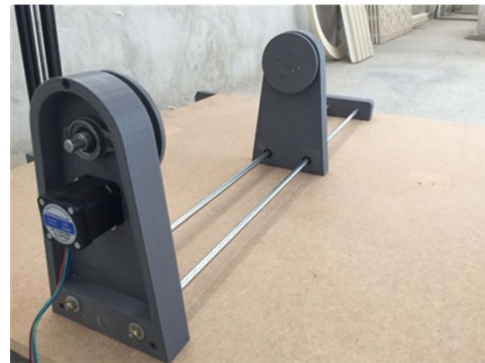
2.7. Makine Parçalarının Üretimi

Kavramsal tasarım çalışmaları sonucunda makinenin parçaları ve nasıl çalışacağı belirlenmiştir. Kesilecek olan parçanın döner bir eksene bağlı olduğu, telin bağlı olduğu kolların bağımsız olarak iki eksende hareket edebildiği kartezyen bir sistem düşünülmüştür. Strafor köpüğü kolaylıkla kesebildiği için kesici olarak ısınabilen bir tel kullanılmıştır. Makine kolları; hafiflik, dayanım ve montaj kolaylığı gibi özellikleri nedeniyle 20 * 20 mm V slot sigma profillerden üretilmiştir. Öteleme hareketlerinde sigma profil üzerinde hareket edebilen rulmanlı tekerlere karar verilmiştir. Makine ana gövdesi maliyet avantajı sağlaması adına Orta Yoğunluktaki Lif Levha (MDF) ve plastikler kullanılarak üretilmiştir. MDF

tablanın kalınlığı 18 mm'dir. Makinenin doğrusal hareketi 2 mm hatveli vidalı mil ve somunlarla sağlanmaktadır. Bu vidalı millerin birer ucu motorlara, diğer uçları rulmanlı yataklara bağlanmıştır. x-ekseni için 100 cm, y-ekseni için 50 cm vidalı mil kullanılmıştır. Şekil 17'de vidalı mil ve somun sunulmaktadır. Döner tablanın hareketi ise kayış kasnak sistemiyle sağlanmaktadır. Motorun miline bağlı bulunan kasnak, hareketi kayış aracılığıyla daha büyük bir kasnağa aktarmaktadır. Kasnaklar arasında 1:3 oran bulunmaktadır. Döner tabla Şekil 18'de sunulmaktadır. Makede kullanılan telin boyu eksen hareketlerine bağlı olarak değişebilmektedir. Projede tasarlanan tel gerdirme mekanizması bu boy değişikliklerinde yeterli gerginliği koruyabilmektedir. Tel gerdirme mekanizmasına ait görsel Şekil 19'da verilmektedir. Makinenin köpüğü işleme ölçüleri 900 mmx900 mmx390 mm olup, makinenin genel görüntüsü Şekil 20'de sunulmaktadır.



Şekil 17. Vidalı mil ve somun.



Şekil 18. Döner tabla.



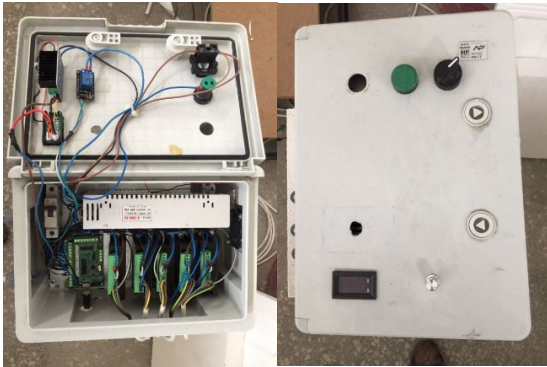
Şekil 19. Tel gerdirme mekanizması.



Şekil 20. Makinenin genel görüntüsü.

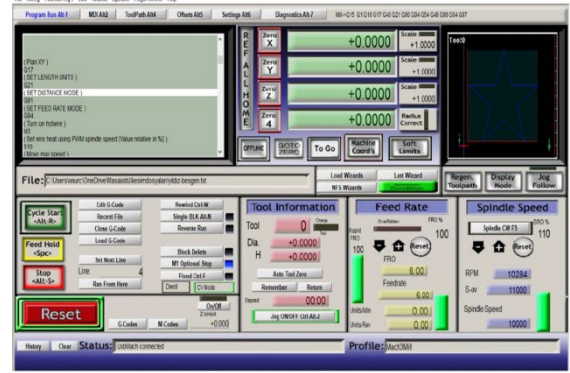
3. SİSTEM KONTROLÜ VE TEST ÇALIŞMALARI

Şekil 14’te CAD çizimi verilen kontrol panosunun üretilmiş hali Şekil 21’de sunulmaktadır. Kontrol panosu; kontrol kartı, sürücüler, sigorta ve güç kaynağından oluşmaktadır. DA gerilim regülatörü, multimetre ve gerilim regülatörünü açıp kapatan anahtar pano içerisinde yer almaktadır.



Şekil 21. Makine kontrol panosu.

Hareket kontrol kartı Mach3 programı ile kontrol edilmektedir. Mach3 programı sayesinde makinenin hızı ayarlanabilmekte ve manuel olarak telin ıslığı açılıp kapatılabilmektedir. Mach3 ana ekranı Şekil 22’de verilmiştir. Mach3 programı daha önceden hazırlanan G-kodlarını kullanarak makinenin hareketini sağlamaktadır.



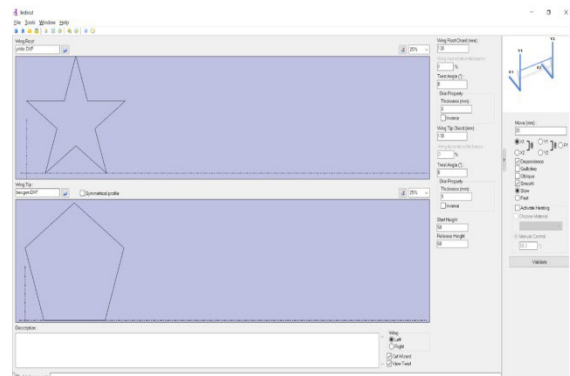
Şekil 22. Mach3 ekranı.

3.1. Test Çalışmaları

Bu aşamada tasarımı, imalat ve testleri tamamlanan CNC strafor kesme makinesi ile örnek çalışmalar yapılmıştır. Döner tablalı ve döner tablanın olmadığı iki ayrı durum için makinede kesimler yapılmıştır. Yapılan örnek çalışmalar bu bölümde gösterilmiştir.

3.1.1. Dört Eksen Kesimler

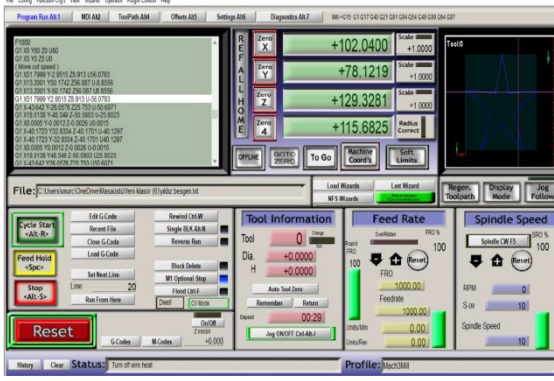
Solidworks programında ayrı ayrı çizilen yıldız ve beşgen şekiller .dxf formatında kaydedilmiştir. Jedicut programında bir kenarı yıldız bir kenarı ise beşgen olacak şekilde parçanın ölçüleri ve kesim yolu ayarlanmıştır. Bu durumu ifade eden görsel Şekil 23’te verilmektedir. Şekil 24’te Mach3 ekranındaki G- kodunun akışı, Şekil 25’te Mach3 programı arayüzü, Şekil 26’da işlenen parçanın anlık olarak kesim anındaki görüntüleri, Şekil 27’de ise kesilen parçanın görüntüsü verilmektedir.



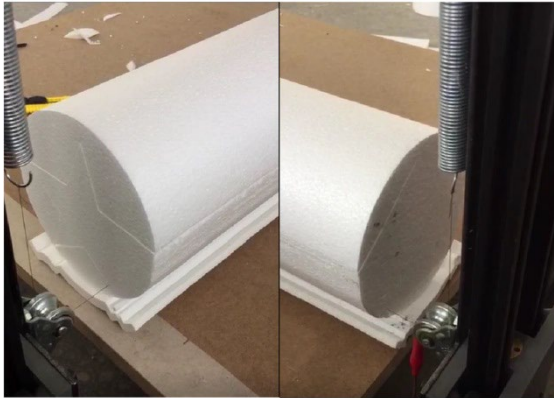
Şekil 23. Jedicut program arayüzü.



Şekil 24. Yıldız-beşgen kesim G-kodu akışı



Şekil 25. Yıldız-beşgen kesim Mach3 ekranı.



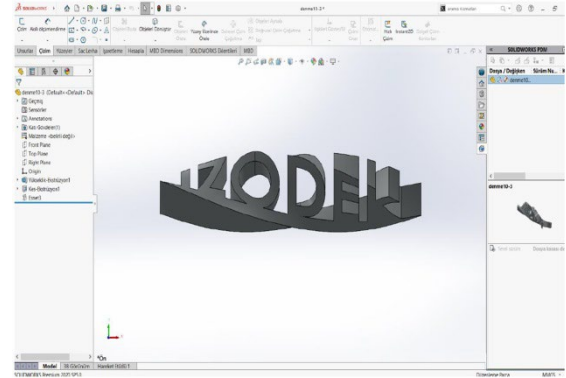
Şekil 26. Yıldız-beşgen kesim anlık kesim görüntüsü.



Şekil 27. Yıldız-beşgen kesim.

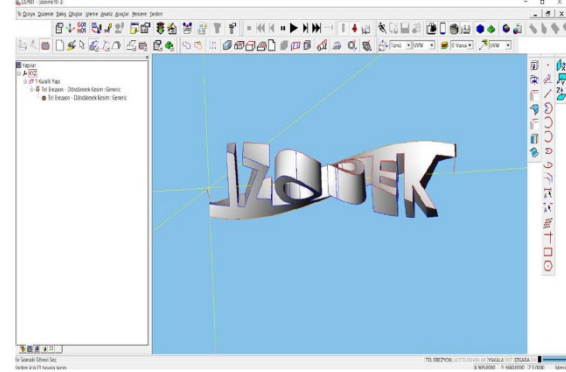
3.1.2. Döner Tablolu Kesimler

Döner tablunun eklenmesiyle makine beş eksenli de çalışabilmektedir. Şekil 28'de sunulan görsel üç boyutlu olarak Solidworks programında çizilerek .sldprt uzantısıyla kaydedilmiştir.



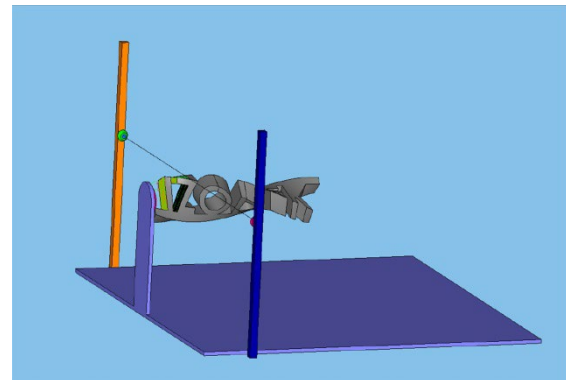
Şekil 28. Solidworks programında çizilmiş şekil.

Çizimi yapılmak istenilen. sldprt uzantılı görsel işlenerek makinenin çalışması için gerekli olan G-kodları Esprit programında hazırlanmıştır. Şekil 29'da Esprit programının arayüzü ve kesim yolu görülmektedir.



Şekil 29. Esprit programının arayüzü.

Şekil 30'da çizimi hedeflenen görselin simülasyonu, Şekil 31'de ise beş eksenli makine tarafından kesimi tamamlanan parçalar sunulmaktadır.



Şekil 30. Esprit programında parçanın kesim simülasyonu.



Şekil 31. Burgulu yazı.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tasarlanan makine için öncelikle literatür araştırması yapılmış ve piyasada kullanılan strafor kesme makineleri incelenmiştir. Bu araştırmalarda mevcut makinelerin birtakım eksiklerinin olduğu görülmüştür. Mevcut makineler iki eksenli ya da dört eksenli çalışmaktadır. Beşinci eksen olarak döner bir eksenin eklendiği kesim makinelerine imalat sektöründe ihtiyaç duyulmaktadır. Bağımsız kolları sayesinde dört eksenli gibi çalışabilen makineye döner tablanın eklenmesi, makinenin beş eksenli çalışabilmesine olanak sağlar. Kesim sırasında hareket ve sıcaklık parametrelerinin makineye tanımlanması gerekmektedir. Sıcaklık kontrolü için DA gerilim regülasyon devresi tasarlanarak istenilen kesim sıcaklığına potansiyometre yardımıyla ulaşılmaktadır. Eksen hareketleri step motorlar ile yapılmaktadır. G-kodları ile eksen hareketleri makine dilinde tanımlanmakta, MACH3 kontrol kartı ile de step motor sürücülerini yönetilmektedir.

Prototip üretimi yapılan makine ile dört eksen kesimlere örnek olabilecek yıldız-beşgen kesimler yapılmıştır. Bu kesim tipine ait sonuçlar Şekil 27’de sunulmaktadır. Çalışmanın temel motivasyonunu oluşturan döner tabla ile spiral formlu şekiller kesilebilirken bağımsız kollar ile de simetrik olmayan şekiller kesilebilmektedir. Şekil 31’de döner tablanın kullanıldığı burgulu yazı kesim formatına ait kesilen parçaya ait bir görsel sunulmaktadır. Döner tablanın kullanılarak sıcak telli strafor kesiminin yapıldığı bir başka çalışma ise vazo kesimidir. Şekil 32’de strafor kesiminde döner

tablonun kullanıldığı vazo kesim anının görüntüsü, Şekil 33’te ise kesim sonucunda elde edilen parça sunulmaktadır.



Şekil 32. Vazo kesim anındaki görüntüsü.



Şekil 33. Burgulu kesim.

Yapılan test kesimlerinde makinenin geliştirilebilecek yönleri de tespit edilmiştir. Sıcaklık hız ayarının istenildiği gibi yapılamadığı görülmüştür. Makinenin yüksek hızları için sıcaklık düşük kalmaktadır. Bu durum güç kaynağından bağımsız ayrı bir oto transformatör ile düzeltilebilir. Çalışmalarda karşılaşılan en büyük zorluk istenilen çizimin CAM programında G-koduna dönüştürülmesinde yaşanmaktadır. Strafor kesim makineleri için özelleşmiş CAM programları bulunmamaktadır. CAM programı eksikliği nedeniyle bazı kodlar elle yazılmıştır. Bu da hata oranını arttırmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Koc, K.H., Erdinler, E.S., Hazir, E., Öztürk, E., “Effect of CNC application parameters on wooden surface quality”, *Measurement*, Vol. 107, Pages 12-18, 2017.
2. Cesur E., Cesur M.R., Aydoğan B.N., “CNC Tezgahlarının Dijital İkiz Modeli ile Komut Tamamlanma Sürelerinin Tahmin Edilmesi” *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, Vol. 7, No. 2, Pages 303-321, 2023.
3. Bal, B.C., “CNC makinelerinin bazı ayarlarının parça işleme süresi ve lif levhanın yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri”, *Malzeme Bölümü. Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, Cilt 2018 -1, Sayı 1, Sayfa 21-30, 2018.
4. Aydoğmuş, D., “Doğaltaş CNC Makinelerinin çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak seçimi”, *Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar*, 2021.
5. Li, J., Wang Y., Li, Y., Luo W., “Reference trajectory modification based on spatial iterative learning for contour control of two-axis NC systems, *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, Vol. 25, No. 3, Pages 1266-1275, 2020.
6. Naqvi, S.Y.A., “Design, prototype, and control of 5-axis desktop CNC milling machine”, *Master of Science, Graduate School of Natural and Applied Sciences of Karabuk University, Karabük*, 2014.
7. Gün, M.S., Kaygısız, H., Çetinkaya, K., “Beş eksenli beşik sistemli CNC tasarımı ve imalatı”, *I. Uluslararası Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Sempozyumu (ISIDE14)*, Sayfa 6-11, Karabük, 2014.
8. Bakar, M.H.A., Samsudin, M.H., Zamri, M.N., Abdullah, R.I.R., Kasim, M.S., Abdullah, A., “Development of three-axis mini milling machine for small scale production”, *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 761, Pages 273-276, 2015.
9. Rahman, Z.A., Mohamed, S.B., Minhat, M., Rahman, Z.A., “Design and development of 3-axis Benchtop CNC milling machine for educational purpose”, *International Journal of Integrated Engineering*, Vol. 15, No. 1, Pages 145-160, 2023.
10. Kuncan, M., Kaplan, K., Ertunç, H.M., & Küçükateş, S., “Design, production and novel NC tool path generation of CNC tire mold processing machine”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, Vol. 33, No. 3, Pages 1183-1999, 2018.
11. Öztürk, S., & Kuncan, M., “Kameradan alınan görüntünün CNC tezgâhında gerçek zamanlı olarak işlenmesi”, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, Cilt 9, Sayı 3, Sayfa 1251-1263, 2020.
12. Brooks, H., “Plastic foam cutting mechanics for rapid prototyping and manufacturing purposes”, *Doctor of Philosophy, University of Canterbury, Christchurch*, 2009.
13. Abeysinghe, A., Abeysiriwardena, S., Nanayakkarawasm, R., Wimalasiri, W., Lalitharatne, T.D., Tennakoon, S., “Development of a numerically controlled hot wire foam cutting machine for wing mould construction”, *Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon)*, Sayfa 60–65, Moratuwa, 2016.
14. Mohammed, I.Q., Kadhum, A.H., “Optimizing the parameters of hot-wire CNC machine to enhance the cutting of plastic foam”, *Al-Khwarizmi Engineering Journal*, Vol. 15, No. 3, Pages 29-37, 2019.
15. Petkov, K.P., Hattel, J.H., “A thermo-electro-mechanical simulation model for hot wire cutting of EPS foam”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 107, Pages 50-59, 2016.
16. Karmakar, N., Subbiah, S., “Investigating bowing of hot wire during cutting of EPS”, *Procedia Manufacturing*, Vol. 26, Pages 671-680, 2018.
17. Memon, S., Kalwar, I.H., Memon, A.H., Shakir, M., Mustafa, H., Rehman, S.U., “Hot wire thermopol cutting using CNC machine”, *Mehran University Research Journal of Engineering and Technology*, Vol. 42, No. 4, Pages 19-27, 2023.
18. Syahriza, Aulia, U., Muspika, L., “Design and development wire cutter CNC for styrofoam product”, *Materials Science and Engineering*, Vol. 931, Pages 1-9, 2020.
19. Fahrizal F., Aslam M.F., Anwar N., Isminarti I., Fitriati A., “Design of styrofoam cutting machine based on CNC 2 axis using hot wire”, *Journal of Computer Engineering, Electronics and Information Technology*, Vol. 1, Issue 2, Pages 63-74, 2022.
20. Ivanovskis, L., “Four axis hot-wire foam cutter controlled by mindstorms EV3”, *Undergraduate Thesis, Saimaa University of Applied Sciences Faculty of Technology, Lappeenranta*, 2017.
21. Figliolini, G., Rea, P., Cocomello, C., “Mechatronic design and prototype of a 4-DOFs hot-wire CNC cutting machine”, *RAAD: International*

Conference on Robotics in Alpe-Adria Danube Region, Pages 591-598, Torino, 2017.

22. Şefkatlıoğlu, E., “CNC strafor kesme makinesi tasarımı ve imalatı”, Yüksek Lisans Tezi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2015.

23. Bird, J., Electrical circuit theory and technology”, 5th Edition, Page 19, Routledge Taylor&Franscis Group, Abingdon, 2014.