



**T.C.**  
**TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**  
**MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**  
**MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**  
**ÜÇ EKSENLİ CNC PLAZMA KESİM TEZGÂHI TASARIMI VE**  
**İMALATI**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**ERSİN ORAK**

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi. Mithat ŞİMŞEK**

**TOKAT – 2024**

## TEŞEKKÜR

“Üç Eksenli CNC Plazma Kesim Tezgâhı Tasarımı ve İmalatı” adlı tez çalışmamda tezin her aşamasında beni yönlendiren ve destek olan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Mithat Şimşek’e, her türlü fedakârlığı ve yardımı esirgemeyen eşim Öğr. Gör. Zeynep DENK ORAK’a, değerli meslektaşım Makine Mühendisi İbrahim EKİCİER’e ve Mehmet İBRAHİM Bey’e teşekkürlerimi sunarım.



## ÖZET

### ÜÇ EKSENLİ CNC PLAZMA KESİM TEZGÂHI TASARIMI VE İMALATI

Orak, Ersin

Yüksek Lisans, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi. Mithat ŞİMŞEK

Ocak 2024, x + 97 sayfa

Günümüz teknolojisinde imalatta düşük maliyet, hızlı üretim ve hassasiyet gibi faktörler göz önüne alınarak rekabet artmıştır. Bu teknolojiye ayak uydurmak için insan gücü ve universal tezgâhlardan uzaklaşarak yerine bilgisayar kontrollü sistemler zorunlu hale gelmiştir. Bir CNC router yaparken işlenecek malzemenin boyutu ve cinsi, istenilen hassasiyette işleme ile boşta ilerleme hızının kontrol ünitesi tipi dikkate alınmalıdır. Buna göre CNC routerın üzerinde yer alan ürün çeşitleri ve özellikleri belirlenmelidir. CNC plazmada kesici torç, malzemeye temas etmeden kesim işlemi yapmaktadır. Bu yüzden kuvvete maruz kalmadan yapılan kesimde, boşta ilerleme hızı göz önüne alınarak malzeme seçimi yapılmalıdır.

Çalışmanın amacı, düşük maliyetli yerli üretilmiş kontrol kartları ve plazma kesim güç kaynağı kullanılarak prototip üç eksenli CNC plazma tezgâhının tasarımı ve imalatını gerçekleştirmektir. İmalatı yapılan CNC Plazma tezgâhlarının en hassas kaliteye sahip bir model çıkarılarak imalat sürecinde karşılaşılan sorunlara çözüm önerileri getirilerek son teknoloji ile hataların minimize edilmesi sağlanmıştır. Bu çalışmada seçilen mekanik ve elektronik malzemeler tanıtılarak üretim aşaması adım adım gerçekleşmiştir. Sonuç olarak üç eksenli CNC plazma kesim tezgâhi tasarımı ve imalatı yapılarak metal malzeme kesim işlemi yapılmıştır. CNC plazma tezgâhında farklı kalınlıktaki malzemeler kesilerek, tezgâhın hız ve amper parametreleri oluşturulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** CNC, CNC Router, CNC Plazma, Bilgisayar Destekli Tasarım ve İmalat, CNC Plazma İmalatı

**ABSTRACT**  
**THREE-AXIS CNC PLASMA CUTTING MACHINE DESIGN AND  
MANUFACTURING**

Orak, Ersin

Master's Thesis, Department of Mechatronics Engineering

Advisor: Asst. Prof. Dr. Mithat ŞİMŞEK

January 2024, x + 97 pages

In today's technology, competition has increased by considering factors such as low cost, fast production and precision in manufacturing. In order to keep up with this technology, computer-controlled systems have become mandatory by moving away from manpower and universal benches. When making a CNC router, the size and type of material to be processed, the type of control unit of the idle speed with the desired precision processing should be taken into account. Accordingly, the product types and features on the CNC router should be determined. In CNC plasma, the cutter torch cuts without touching the material. Therefore, when cutting without being exposed to force, material selection should be made by taking the idle speed into consideration.

The aim of the study is to design and manufacture a prototype three-axis CNC plasma machine using low-cost domestically produced control cards and plasma cutting power supply. By producing a model with the most sensitive quality of the CNC Plasma machines manufactured, solutions to the problems encountered in the manufacturing process were brought and errors were minimized with the latest technology. In this study, the selected mechanical and electronic materials were introduced and the production phase was carried out step by step. As a result, a three-axis CNC plasma cutting machine was designed and manufactured and metal material was cut. Materials of different thicknesses were cut on the CNC plasma machine and the speed and ampere parameters of the machine were created.

**Keywords:** CNC, CNC Router, CNC Plasma, Computer Aided Design and Manufacturing, CNC Plasma Fabrication

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ETİK SÖZLEŞME.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
JÜRİ KABUL VE ONAY .....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
TEŞEKKÜR.....	2
ÖZET .....	3
ABSTRACT.....	4
İÇİNDEKİLER .....	5
TABLO LİSTESİ.....	8
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	9
KISALTMALAR LİSTESİ .....	12
1. GİRİŞ .....	14
2. KAYNAK ÖZETLERİ .....	16
2.1. CNC Tezgâhları .....	22
2.1.1. CNC tanımı ve işleme süreci .....	22
2.1.2. CNC tezgâhların tarihçesi .....	23
2.1.3. CNC tezgâhların avantajları.....	24
2.1.4. CNC tezgâhların dezavantajları .....	24
2.2. Plazma Teknolojisi.....	25
2.2.1. Plazma.....	25
2.2.2. Plazma arkı ile kesme .....	25
2.2.3. Plazmada kullanılan gazlar .....	27
2.3. CNC Plazma Kesim Tezgâhları .....	29
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	31
3.1. CNC plazma kesim tezgâhının kısımları.....	32
3.1.1. Alt tabla (konstrüksiyon) .....	32
3.1.2. Sigma profil .....	34
3.1.3. Köprü tasarımı .....	35

3.1.4.	Z eksenî tasarımı .....	37
3.1.5.	Kremayer helis dişli, lineer kızak .....	39
3.1.6.	Kaplin.....	42
3.1.7.	Güç kaynağı .....	43
3.1.8.	CNC plazma kesim tezgâhlarında kullanılan motorlar .....	45
3.1.9.	Redüktör.....	50
3.1.10.	Kontrol kartları.....	52
3.1.11.	Toroid trafo ve led trafo .....	54
3.1.12.	Panonun tasarımı .....	56
3.1.13.	Yükseklik kontrol kartı (THC).....	57
3.2.	Bilgisayar Sistemi ve Kontrol Kartı Haberleşmesi .....	61
3.2.1.	Mach3 kontrolü.....	61
3.2.2.	Sheetcam programı ile g kodu çıkarılması .....	65
3.3.	Kablosuz El Çarkı .....	67
3.4.	Şartlandırıcı .....	68
3.5.	Hava Kurutucu .....	69
3.6.	Kompresör.....	71
3.7.	Tasarlanan ve İmal Edilen CNC Plazma Tezgâhı.....	72
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA .....	74
4.1.	Kesme Hızı-Amper Ayarı .....	74
4.2.	Yükseklik Kontrol Set Ayarları .....	76
4.3.	CNC Plazma Kesim Tezgâhı ile Kesim Uygulamaları .....	77
4.4.	CNC Plazma Kesim Tezgâhında Oluşan Arızalar .....	86
4.4.1.	Mekanik arıza .....	86
4.4.2.	Elektronik arızalar.....	88
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	92

6. KAYNAKLAR .....	94
ÖZGEÇMİŞ .....	<b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b>



## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

Tablo 2.1 Ortak CNC işleme operasyonlarının özellikleri .....	23
Tablo 3.1 Z Eksenini tasarımda kullanılan malzemeler .....	39
Tablo 3.2 Lineer ray araba teknik özellikleri.....	41
Tablo 3.3 120 amper güç kaynağının teknik özellikleri .....	44
Tablo 3.4 Nema 34 step motorun teknik özellikleri .....	47
Tablo 3.5 Hava kurutucusu teknik özellikleri.....	70
Tablo 3.6 Kompresör teknik özellikleri.....	71
Tablo 4.1 CNC Plazma kesim tezgâhının kesme parametresi .....	75
Tablo 4.2 Malzeme kalınlığına göre set ayarı.....	77

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil No	Sayfa
Şekil 2.1 Plazma ark ile kesme .....	26
Şekil 2.2 Kesim teknolojilerinde malzeme kalınlığına göre kesim hassasiyeti .....	27
Şekil 2.3 CNC plazma kesim tezgâhı .....	30
Şekil 3.1 3ds Max programında tasarlanmış CNC plazma tezgâhı .....	31
Şekil 3.2 3ds Max programında tasarlanmış alt tabla .....	32
Şekil 3.3 Alt tabla taşıyıcısının üretimi .....	33
Şekil 3.4 Alt tablanın boyama işlemi .....	33
Şekil 3.5 80x80 mm sigma profil ve teknik resmi .....	34
Şekil 3.6 Ağır sigma profilin alt tabla taşıyıcıya montajı .....	35
Şekil 3.7 3ds Max programında tasarlanan çelik köprü bağlantı kısmı .....	35
Şekil 3.8 3ds Max programında tasarımı yapılan -X eksenin Y eksenine bağlantısı .....	36
Şekil 3.9 Köprü bağlantısının montajı .....	36
Şekil 3.10 Köprünün alt tablaya montajı .....	37
Şekil 3.11 3ds Max programı ile tasarlanmış Z eksenini .....	38
Şekil 3.12 3ds Max programı ile tasarımı yapılan Z ekseninin X eksenine bağlantısı .....	38
Şekil 3.13 Z ekseninin X eksenine montajı .....	39
Şekil 3.14 Helis kremayer dişli üzerinde helis pinyon dişlileri .....	40
Şekil 3.15 Lineer kızak .....	40
Şekil 3.16 Lineer kızıağın montajı .....	41
Şekil 3.17 Kremayer dişlinin montajı .....	42
Şekil 3.18 Vidalı mil scr 1610 .....	43
Şekil 3.19 Vidalı mil somun sfur 1610 – metal deflektör .....	43
Şekil 3.20 Vidalı mil somunun gövdesi .....	43
Şekil 3.21 120 amper güç kaynağı .....	44
Şekil 3.22 CNC plazma kesim tezgahında kullanılan torcun Z eksenine montajı .....	45
Şekil 3.23 Servo motor ve sürücü .....	46
Şekil 3.25 Nema 34 step motor .....	46
Şekil 3.26 İmalatta kullanılan step motor sürücü .....	48
Şekil 3.27 Montaj işlemi gerçekleştirilmiş step motorlar .....	50

Şekil 3.28 Planet redüktör.....	51
Şekil 3.29 Redüktörün motora montajı.....	52
Şekil 3.30 Mach3 kontrol kartı .....	53
Şekil 3.31 Mach3 kontrol kartı bağlantı şeması .....	54
Şekil 3.32 350 W 24 V toroid trafo .....	55
Şekil 3.33 24 volt 15 amper led trafo.....	55
Şekil 3.34 24 volt 30 amper röle.....	55
Şekil 3.35 Sürücü, kontrol kartı ve güç kaynağının montajı .....	56
Şekil 3.36 Kontrol ünitesinin imalatı yapılan panoya montajı .....	57
Şekil 3.37 Yükseklik kontrol kartı.....	58
Şekil 3.38 Yükseklik kontrol kartının (THC) panoya montajı .....	61
Şekil 3.39 Mach3 kontrol kartı ara yüzü.....	62
Şekil 3.40 Step motorların pin numaralarının mach3 kontrolüne tanıtılması.....	63
Şekil 3.41 Mach3 kontrolünde step motorların hız ve ivme ayarlarının yapılması .....	63
Şekil 3.42 Mach3 kontrolünde giriş sinyallerinin tanıtılması.....	64
Şekil 3.43 Mach3 kontrolünde çıkış sinyalinin tanıtılması.....	64
Şekil 3.44 Mach3 kontrolünde G kodlarının giriş ve çıkış sinyallerine tanıtılması .....	65
Şekil 3.45 Sheetcamın Mach3 kontrolüne tanıtılması .....	66
Şekil 3.46 Sheetcam’de malzemenin kesme hızlarının belirlenmesi.....	66
Şekil 3.47 Sheetcam’de kesilen örnek malzeme yerleşimi.....	67
Şekil 3.48 Kablosuz el çarkı .....	67
Şekil 3.49 El çarkının mach3 kontrolüne tanıtılması.....	68
Şekil 3.50 Şartlandırıcı .....	69
Şekil 3.51 Hava kurutucusu .....	70
Şekil 3.52 Kompresör .....	71
Şekil 3.53 1500x3000 mm işleme alanına sahip tasarlanan CNC plazma kesim tezgâhı - imalatı .....	72
Şekil 3.54 1500x3000 mm işleme alanına sahip CNC plazma kesim tezgâhı kontrol - ünitesi.....	73
Şekil 4.1 Hız ve amper ayarının hatalı yapılması sonucu kesilen 15 mm kalınlığında -St37 malzeme .....	75

Şekil 4.2 Amper hız ayarı tespit edildikten sonra 15 mm kalınlığındaki St37 -malzemenin kesimi.....	76
Şekil 4.3 Yükseklik kontrol kartında voltaj/set ayar göstergesi .....	76
Şekil 4.4 1,2 mm kalınlığında galvanizli sac kesimi .....	78
Şekil 4.5 St37 1,5 mm kalınlığında masaüstü isimlik kesimi.....	78
Şekil 4.6 St37 2 mm kalınlığında tablo kesimi .....	79
Şekil 4.7 St37 2 mm kalınlığında korkuluk kesimi .....	80
Şekil 4.8 St37 2 mm kalınlığında motif kesimi .....	80
Şekil 4.9 St37 2 mm kalınlığında portre kesimi .....	81
Şekil 4.10 St37 2 mm kalınlığında duvar saati kesimi .....	81
Şekil 4.11 St37 2,5 mm kalınlığında kapı ve malzeme kesimi.....	82
Şekil 4.12 St37 4 mm kalınlığında malzeme kesimi .....	83
Şekil 4.13 St37 5 mm kalınlığında malzeme kesimi .....	83
Şekil 4.14 St37 6 mm kalınlığında malzeme kesimi .....	84
Şekil 4.15 St37 8mm kalınlığında römork tekerlek flanş kesimi .....	85
Şekil 4.16 St37 10 mm kalınlığında römork kapak tutucu kesimi.....	85
Şekil 4.17 St37 15mm kalınlığında beton fabrika bacası destek kesim.....	86
Şekil 4.18 Mekanik arıza sonucu CNC plazma kesim tezgâhında hatalı kesim işlemi ..	87
Şekil 4.19 Arızanın giderilmesi sonucunda CNC plazma kesim tezgâhında kesim işlemi .....	88
Şekil 4.20 CNC plazma kesim tezgâhında oluşan hatalı kesim.....	89
Şekil 4.21 Mach3 kontrolü debounce interval ayarı .....	90
Şekil 4.22 CNC plazma kesim tezgâhında arızanın giderilmesi örnek kesim .....	90
Şekil 4.23 CNC plazma kesim tezgâhında oluşan arıza sonucu hatalı kesim.....	91

## KISALTMALAR LİSTESİ

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklamalar</b>
A	Amper
AXİS	Eksen
BAR	Basınç Birimi
CNC	Computer Numerical Control, Bilgisaylı Sayısal Kontrol
CAD	Computer Aided Design, Bilgisayar Destekli Tasarım
CAM	Computer Aided Manufacturing, Bilgisayar Destekli Üretim
CAD-CAM	Bilgisayar Destekli Konstrüksiyon ve İmalat
CM	Santimetre
DK	Dakika
EMC	Elektromanyetik Uyumluluk
EMI	Electromagnetic Interference (Elektromanyetik Etkileşim)
HZ	Hertz (Frekans Birimi)
KG	Kilogram
KERF	Kesim İşleminde Yaratılan Boşluk
KV	Kilovolt
L/R	Low Resistance (Düşük Direnç)
LNR	Linear Rubber Bearing (Doğrusal Kauçuk Rulman)
LPT	Line Printer Terminal (Paralel Port)
LT	Litre
M	Metre
MM	Milimetre
M3	Giriş Sinyali
M4	Çıkış Sinyali
NC	Numerical Control, Sayısal Kontrol
NM	Newton-metre
PIN	Personal Identification Number (Kişisel Tanımlama Kodu)
PULS	Darbe
PWM	Pulse Width Modulation (Darbe Genişliği Modülasyonu)
RFID	Radio Frequency Identification (Radyo Frekansı ile Tanımlama)

ROM	Read Only Memory (Sadece Hafızanın Okunması)
SCR	Silikon Kontrollü Redresör
S	Saniye
THC	Torch Height Control (Torc Yükseklik Kontrol)
USB	Universal Serial Bus (Evrensel Seri Veri yolu)
V	Volt
W	Watt ( Wat, Güç)
Wi-Fi	Wireless Fidelity (Kablosuz Bağlantı Alanı)



## 1. GİRİŞ

CNC Plazma kesimin faaliyete geçtiği ilk zamanlar, yalnızca alevle yanarak kesime elverişli olmayan yüksek alaşımlı bakır, alüminyum ve çelik gibi malzemeler için kullanılırken, ilerleyen zamanlarda düşük alaşımlı veya alaşımlı olmayan ince kalınlıktaki çeliklere de uygulanmaktadır. İş parçaları elektriksel devreye alınıp taşınabilir bir arkın varyasyonları kullanılarak elektriksel iletkenliğe sahip malzemelerin kesilmesi sağlanmaktadır. Bu sistemle çeşitli amper, hız seviyesi ve ark voltajlarında kesim yapılarak farklı kalınlıklarda malzemeler elde edilmektedir. Cinsine bağlı olarak 160 mm'ye kadar çıkabilen kalınlıkta malzemeler kesilebilmektedir (Öncel, 2014; Apay ve Egelioglu, 2018).

CNC plazma ile kesilen malzemelerin yüksek kalite ve verimliliği plazma torcu ile mümkündür. Geometrik olarak ve sürekliliği sağlayarak sabit bir plazma ışınının oluşumunda ve bu ışını parçalara iletmede torcun en önemli işlevleri arasındadır. Akım üreticinden kontrol edilen torc, bir hortum paketinin ucunda yer alır. Bir torcun G 567 ekseninde gövdesi, lülesi, koruyucu kapağı, elektrod, nozul mekanizması ile onun dış kapağı olarak değerlendirilecek sarf malzemeleri bulunmaktadır (Apay ve Egelioglu, 2018).

Maddenin dördüncü hali olan plazma teknolojisi çok basit bir fiziksel yapısı vardır. Maddeler katıdan sıvıya, sıvıdan gaza şeklinde enerji girişi altında hal değiştirmektedirler. Gaza daha fazla enerji girişi yüklendiğinde gaz iyonize olur. Böylece enerjinin yoğun olduğu durumda plazma haline gelerek maddenin dördüncü halini alır.

Bir CNC router yaparken iki kriter dikkate alınmalıdır. Öncelikle işlenecek malzemenin boyutu ve cinsi, ikincisi ise istenilen hassasiyette işleme ile boşta gezme hızının kontrol ünitesi tipidir. Bu unsurlar dikkate alınarak ekipmanlar üzerinde alınacak ürün çeşitleri belirlenmektedir. CNC plazmalarda malzemeye temas edilmeden kesim işlemi yapılır. Bu yüzden herhangi bir kuvvete maruz kalınmaması ve boşta gezme hızı dolayısıyla işleme hızının yüksek olması göz önüne alınarak kesilecek seçimin belirlenmesi

gerekmektedir. Bu nedenle işleme esnasında ağır bir döküm şaseye ihtiyaç yoktur. Sadece tablanın üzerine koyulacak malzemenin ağırlığı dikkate alınarak gövde tasarlanmalıdır.

Genel olarak malzemelerin kesiminde kullanılan geleneksel plazma sistemleri, yaygın olarak 20-150 mm kalınlık mesafesinde kesimi gerçekleştirmektedir. Günümüz hassas plazma sistemleri ise Hassas olarak kesim işlemini yerine getiren lazer kesim sistemleri, 1-12 mm kalınlığı mesafesindeki malzemeleri keserken; günümüzde kullanılan hassas plazma sistemleri lazer sistemlerine yaklaşık hassasiyette kesim yapabilme konusunda geliştirilmektedirler (Apay ve Egelioglu, 2018).

İmalat ve sanayide yaygın olarak kullanım alanına sahip olan plazma ile kesim, otomasyon uygunluğu ile üretim hattı sahasına, düşük maliyet ile verimli yatırım oranlarına, kesim hızının yüksek oluşu ve kesim kalitesinin sürekli olarak iyileştirilmesi ile olanaklar sunmaktadır. İş makineleri, gemi inşası, basınçlı kapların üretimi, vagon yapımı gibi imalat sektöründe yoğun olarak plazma kesim metodu ile karşılaşılmaktadır (Kutlu vd, 2005).

Bu çalışmada CNC teknolojisinin tarihteki değişimi ve gelişimi anlatılarak günümüzün teknolojisindeki yeri ele alınmıştır. Günümüzde Bilgisayar kontrollü sistemlerin teknolojiye uyarlanmasıyla CNC plazma yaygınlaşmıştır. Çalışmanın asıl konusunu oluşturan CNC plazma kesim tezgâhlarının tasarımdan imalatına kadar geçen adımlara yer verilmiştir. Çalışmanın amacı, düşük maliyetli yerli üretilmiş kontrol kartları ve plazma kesim güç kaynağı kullanılarak prototip üç eksenli CNC plazma tezgâhının tasarımı ve imalatını gerçekleştirmektir. İmalat sürecinde karşılaşılan sorunlara çözüm önerileri getirilerek son teknoloji ile hataların minimize edilmesi, çalışmanın bir diğer amacını teşkil etmektedir. Tez çalışmasında imalatı yapılan CNC plazma kesim tezgâhlarının en hassas kaliteye sahip bir model ortaya çıkarılmıştır. CNC Plazma kesim Tezgâhları kesim işlemi yaparken malzeme yüksek ısıya maruz kalmaktadır. Bu ısıdan dolayı malzeme deformasyona uğramaktadır. Tasarlanmış olan prototip üç eksenli CNC plazma kesim tezgâhı ile deneyler yaparak bu problemlere çözüm önerileri getirilmiştir.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Karadeniz (2004) çalışmasında gaz ergitme (oksijenle kesim) ve plazma ile çelik malzemeler kesilirken aralarında oluşan kesme kalitesi farkları ele alınarak kesme parametreleri oluşturulmuştur. Oluşabilecek kesme hatalarının yüzey kalitesine olan etkisi, farklı malzeme ve kalınlıklarda deneysel olarak incelenmiştir. Kesme yüzey kalitesini etkileyen önemli parametrelerin işlenen gaz, kesme torcu, malzeme ve makine olduğu tespit edilmiştir. Oksijenli kesim yönteminde demirin oksijenle karşılaştığı kuvvetli reaksiyona dayanıyor olması daha düşük alaşımlı çeliklere uygulanmasına sebep olmuştur. Böylece oksijenli kesimde çelikteki alaşım oranı azaldıkça kesim daha kolay yapılmaktadır. Plazma kesme yönteminde işlem gazı elektrik arkıyla iyonize olduğundan daha yüksek kesme hızına ulaşılmaktadır. Sonuç olarak işlem süresi, toplam maliyeti, malzemeye uygulanabilirliği ve istenilen kesme kalitesi göz önünde bulundurularak kesme yöntemi seçilmelidir.

Büyükşahin (2005) çalışmasında CNC seçim kriterlerini göz önüne alarak üç eksenli CNC freze tezgâhı tasarlamıştır. Gerilme ve sehim analizleri için Visual Nastran programı kullanılmış ve gövdenin konstrüksiyonu üç boyutlu olarak çizilmiştir. Tezgâhın belirli bir çalışma sürede çalışması hedeflenerek 3 eksen için de gerekli olan vidalı mil modelleri saptanmıştır. Belirlenen vidalı mil ile arabaların hedeflenen süreyi sağladıkları görülmüştür. Tüm eksen elemanları için tezgâhın üzerine binen moment ve kuvvetin etkisi tespit edilmiştir. Her eksen için servo motor gücü hesaplanarak uygun motor seçimi yapılmıştır. Sonuç olarak güvenilir bir tasarıma ulaşarak başarıyla çalışan bir makine imal edilmiştir.

Kutlu, Monno ve Bını (2005) 1950’li yıllardan bu zamana kadar iletken malzemelerin kesiminde kullanılan plazma ile kesme işlemleri önem arz etmektedir. Yapılan çalışmada plazmanın tarihsel gelişimine yer verilerek teknoloji göz önüne alınarak çalışma prensiplerine yer verilmiştir. Burada plazma kesim işlemlerinde gerekli olan hangi gazların ne amaçla kullanılacağı, hangi parametrelerin önemli olacağı, hangi kalitede nasıl malzeme seçileceği üzerine çalışılmıştır.

Kutlu (2006) 3 eksenli masa tipi CNC freze tezgâhı tasarlamış ve imal etmiştir. Öncelikle tasarım için gerekli parametreler göz önüne alınmıştır. Daha sonra gereken dinamik ve statik hesaplamalar yapılmıştır. 3 boyutlu bir tasarım programı kullanılarak tasarımı ve çizimi yapılan tezgâhta kullanılacak metal parçalar talaşlı üretim tezgâhlarında işlenmiştir. Yataklama sistemleri hazır satın alınarak tezgâh eksenlerinin hareketi ve yönlendirilmesi sağlanmıştır. Step motor kullanılarak tezgâhın tahrik sistemi sağlanmıştır. Step motor sürücüleri ve kontrol kartıyla elektronik kontrolü yapılmıştır. Çalışma sonucunda iş parçası işlenerek 3 eksenli masa tipi CNC freze tezgâhı başarıyla çalıştırılmıştır.

Akşahin (2009) sanayide en çok kullanılan belirli kalitelere sahip paslanmaz çeliğin farklı kesim yöntemleriyle oluşan parametrelerinin kesim kalitesine olan etkisini incelemiştir. Gaz ergitme, teknolojik yöntemlerden özellikle plazma ve lazer kesim işlemleriyle bu etkileyiş ele alınmıştır. Bu çalışma Karadeniz (2004)'in yaptığı çalışmaya ilave olarak modern yöntemlerden lazer kesim işlemini de dikkate almıştır. Lazer kesim işlemleri diğerlerine göre daha ince malzemedeki yüzey kalitesinin çok yüksek olduğu hassas kesim yöntemleridir. Böylece kesimden hemen sonra ek bir işleme gerek duyulmadan malzeme kullanmaya hazır hale gelmektedir.

Şenol (2009) modern CNC tezgâhlara alternatif daha az maliyetli, küçük ölçekli iki boyutlu üç eksenli bir CNC tezgâhı yapmayı amaçlamıştır. Bazı baskı devre ve tasarım programlarından oyma, delme ve kazıma dosyalarındaki koordinatları elde etmiştir. Bu verileri, bilgisayarda bir ara yüzde işlemiştir. Gerekli işlemler S232 seri iletişim veri yolu üzerinden kontrol ünitesine işlenmektedir. Böylece CNC tezgâhı iki boyutlu 3 eksenli olarak oyma, kazıma ve delme işlemlerini yapılabilmektedir.

Kaygısız ve Çetinkaya (2010) meslek eğitimi veren okullardaki laboratuvar ve atölyelerde imal edilerek eğitim amaçlı kullanılacak düşük maliyetli prototip 3 eksenli masa tipi CNC freze eğitim seti tasarlamış ve imal etmişlerdir. 60, 320, 120 mm X, Y ve Z eksen boylarına sahip adım motorlar ile tasarlanan köprü tipi CNC freze tezgâhı, mach II kontrol programı ile çalıştırılarak deneyler yapılmış ve doğruluk değerleri tespit edilmiştir. Eksenler boyunca parmak freze çakıları ile malzeme üzerinde kanallar açılarak

ölçümler yapılmıştır. 0,0125 mm olarak hesaplanan CNC hassasiyeti ile 2,5 işleme kabiliyeti neticesinde Atatürk silueti kabartması başarıyla işlenmiştir.

Kavala Şen (2010) çalışmasında üniversitede bulunan ve çalışmayan bir 3 eksenli CNC tezgâhı çok boyutlu eksen çerçevesinde geliştirerek 5 eksenli CNC tezgâha dönüştürmeyi amaçlamıştır. Bunun için iki döner eksenli tabla tasarlanmıştır. Üzerinde 5 fazlı step motor bulunan tezgâhta dört ve beş fazlı step motor sürücüsü tasarlanarak imal edilmiştir. Linux tabanlı EMC (elektro manyetik uyumluluk) kullanılarak CNC tezgâhının kontrolü sağlanmıştır. G kodların bu sisteme yazılmasıyla 5 eksenli tezgâh çalıştırılmış ve iş parçaları işlenmesi mümkün hale gelmiştir.

Topaloğlu (2010) teknolojik metal kesme yöntemlerinden plazma ve lazer tekniğini göz önüne alarak 4-15 mm kalınlığı arasında S235JRG2 çelik, kalınlığı 2-8 mm arasında paslanmaz çelik, kalınlığı 3-6 mm arasında 1050A Alüminyum malzemelerin kesim ölçümleri kapasiteleri tasarlanmaya çalışılmıştır. Sonuç olarak farklı malzeme ve kalınlarda yapılan kesim işlemlerinin en iyi parametreleri ve Mitutoyo SurfTest-211 ölçüm cihazı ile elde edilen en düşük pürüzlülük değerlerine ulaşılmıştır. Böylece yapılan çalışma, metal kesim yapan işletmelerin ve üreticilerin faydalanabileceği bir referans olmuştur.

Çelik ve Özek (2011) imalat teknolojilerinde kullanılması önem arz eden makinalardan biri CNC plazma kesim makinalarıdır. Ölçüm hassasiyetinin çok önemli olmadığı fakat yüksek basınç ve mukavemet altında çalışan malzemelerin kesilebilmesi bu makineler sayesinde yapılmaktadır. Çalışmada plazma ile kesmede işlem parametrelerinin kaliteye olan etkisi incelenmiştir. Basınçlı kaplarda kullanılan 4, 6 ve 8 mm kalınlıktaki S235JR sac malzemeler CNC plazma makinesinde çeşitli hız, amper ve ark gerilimlerinde kesilmiştir. Kesilen numunelerin yüzey pürüzlülükleri ve sıcaklık dağılımları ölçülmüştür. Elde edilen veriler, malzemenin kalınlığı, kesme hızı, ark voltajı ve elektrot amperinin kesim kalitesi ve sıcaklığını etkileyen parametreler olduğunu göstermektedir.

Kabaş (2011) çalışmasında 500x630x625 mm (X, Y, Z) ve işleme kapasitesi 250x300x125 mm ebatlarında köprü tipi gövde konstrüksiyonu tercih edilerek sıvı

soğutmalı masa üstü bir CNC tezgâhı tasarlamıştır. İnox vidalı miller ile sağlanan eksen hareketi kontrol ünitesinde TB 6560 entegre edilen bir sürücü devresi kullanılmıştır. Mach3 kontrol programı ile çalıştırılan tezgâhın hassasiyeti 0,005 mm olarak tespit edilmiştir. İmal edilen sıvı soğutmalı sistem sayesinde CNC tezgâhının üretim kapasitesi ve malzeme işlem çeşitliliği artmıştır.

Savaş (2011) çalışmasında 3 eksenli Kartezyen tezgâhın basitliği ile 5 eksenli tezgâhın esnekliğini birleştirerek yeni 3 eksenli CNC tezgâhı tasarlayıp üretmiştir. Farklı kinematik analiz yöntemleriyle çeşitli teknolojik mekanizmalar karşılaştırılarak küresel anlamda bir CNC prototipi tasarlanmıştır. Bilgisayar kontrol ünitesi eklenerek esnek bir kullanıcı ara yüzü ile kolaylıkla CAD verisinden modelleme sağlanmıştır.

Gevrek (2013) teknolojinin her geçen gün artması klasik kesim tezgâhlarının yerini yeni CNC tezgâhlara bırakmaktadır. Çalışmada gerekli parametreler doğrultusunda tasarımı ve hesaplamaları yapılan, uygun mekanik ve elektronik malzemelerin seçimiyle üretilen makinenin hassasiyet analizleri yapılarak örnek iş parçalarının da işlenmesiyle başarıyla çalıştırılmıştır.

Naqvı (2014) çalışmasında eğitim amaçlı kullanımlar ve küçük ölçekli uygulamalar için uygun olacağı öngörülmüş, 5 eksenli CNC freze tezgâhı güvenilir ve düşük maliyetli prototip olarak tasarlamıştır. Üretim aşamasında gerekli olan malzemelerin ayrıntılı tanıtımı, mach3 programı ile elektronik bağlantıların ve set ayarlarının verilmesi, 3 boyutlu parçaların G kodları ile işlenmesi, G kodlarının nasıl yazılacağı ve mach3 programının nasıl kullanılacağı açıklanmaya çalışılmıştır. İmalatı yapılan tezgâhın hafif ve yumuşak malzemelerde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Barışkan (2015) imalat sektöründe faaliyet gösteren otomotiv sanayisinde kullanılmak üzere 3 eksenli hassas bir CNC freze tezgâhı tasarlayıp üretmiştir. Tasarlanan bu tezgâh koltuk süngeri üretiminde kullanılması amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda metodolojik konstrüksiyon ilkelerine uygun olarak tasarım ve imalat gerçekleşmiştir. Üretim aşamasında yaşanan tecrübeler açıklanmaya çalışılmıştır.

Şefkatlioğlu (2015) köpüğün iki boyutlu kesilmesini sağlayan CNC stafor kesme makinesi tasarlayıp üretimini yapmayı amaçlamıştır. Üretimi yapılan makine testlerden geçerek başarılı sonuçlar vermiş ve uygulanan tasarımın etkili olduğunu göstermiştir.

Apay ve Egelioğlu (2018) çeşitli malzemelerin farklı kalınlıkta ve değişik şekillerde kolaylıkla kesilebilmesini sağlayan CNC plazma kesim tezgahlarında kesim yanlış hız ve amper değerlerinde çapak ve pürüzlü kesim oluşumu kaçınılamaz. Oluşan bu durumun ek işlem ve maliyet gerektirdiğinden en iyi yüzey kalitesine ulaşılabilecek en uygun işlem parametrelerini seçmek gerekir. Çalışma sonucunda 6 mm kalınlığındaki S355J2G3 çeliğin en düşük pürüzlülük ve en yüksek yüzey kalitesine 80 A'de 50 mm/dk. hızda ulaşıldığı görülmüştür.

Gülaçtı (2019) günümüzün gerekliliğine ayak uyduramayan klasik köprü makinelerinde ebatlı taşlardaki işlemler ihracatın önemli bölümünü oluşturmaktadır. Bu ihtiyacın ithal makinelerle yapılması köprü tipi mermer işleme makinesi imalatını gerekli kılmıştır. CNC mermer işleme makinesinin tasarımı ve imalatı yapılan bu çalışmada basit ve karmaşık şekillerin mermerlere işlendiği sonucuna varılmıştır.

Tekaüt (2020) plazma arkı ile kesilen malzemelerin yüzey kalitesine ve bölge genişliğine göre olan etkisi araştırılarak en uygun parametreler belirlenmiştir. Deneyde kullanılan numunelerin 20 mm kalınlığındaki hardox 500 malzemedan alınarak iki farklı kesme akımı ile beş farklı kesme hızındaki parametreler kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda, kesme akımı artışının ısıdan etkilenen bölge genişliğini artırırken, kesme hızı artışının ısıdan etkilenmiş bölge genişliğini azalttığı gözlemlenmiştir.

Küçük ve Deste (2021) çalışmada, metal işleme sanayisinde kesim işlemi yapan bir firmanın kullanım ömrünü tamamladığı, verimsizliği tüm üretim hattını doğrudan etkilediği bir CNC plazma makinesinin yeniden gözden geçirilerek yeni bir makinenin yapılması için iş etüdü uygulaması yapılmıştır. Yapılacak yeni alternatif makinenin zaman tasarrufu sağlayarak üretime katkı sağlayacağı amaçlanmıştır. Yapılan etüt çalışması sonucunda günlük işleyebilme kapasitesi ve kalitesi arttırılarak yer tasarrufu

sağlanmıştır. Makinenin fanı daha verimli çalıştırılarak dumansız hava ortamı elde edilmiştir.

Mamadjanov, Yusupov ve Sadirov (2021) CNC işleme süreç hakkındaki bilgileri, çeşitli CNC işleme operasyonlarını ve bunların gerekli ekipmanlarını, CNC işlemenin avantajlarını ve geleceğini incelemişlerdir. Burada CNC işlemenin en iyi yöntem olup olmadığına karar verirken üreticiler ve makine atölyeleri tarafından neleri dikkate almaları gerektiğine yer verilmiştir. Çalışma özel üretim uygulamaları için en uygun çözümü sunmaktadır.

Yıldırım ve Deste (2023) mobilya sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın mutfak dolabı kesimi, bantlama ve paketleme işlemlerini gözlemleyerek özellikle malzemelerin CNC plazma tezgâhındaki yüklenme sürelerinde iyileştirme yapılmasını amaçlamışlardır. Yükleme işlem süreci 93,16 saniyede yapılırken metot etüdü çalışması planlanmış ve iyileştirme çalışmaları sonucunda bu süreç 71,34 saniyeye düşürülmüştür. Zaman etüdünden yararlanarak iş akış süreçlerinin standart hale gelmesi ve kapasitenin artırılması için standart zaman 80,16 olarak tespit edilmiştir. İlk zaman ki duruma göre işletme %13 oranında kazanım sağlamıştır.

Apay ve Egelioğlu, (2018) 1950'li yıllarda ilk olarak geliştirilen plazma kesme, teknik anlamda alevle kesilemeyen metaller için kullanım alanına sahip olmuştur. Plazma kesim işlemi, plazma motorunun hızlandırılarak ısınmasıyla malzemelerin kesilmesini sağlar. Yüksek hız ve basınçlı havada ince bir elektrot ve kovandan geçen oksijen, karbon ve hidrojen gibi gazlar plazma kesim makinalarında kullanılır. Basınçlı havanın yüksek hızla birleşimiyle oluşan elektriksel iletken durumunda, iyonize gaz halini alan plazma oluşur. Bu yöntem sayesinde universal makinelerde kesilemeyen metallerin kesiminde plazma yöntemi kullanılır.

## 2.1. CNC Tezgâhları

Computer Numerical Control (CNC), basit Numerical Control (NC) fonksiyonlarını sağlayarak bünyesinde bilgisayar sistemi bulunduran, parça programlarının tanımlanarak malzemelerin işlenmesinde kullanılan mekanik bir sistemdir.

### 2.1.1. CNC tanımı ve işleme süreci

Computer Numerical Control (CNC), basit Numerical Control (NC) fonksiyonlarını sağlayarak bünyesinde bilgisayar sistemi bulunduran, parça programlarının tanımlanarak malzemelerin işlenmesinde kullanılan mekanik bir sistemdir.

Sayısal kontrollü (NC) işleme sürecinden gelişen CNC işleme, metal, plastik, ahşap, köpük, kompozit gibi stok malzemeyi özel parçalara ve tasarımlara dönüştürerek şekillendirme işlemi için makineyi ve kesme takımlarını çalıştırmak ve manipüle etmek için bilgisayarlı kontrolleri kullanan bir üretim sürecidir. CNC işleme süreci çeşitli yetenekler ve işlemler sunarken, sürecin temel prensipleri hepsinde büyük ölçüde aynı kalır. Temel CNC işleme süreci aşağıdaki aşamaları içerir (Mamadjanov vd, 2021):

- CAD dosyasını bir CNC programına dönüştürme,
- CNC makinesinin hazırlanması,
- İşleme sürecinin yürütülmesi.

CNC işleme; otomotiv, havacılık, inşaat ve tarım da dâhil olmak üzere çok çeşitli endüstrilere uygun olan otomobil çerçeveleri, cerrahi ekipmanlar, uçak motorları, dişliler, el ve bahçe gibi çeşitli ürünler üretebilen bir üretim sürecidir. Süreç, özel olarak tasarlanmış bir parça veya ürün üretmek için iş parçasından gerekli malzemeyi çıkaran, mekanik, kimyasal, elektrik ve termal süreçler de dâhil olmak üzere, birkaç farklı bilgisayar kontrollü işleme operasyonunu kapsar (Mamadjanov vd, 2021)

Tablo 2.1 Ortak CNC işleme operasyonlarının özellikleri

İşleme Operasyonu	Özellikler
<b>Frezeleme</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dönen çok noktali kesici takımları kullanır</li><li>• İş parçası kesici takımın dönüşüyle aynı yönde beslenir</li><li>• Malzemeyi iş parçasından çıkarır</li><li>• Daha geniş bir şekil yelpazesi üretir</li></ul>
<b>Tornalama</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tek noktali kesme takımlarının kullanılması</li><li>• İş parçasını döndürür</li><li>• İş parçasının yüzeyi boyunca beslenen kesici takım</li><li>• Malzemeyi iş parçasından çıkarır</li><li>• Yuvarlak veya silindirik parçalar üretir</li></ul>
<b>Plazma</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tek noktali kesme takımlarının kullanılması</li><li>• Plaka halindeki metal malzemelerin kesme işleminde kullanılır.</li><li>• Malzemeyi iş parçasından çıkarır</li><li>• Hava, oksijen, azot gibi gazların elektrikle birleşimi ile maddenin dördüncü hali olan enerji yoğun plazma haline geçerek kesim işlemi yapar.</li></ul>

### 2.1.2. CNC tezgâhların tarihçesi

II. Dünya savaşı sürecinde ABD hava kuvvetlerinin kompleks uçak parçalarının üretimine ihtiyaç duyması ile Nümerik kontrol fikri ortaya atılmıştır. Bu üretimin var olan imalat tezgâhları ile gerçekleştirilmesi imkânsız denilecek kadar zordur. Bu üretimin sağlanabilmesi için dijital olarak etkinleştirilmiş bir çözüm sağlayıcısı olarak savunma, istihbarat ve kritik altyapı pazarlarının geleceğine yön veren Parsons Corporation ile ülkenin sanayi devrimini hızlandırmak için kurulan MIT (Massachusetts Institute of Technology) ortak olarak faaliyetlere başlamıştır. İlk başarılı olarak 1952 yılında Nümerik Kontrol ile donatılan CINCINNATI-HYDROTEL freze tezgâhını geliştirdiler. Bu süreçten sonra nümerik kontrollü tezgâh imalatı pek çok imalatçı tarafından yapılmaya başlanmıştır. İlk zamanlar sıklıkla tamir edilmesi gereken karışık kontrol arayüzleri, elektrik röleleri, vakumlu tüpler NC tezgâhlarında kullanılıyorken, zamanla minyatür elektronik tüp ve yekpare devreler kullanışlı hale gelmiştir. Nümerik kontrollü sistemlerin hızlı gelişimini aynı zamanda bilgisayar teknolojisindeki ilerlemeler de

tetiklemiştir. Günümüze gelindiğinde geliştirilmiş entegre devre elemanları, daha ucuz ve güvenilir olan donanımlar kullanılarak ileri düzey NC tezgâhları piyasalarda yerini almıştır. ROM (Read Only Memory) teknolojisinin gelişimiyle programların hafızada saklanabilmesi sağlanmıştır. CNC' nin (Computer Numerical Control) doğması, bu sistemli gelişimin bir sonucudur. Bilgisayarlı sayısal kontrol olan CNC, zamanla takım tezgâhlarında yaygın olarak kullanım alanı bulmuştur (Büyüksahin,2005).

### **2.1.3. CNC tezgâhların avantajları**

Günümüzde takım tezgâhları ve bunlarla birlikte birçok parça ve aparatlar, CNC ile işlenememektedir. Bununla beraber CNC tezgâhların birçok üstünlüklerini vardır.

- Malzeme işlenmesi süreci hızlı olmasından dolayı seri üretime elverişlidir. Böylelikle zaman ve maliyetten tasarruf edilmektedir.
- Yüksek kalitede tek tip ürün elde edilmektedir.
- Manuel olarak işlenemez karmaşık malzemelerin düşük toleransla işlenebilmesi
- Kesim işlemi esnasındaki hatalara kolay müdahale edilebilir olması

### **2.1.4. CNC tezgâhların dezavantajları**

CNC tezgâhlarının piyasaya ve işletmelere sağladığı avantajlarının yanı sıra dezavantajları da bulunmaktadır. Kısaca şöyle bahsedilebilir.

- Hareket kısımlarının hassas olmasından dolayı maruz kalacağı çevresel etkenlere karşı korunmalıdır.
- Mekanik kısımlarında kontrol ünitesini kullanma ve bakım takibi gibi etkenler önemli olduğu için makine üzerine tecrübe edinmiş elemanlara gerek duyulmaktadır.
- Bilgisayar ortamında işlenecek olan malzemenin çizimi ve G kodlarını çıkarabilmesi için programlamadan anlayan kalifiye elemanlar gerektirmektedir.
- CNC tezgâhların parçalarının yüksek maliyetli olmasıdır.

## **2.2. Plazma Teknolojisi**

Plazma teknolojisi otomotiv, mikro elektronik, ambalaj ve tıbbi cihaz endüstrileri dahil olmak üzere birçok endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Katı, sıvı ve gazın yanı sıra plazma da maddenin bir halidir. Hal değişiklikleri bir maddeye enerji eklenmesi veya enerjinin çıkarılmasıyla meydana gelir. Örneğin suya yeterli miktarda ısı enerjisi eklenirse buhar haline gelir. Bir gaza yeterli enerji eklenirse, gaz molekülleri iyonize olur ve net bir pozitif yük taşır. Yeterli iyonizasyon, sistemin elektriksel özelliklerini plazma haline gelene kadar etkiler. Plazma işlemi nispeten düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilmekte ve bu da ısıya duyarlı malzemelerin işlenmesine olanak tanımaktadır (Brett Smith, 2019).

Tez çalışmasının temelini oluşturan CNC plazma kesim makinesinin sektördeki yeri, tarihsel gelişimi, kullanıcılarına ve piyasaya olan faydalarını incelemekte yarar vardır.

### **2.2.1. Plazma**

Plazmanın maddesel döngüsü olarak açıklanacak olursa, madde gaz halindeyken uygun koşullar altında maddeye enerji verilerek plazma haline geçecektir. Enerjinin kaynağı elektrik, ısıl veya ısın kökenli de olabilecektir. Dolayısıyla maddenin dördüncü hali olan plazmanın elektriği iletmesi, çok yüksek sıcaklıkta olması ve ışık yayması maddenin gaz halinden ayıran en önemli farklarıdır (Kutlu vd., 2005; Akşahin, 2009).

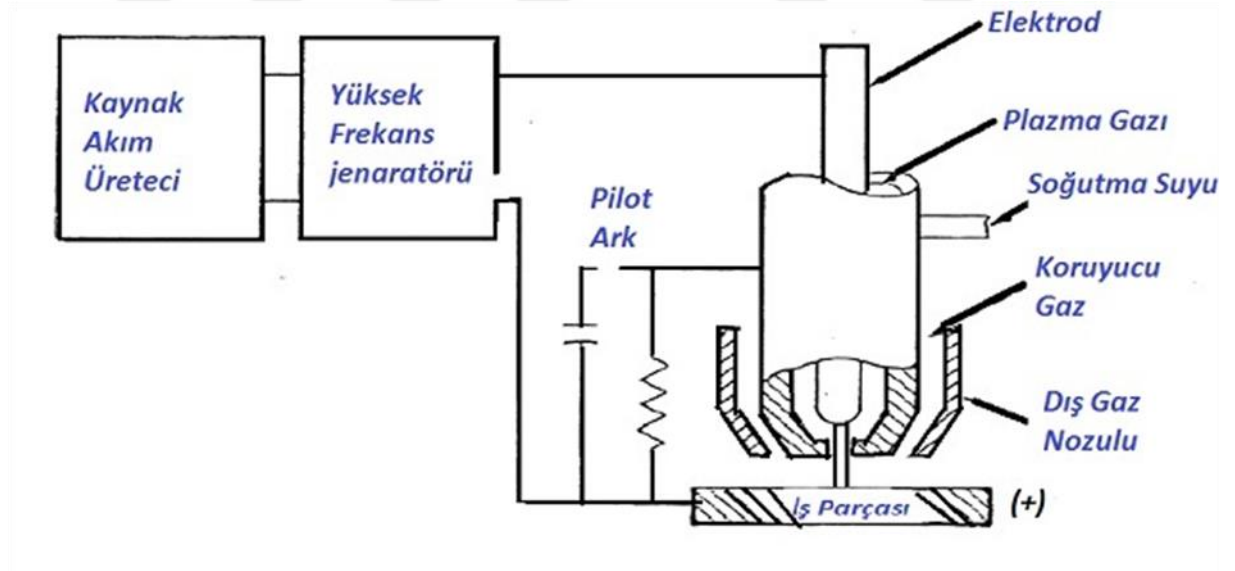
### **2.2.2. Plazma arkı ile kesme**

Elektriksel olarak iletken hale gelmiş plazma, arkla ısıtılmış en azından kısmen iyonize olan bir gazdır. Plazma herhangi bir elektrik arkında oluşurken, Plazma arkı bir torç sayesinde daraltılan bir yoğunlaşma etkisiyle oluşan patlamadır.

Kesim işlemi yapılacak is parçası üzerinde lokal bir bölgenin eritilerek yok edilmesi, daraltılarak yoğunlaştırılan bir ark sayesinde gerçekleştirilir. Buna plazma arkı ile kesim işlemi adı verilir. Torç ağzından yüksek hızlarda çıkan iyonize gazlar tarafından yüksek

sıcaklığa maruz kalmış ve hal değiştiren metal, kesim bölgesinden uzaklaştırılır. 10.000 – 14.000°C sıcaklıkta çalışan plazma arkı, iyonize hale gelen gazın dönüşümüdür (Karkın, 2006; Akşahin,2009).

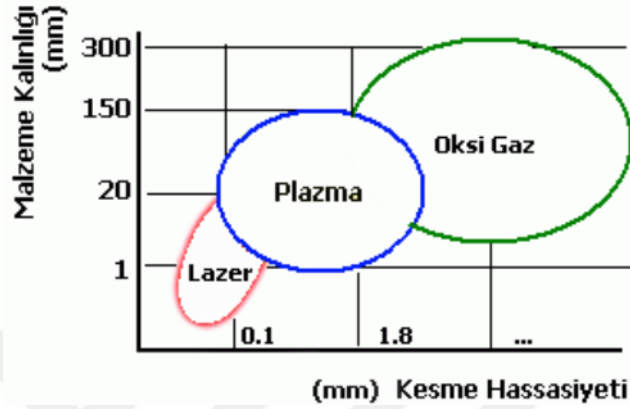
1950’li yılların ortasında plazma ile kesim işlemi ortaya atılmıştır. Endüstriyel piyasalara uyarlanmasından kısa bir süre sonra ticari anlamda da başarılı sonuçlar göstermiştir. Elektriksel olarak iletken olan her malzemeyi kesebilmesi onu piyasada etkin kılmıştır. Özellikle oksijen-gaz yöntemi ile kesilemeyen metaller için plazma arkı ile kesme onu geleneksel kesim yöntemlerine göre daha cazip kılmıştır. İlk alüminyum ve paslanmaz çelik kesiminde kullanılan plazma, gelişim gösterdikçe karbonlu çeliklerin kesiminde de avantajları fark yaratır şekilde önemli hale gelmiştir. (Karkın, 2006; Akşahin,2009:64). Plazma arkı ile kesme işleminin ayrıntıları Şekil 2.1’de verilmiştir Şekil 2.1’de gösterildiği gibi plazma torcun ateşlenmesi, iş parçasındaki artı (+) kutbu ve torcdaki eksi (-) kutbu ile ark meydana gelip kesme işlemi sağlanmaktadır. (Baylan, 2015).



Şekil 2.1 Plazma ark ile kesme

Plazma sistemi, geleneksel olarak 20-150 mm kalınlık aralıklarındaki malzemelerin kesim işleminde kullanılarak yaygın halde tercih edilmektedir. Günümüze gelindiğinde plazmalar, 1-12 mm kalınlığı aralığındaki malzemeyi hassas olarak kesim yapabilmeleri

yönünde geliştirilmiştir. Dolayısıyla kesim teknolojisinin en hassas yöntemlerinden lazer kesme sistemlerinin çalıştığı prensibe yaklaşmıştır. Şekil 2.2’de son kesme teknolojileri ile malzeme kalınlına göre oluşan kesme hassasiyeti arasındaki ilişki gösterilmiştir (Kutlu vd., 2005; Akşahin,2009).



Şekil 2.2 Kesim teknolojilerinde malzeme kalınlığına göre kesim hassasiyeti

Plazma kesim tekniğinde diğer kesim yöntemlerine göre malzemeye dokunulmadan gerçekleştiği için mekanik sisteme uygulanan güç daha azdır.

### 2.2.3. Plazmada kullanılan gazlar

Plazma kesiminde malzemenin kesim kalitesini arttırmak, yüksek kalınlıktaki malzemelerin kesimini kolaylaştırmak için maliyet etkisi çerçevesinde birtakım farklı gazlar kullanılmaktadır. Kesim işlemi, tek bir gaz kullanılarak yapılmayıp hava-azot, hidrojen-argon gibi karışımları ile de yapılmaktadır.

Basıncılı hava, nitrojen, argon, hidrojen ve oksijen veya bu bileşenlerin iki veya üçünün karışımları, plazma kesme için en popüler plazma gazlarıdır. Karışımli bir gazda doğru gazın veya kombinasyonun seçilmesi kesilen metale, kullanılan ekipmana ve kesme işleminde istenen performansa bağlıdır. Yarım inç'e kadar olan malzemeler için basınçlı hava, çok düşük bir maliyetle nispeten iyi çalışır. Daha kalın malzemeleri keserken, metal kimyası ve kalınlığı, optimum performansın sağlanması için özel bir plazma gazı seçimi gerektirir (Anonim, 2023).

- Argon

Kimyasal elementler arasında atmosferdeki ağırlığı %1,288'ini, hacimce %0,934'ünü oluşturan argon, diğer soygazlar arasında en çok bulunan ve endüstriyel olarak en sık kullanılanıdır (Gloria Latha, 2023). Maliyet açısından en düşük olan soygazdır. Yüksek bir atom ağırlığına (39,95) sahip olması ve kimyasal olarak nötr davranış göstermesi argonun plazma kesme işlemlerindeki üstünlüğünü göstermektedir.

Plazma huzmesinde oluşan yüksek kuvvetin etkisiyle erimiş metalin kesme yarığında uzaklaştırılmasına imkân yaratır. (Anık vd,1996; Akşahin,2009).

- Hidrojen

Hidrojen gazının hafif olmasından dolayı tek başına plazma kesim işleminde kullanılmamaktadır. Hidrojen gazının diğer gazlarla karşılaştırıldığında entalpisi yüksektir. Hidrojen gazı tepkimeye girmesi sonucu büyük enerji açığa çıkar. Argon gazı ile birleştirilerek plazmada kullanılmaktadır. Argon gazı ile birlikte ağırlığı artması ve yüksek enerji ile plazmada kesim işlemi yapmaktadır. Plazma kesimde %65 argon %35 hidrojen gazı birleşimi sonucu kesim işlemi verimli olmaktadır. Paslanmaz çeliklerin kesiminde hidrojen-argon karışımı kullanılarak kaliteli kesim işlemi yapılmaktadır.

- Azot

Azot gazının entalpisi hidrojen gazından daha düşüktür. Ağırlığı hidrojen gazı ile argon gazının arasında yer almaktadır. Bu yüzden plazma kesimlerde tek başına kullanılabilir. Azot gazı kesim esnasında malzemeye daha ısı yaymasından dolayı diğer gazlara göre daha yaygın kullanılmaktadır. Azot gazının dezavantajı kesim esnasında kesilen yerlerde iz bırakmaktadır. Ancak malzemede deformasyon az olmasından dolayı Azot-hava birleştirilerek yaygın kullanılmaktadır. Bu soğutma işlemi aynı zamanda plazmada kullanılan sarf malzemesi elektrot ve kovanın ömrünü artırmaktadır.

- Hava

Oksijen ve azot gazının karışımı olan hava plazma kesimlerde düşük maliyette olmasından dolayı yaygın kullanılmaktadır. Tek başına hava ile plazma kesim işlemi yapılabilmektedir. Ancak kompresör ile üretilen hava direkt güç kaynağına verilmesi uygun değildir. Havanın içinde bulunan su damlacıkları kesim kalitesini kesim kalınlığını ve elektrot kovan ömrünü etkilemektedir. Hava kurutucu kullanarak kuru hava ile kesim işlemi yapılmaktadır.

- Su

Su diğer gazlar gibi malzemeyi kesmede kullanılmamaktadır. Diğer gazların kesme işlemi esnasında yüksek ısı açığa çıkar. Bu ısı torcun ucundaki elektrot ve kovanın tükenmesine sebep olmaktadır. Torc içerisine ayrı bir düzenek oluşturarak su sürekli devir-daim eder. Böylece soğutma işlemi gerçekleşmektedir.

### **2.3. CNC Plazma Kesim Tezgâhları**

CNC plazma kesim tezgâhları güç kaynağı (60 amper,90 amper,120 amper, 250 amper) ve kesim alanı (1500x3000 mm,150x6000 mm,1500x12000 mm) parametreleri göz önüne alınarak sınıflandırılırlar. Amper kesme kalınlığını belirler. Örneğin hava ile 60 amper CNC plazma kesim tezgâhında 10mm kalınlığında kadar malzeme kesimi yapılabilirken 250 amper ile 45 mm kalınlığına malzeme kesimi yapılmaktadır. Şekil 2.3'te 1500x3000 mm kesim alanına sahip plazma kesim tezgâhı gösterilmiştir (Anonim, 2019).



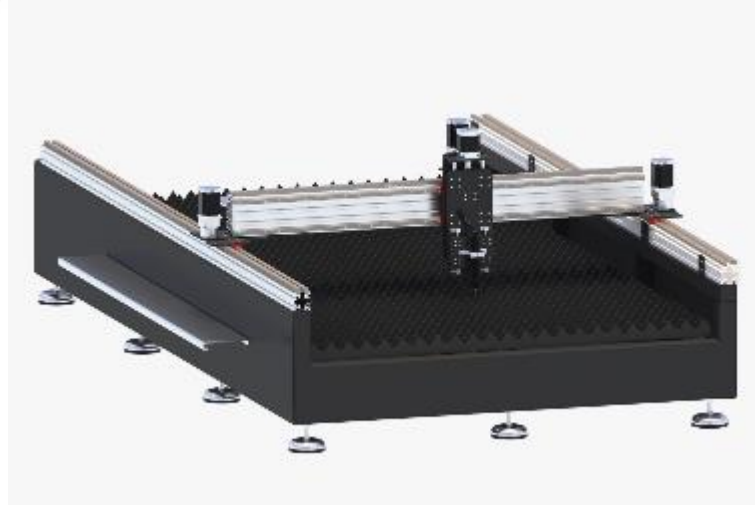
Şekil 2.3 CNC plazma kesim tezgâhı

Hava yerine oksijen gazı kullanıldığında 250 amper de 150 mm kalınlığına kadar malzeme kesim işlemi yapılmaktadır. Şekil 2.3'te görülen tezgâh 1500x3000 mm kesim alanına sahip oksijen ile 150 mm kalınlığına kadar kesim yapmaktadır. CNC plazma kesim tezgâhlarında kullanılan gazlar kesim kalitesi ve kesim kalınlığını amper ile orantılı olarak etkilemektedir. Havanın içinde bulunan azot ve oksijen malzeme kalınlığı 15 mm geçtiğinde yetersiz gelmektedir. Torcdan çıkan ark en altta yetiştirememektedir. Böyle durumlarda hava ile birlikte oksijen tüpü bağlanıp hava oksijen karışımı ile kesim işlemi yapılmaktadır. Elektrot ve kovanın ömrünü arttırmak için soğutucu gaz olarak azot gazı kullanılmaktadır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Tez çalışmasının amacına yönelik olarak plazma tezgâhının tasarımı yapılarak Tokat Niksar sanayi bölgesinde kendi imkânlarımız dâhilinde Üç eksenli prototip CNC plazma kesim tezgâhının imalatı gerçekleştirilmiştir. İmalat için gerekli malzemeler, kendi imkânlarımız dâhilinde belirli bir kısmı Türkiye'nin bazı bölgelerinden, diğer bir kısmı yurt dışından temin edilmiştir. İmalat sonrası kesim işlemi denemeleri yapılmış olup meydana gelen defomalar minimize edilmeye çalışılmıştır.

CNC Plazma Tezgâhının tasarımı Solidworks 2015 yazılım programı ile yapılmış, montaj ve tasarımın resimlenmesinde 3ds Max programı kullanarak 1 adet prototip tezgâh imalata hazır hale getirilmiştir. Prototip 3 eksenli CNC plazma kesim tezgâhı imalatı için hazırlanan tasarım işleminde 3ds Max programı kullanılmıştır. Şekil 3.1'de tasarlanmış 1500x3000 mm kesim alanına sahip plazma kesim tezgâhı verilmiştir. Makinenin ilgili parçaları tasarlanarak montaj için uygun hale getirilmiştir.



Şekil 3.1 3ds Max programında tasarlanmış CNC plazma tezgâhı

### 3.1. CNC plazma kesim tezgâhının kısımları

1500x3000 mm kesim alanına sahip bir CNC plazma kesim tezgahının üretimi yapılabilmesi için mekanik kısımlarının tasarımı yapıp ve buna göre malzeme belirlenmesi gerekmektedir. Elektronik kısmı ise bu tasarlanan mekanik kısma göre belirlenmektedir. CNC Plazma kesim tezgâhını oluşturan mekanik ve elektronik kısımları aşağıda açıklanmıştır.

#### 3.1.1. Alt tabla (konstrüksiyon)

Bir CNC router yaparken öncelikle iki kriter vardır. Öncelikle işlenecek malzemenin boyutu ve cinsi ikincisi ise istenilen hassasiyet işleme ve boşta gezme hızı kontrol ünitesi tipidir. Bu kriterler dikkate alınarak malzeme üzerinde alınacak malzemeler belirlenmektedir. CNC plazmalarda kesim işlemi malzemeye temas etmeden kesim işlemi yapmasından dolayı herhangi bir kuvvete maruz kalmamaktadır. CNC plazma kesim tezgahında boşta gezme hızı işleme hızının yüksek olması göz önüne alınarak malzeme seçimi belirlenmesi gerekmektedir. Sadece tablanın üzerine konacak malzemenin ağırlığı dikkate alınarak gövde tasarlanmalıdır. Şekil 3.2 Şekil 3.3'te CNC tezgâhlarında kullanılan alt tablalar verilmiştir.



Şekil 3.2 3ds Max programında tasarlanmış alt tabla

CNC Plazma kesim tezgâhının alt tablasını oluşturan taşıyıcı kısmı 80x80 mm kutu profilden imal edilmiştir. Net ölçüleri 3500x2000 mm'dir. Tezgâhın alt tablasının taşıyıcı kısmı Şekil 3.4'te görüldüğü gibi siyah statik fırın boya ile boyanmıştır.



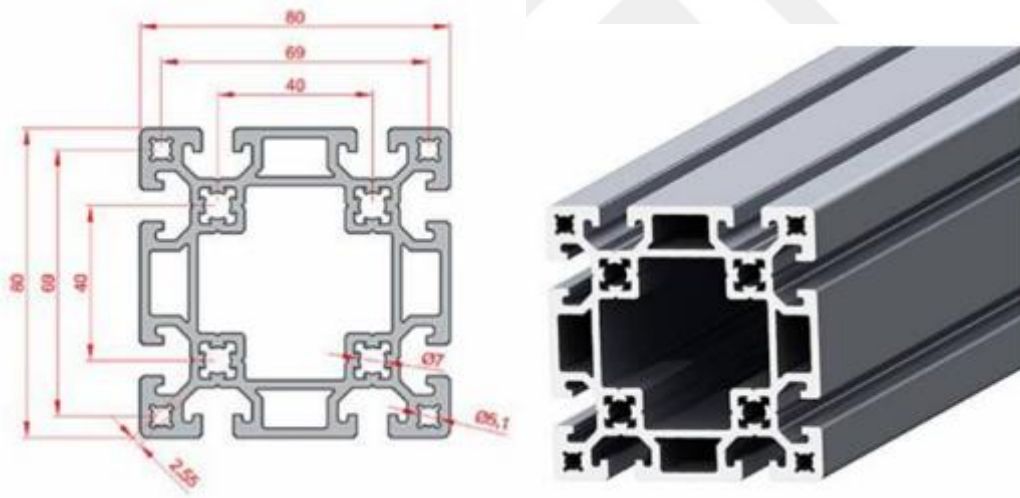
Şekil 3.3 Alt tabla taşıyıcısının üretimi



Şekil 3.4 Alt tablanın boyama işlemi

### 3.1.2. Sigma profil

CNC router yapımında hareketli kısımların montajı alüminyum ağır sigma profiller veya kutu profillerin üzerine silme St37 malzeme kaynatılıp yüzeyi dik işlemlerde kanal açılıp lineer kızak ve kremayer dişli montajı yapılmaktadır. Kaynak işleminde malzemenin deformasyona uğramasından dolayı yüzey konumlama hassasiyeti komparatörle ile ölçüm yapıldığında 1.7-3 mm'dir. Bu hassasiyet step motorların adım kaçırmasına ve tezgâhta titreşim oluşmasına sebep olmaktadır. Kutu profillere göre lineer ray ve kremayerin dişli montajı alüminyum ağır sigma profillerde daha kolay gerçekleşmektedir. Sigma profillerin pozisyon konumlama hassasiyeti 0.2 mm'dir. Tasarımı yapılmış olan CNC plazma kesim tezgahında lineer ray ve kremayer dişlisini taşıyan 80x80 mm sigma profil kullanılmıştır. Şekil 3.5'te 80x80 mm sigma profilin özellikleri verilmiştir (Anonim 2023a).



Şekil 3.5 80x80 mm sigma profil ve teknik resmi

Şekil 3.6'da görüldüğü gibi 80x80 mm sigma profiller 10 adet bağlantı elemanı ile taşıyıcı alt tablaya sabitlenmiştir. Sabitleme yaparken her bölgedeki uzunluğun eşit olması için 2 adet 40x80 mm sigma profil kullanılmıştır.



Şekil 3.6 Ağır sigma profilin alt tabla taşıyıcıya montajı

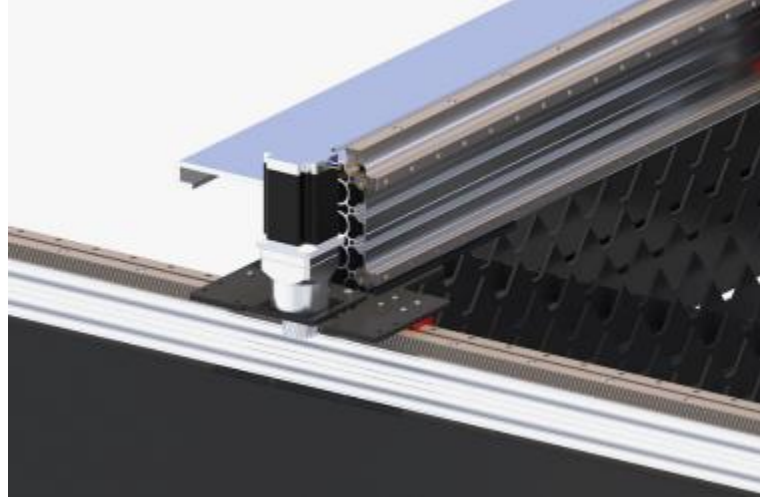
### 3.1.3. Köprü tasarımı

Köprü kısmında 90x180 mm sigma profil kullanılmıştır. X eksenli bağlantı kısmında ise Şekil 3.7’de görüldüğü gibi çelik konstrüktif yapıda tasarlanmıştır. CNC plazma kesim tezgâhında metal plakalar kesilmesinden dolayı köprü kısmı yüksek tutulmamıştır.



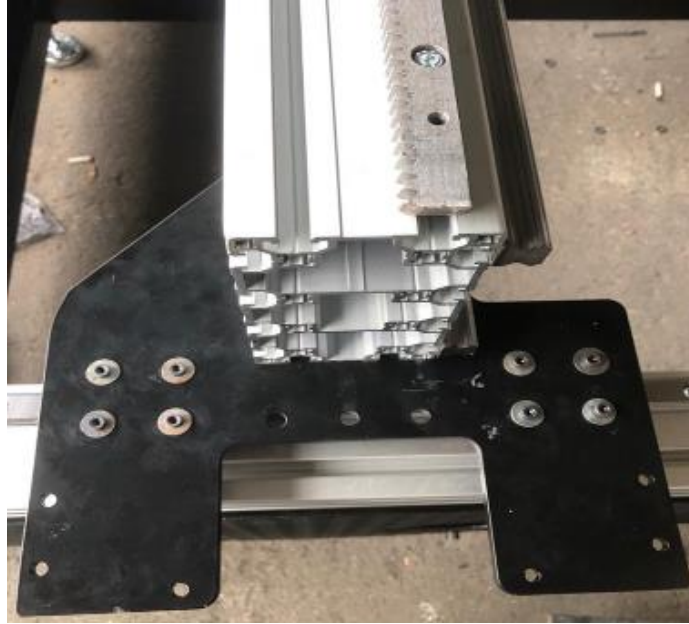
Şekil 3.7 3ds Max programında tasarlanan çelik köprü bağlantı kısmı

CNC plazma ile kesim esnasında meydana gelen talaş ve toz oluşumunun fazla olmasından dolayı Y eksenli Şekil 3.8’de görüldüğü gibi kesim alanından yüksek tutulmuştur.



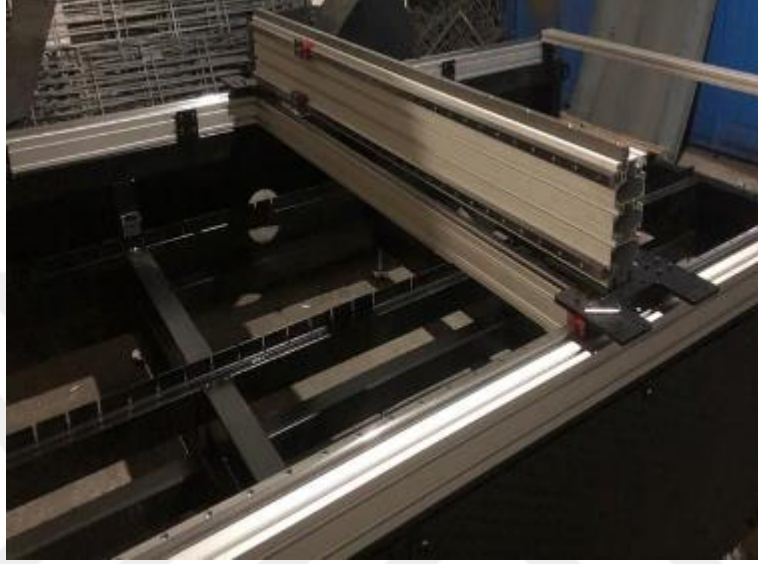
Şekil 3.8 3ds Max programında tasarımı yapılan -X eksenin Y eksenine bağlantısı

Köprüyü taşıyan ve Y eksenini ile aynı anda hareketi sağlayan bağlantı elamanı lazer kesimde kesilerek ön tarafta ölü kesim noktası oluşturmayacak bir şekilde tasarlanmıştır. Malzemenin kalınlığı 8 mm'dir. Kesim işleminde ısınmadan dolayı malzeme yüzeyinde oluşabilecek eğrilikten dolayı taşlama tezgâhında yüzey taşlama işlemine tabi tutulmuştur. Şekil 3.9'da görüldüğü gibi yüzeyine bir katman siyah statik fırın ile boyanmıştır.



Şekil 3.9 Köprü bağlantısının montajı

Köprü montajında y ekseninin hareketini sağlayan 4 adet taşıyıcıyı araba kullanılmıştır. Öncelikle X eksenini M8 T somunlar kullanılarak montajı yapılmıştır. Köprünün Şekil 3.10’da görüldüğü gibi step motorlar bağlanmadan arabalar üzerindeki hareketi gözlemlenmiştir.



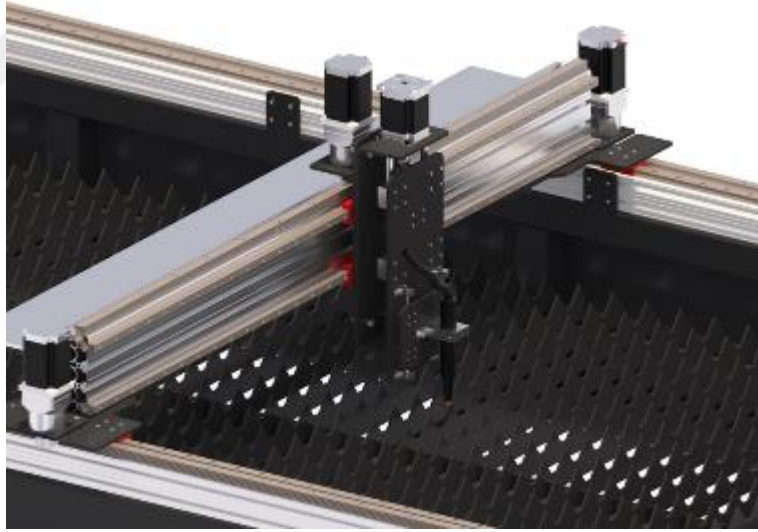
Şekil 3.10 Köprünün alt tablaya montajı

#### **3.1.4. Z eksenini tasarımı**

Z ekseninde 8 mm St37 malzeme kullanılarak tasarlanmıştır. Z ekseninin kesim alanından yüksekliği 200 mm yukarı çıkabilecek Şekil 3.11’de tasarlanması uygun görülmüştür. Bağlantı kısmında vidalı mil ve yatak mil kullanılmıştır. Z ekseninin X eksenine olan bağlantısında 4 adet araba kullanılmıştır. Step motora gelen kuvveti azaltmak için Şekil 3.12’de görüldüğü gibi 2 adet lineer ray kullanılmıştır.

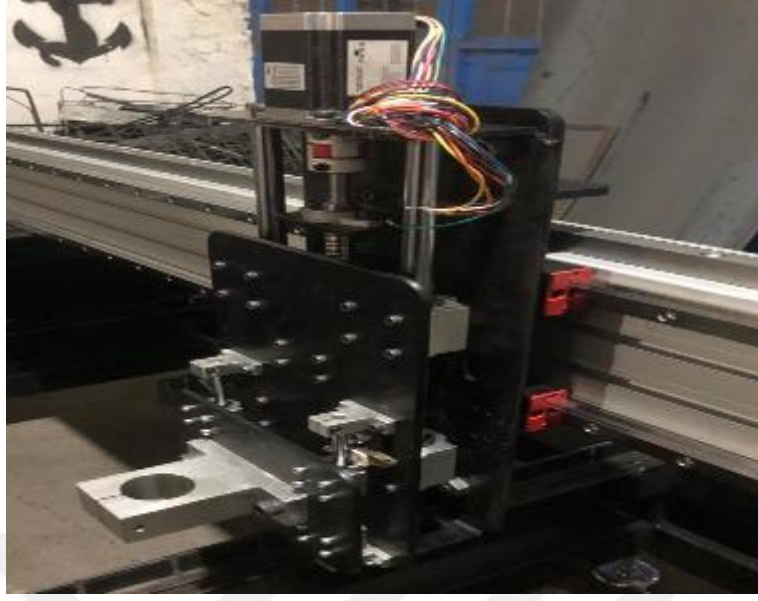


Şekil 3.11 3ds Max programı ile tasarlanmış Z eksen



Şekil 3.12 3ds Max programı ile tasarımı yapılan Z ekseninin X eksenine bağlantısı

CNC plazma tezgâhında torcu bağlamak için gibi krom mil tutucu kullanılmıştır. Torc dokunup algılama ve kesim işlemine başlaması için Z eksenine direkt bağlanmaz. Z eksenini torc bağlantı kısmında 8 mm krom mil 4 adet tutucu kullanılmıştır. Z ekseninin X eksenine olan montajı Şekil 3.13'te gösterilmiştir. Z ekseninin 220 mm çalışma alanına sahip olması için imalatta kullanılan malzemeler Tablo 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.13 Z ekseninin X eksenine montajı

Tablo 3.1 Z Ekseni tasarımında kullanılan malzemeler

Malzemeler ve Özellikleri	Uzunluğu (mm)	Adet
Krom Mil Ø16 mm	500	2
Yataklı Rulman Ø16 mm	-	4
Vidalı mil 1605	450	1
Somun 1605	-	1
Yataklı Rulman	-	2
Kaplin PBK 14	-	1

### 3.1.5. Kremayer helis dişli, lineer kızak

Eksenlerin tahrik sistemleri için doğrusal ekseninde (X ekseninde) yatay ekseninde (Y ekseninde) helis pinyon dişliler (2 modül) ve karşılık dişlisi helis kremayer dişli delikli (25x25x9000 mm) kullanılmaktadır. Helis kremayer dişli üzerinde helis pinyon dişliler Şekil 3.14’te gösterilmiştir.



Şekil 3.14 Helis kremayer dişli üzerinde helis pinyon dişlileri

Lineer kızaklar, CNC plazma kesim tezgahlarında bir mekanik elaman olarak hassas bir şekilde otomasyonda verilen doğrusal hareketi iletebilmek için kullanılır. Lineer kızak Şekil 3.15'te gösterilmiştir. CNC plazma kesim tezgahında X ve Y ekseninde Sh20 lineer kızak kullanılmıştır.



Şekil 3.15 Lineer kızak

Lineer kızak lineer ray (Sh20) teknik özellikleri şunlardır;

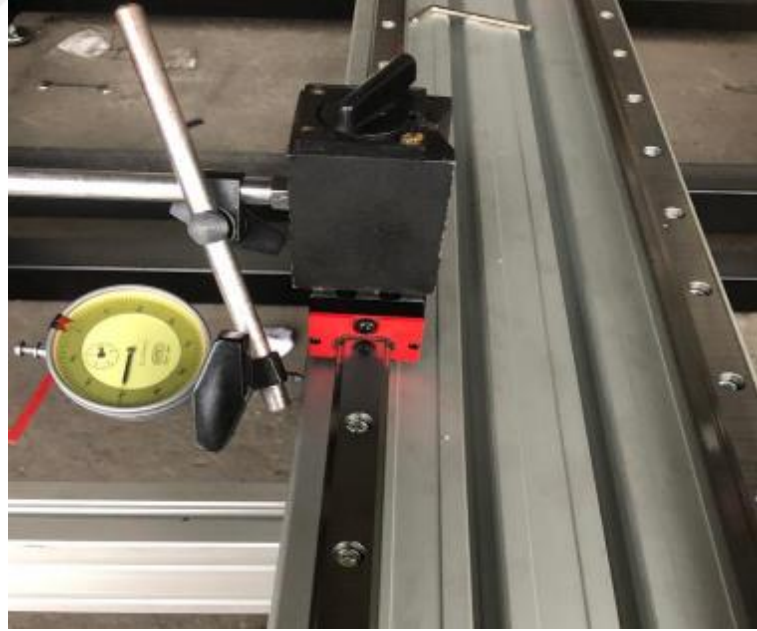
- Ray Delik Merkez Arası 60 mm
- Ray Taban Genişlik 15 mm

Doğrusal bir düzlem üzerinde hareketi sağlayan makine ekipmanlarından lineer ray arabalar birbiriyle etkileşimli olarak çalışmaktadırlar. Aşağı-yukarı, ileri-geri hareket işlemleri, lineer araba üzerinde yataklanan M6 4 adet kılavuz çekilmesiyle ray üzerine sabitlenmiştir. Tablo 3.2'de lineer ray arabanın teknik özellikleri gösterilmiştir (Anonim, 2021).

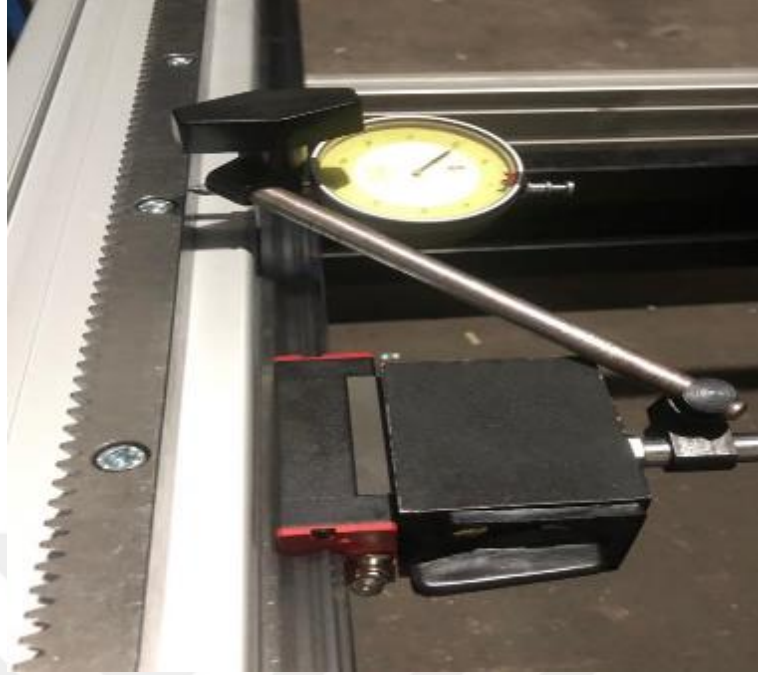
Tablo 3.2 Lineer ray araba teknik özellikleri

Ray Dâhil Yükseklik	24 mm
Delik Merkezi (EnxBoy)	38x30 mm
Tüm Boy	61.40 mm
Tüm En	47 mm
Taşıma Kapasitesi Statik	25.31 KN
Taşıma Kapasitesi Dinamik	11.38 KN
Ray Delik Merkez Arası	60 mm
Ray Taban Genişlik	15 mm

Montaj kısmına gelindiğinde, lineer kızaklar t somun ile bağlandıktan sonra t somunların sıkma işlemi arabanın üzerine komparatör takılarak somunlar sıkılmaktadır. Bu işlem Şekil 3.16’da gösterilmiştir. Kremayer dişli helis dişlinin montajı, lineer kızaklardaki arabaya bağlanan komparatör ile hassas mesafe ölçümü yapılarak Şekil 3.17’de gibi montajı yapılmıştır



Şekil 3.16 Lineer kızığın montajı



Şekil 3.17 Kremayer dişlinin montajı

Sigma profillerin yüzey konumlama hassasiyeti 0.2 mm olmasından dolayı kremayer dişlilerdeki titreşim daha az olmaktadır. Titreşimin az olması makinenin kesim kalitesini ve aynı zamanda makinenin boşta ilerleme hızını arttırmıştır (Anonim,2023b).

### 3.1.6. Kaplin

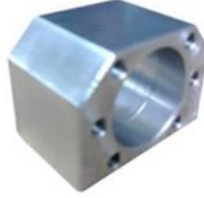
Vidalı mil somun SFUR 1610 serisi Şekil 3.18 ve vidalı mil SCR 1610 serisi lineer rulman Şekil 3.19 ve Şekil 3.20'deki gibi güvenilir hareket ettirme faktörlerinden biri olarak sabitlenen hareketlerde görülmektedir. Bilyalı mil 5 mm hatve ve 10 mm hatve olmak üzere redüktörlü, step ve servo motorlarla beraber hareketin tamamlanmasını sağlar (Anonim, 2021b).



Şekil 3.18 Vidalı mil scr 1610



Şekil 3.19 Vidalı mil somun sfur 1610 – metal deflektör



Şekil 3.20 Vidalı mil somunun gövdesi

### 3.1.7. Güç kaynağı

CNC plazma kesim tezgâhlarında kullanılan güç kaynaklarının seçimi yapılırken güç kaynağının amper cinsinden belirtilmiş güç değerinin göze alınmasına dikkat edilir. Güç kaynakları, 45, 60 amper, 90 amper, 120 amper, 260 amper gibi değerlere sahiptirler. Üretici firmalar, güç değerine göre malzemelerin kesme kalınlıklarını belirlemişlerdir. 1500x3000 mm işleme alanına sahip tezgâhlarda hava ile 15 mm kalınlığına kadar metal malzeme kesebilmesi için 120 amper güç kaynağı kullanmak gerekmektedir. CNC plazma kesim tezgâhi imalatında kullanılan 120 amper güç kaynağı Şekil 3.21’de gösterilmiştir.



Şekil 3.21 120 amper güç kaynağı

CNC plazma kesim tezgahında kullanılan 120 amper güç kaynağının teknik özellikleri Tablo 3.3’de gösterilmiştir (Anonim, 2022a).

Tablo 3.3 120 amper güç kaynağının teknik özellikleri

Şebeke gerilimi	380 V / 50 Hz
Max. Giriş Gücü	15 KVA
Akım Ayar Sahası	20 - 120 A
Çalışma Rejimi	%35 - 120 A
Koruma Sınıfı	IP 21S
Boyutlar (EXBXY)	240x540x430 mm
Ağırlık	30 kg
Torc Kablosu	6000 mm
Şase Kablosu	3000 mm
Enerji Giriş Kablosu	4000 mm

- **Güç kaynağında kullanılan hava soğutmalı torc**

CNC plazma kesim tezgâhında kullanılan torclar istenilen kesim alanına göre uzunlukları belirlenir. Aynı zamanda torcların özellikleri hava soğutmalı ve su soğutmalı olarak ikiye ayrılır. Soğutma işlemi, torcun uç kısmındaki elektrotlara yapılmaktadır. Bakır elektrot aşırı ısınmadan dolayı kullanım ömrü azalmaktadır. Bunu minimuma indirmek için hava ya da su ile soğutma işlemi yapılmaktadır. Hava soğutmalı torcların maliyeti su soğutmalı

ya göre düşük olmasından dolayı imalatı yapılan plazma kesim tezgâhında hava soğutmalı torc kullanılmıştır. Şekil 3.22’de hava torcun Z eksenine montajı gösterilmiştir.



Şekil 3.22 CNC plazma kesim tezgahında kullanılan torcun Z eksenine montajı

### 3.1.8. CNC plazma kesim tezgâhlarında kullanılan motorlar

CNC plazma Kesim makinesinde servo motor ve step motor olarak 2 çeşit motor kullanılmaktadır. Servo motorlar step motorlara göre daha az adım kaçırmakta ancak maliyeti daha yüksektir. Adım kaçırmaya hareketli kısımların montajı yapılan kısımdan oluşmaktadır. İmalatında sigma ağır alüminyum profil kullanmamızdan dolayı (pozisyon konumlama hassasiyeti 0.2 mm) step motor kullanılmıştır.

- **Servo motor**

Elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren kapalı çevrimde çalışan motorlara servo motor denir. Servo motorları; rotor (kendi çevresinde dönen) ve stator (sabit) olmak üzere iki elmandan oluşmaktadır. Servo motorların çalışma şekli stator motorun sabit sargısına sarılmasıyla kapalı çevrimde mekanik enerjiye dönüşmektedir. Şekil 3.23’te verilen servo motor, aktarma organı ve yükten oluşan mekanik servo sistemin hız, moment veya pozisyon değişkenlerinden herhangi birinin bu değişkenle ilgili verilen referans değerine

uygun olarak hareket ettirilmesini sağlayan elektrik motorlarıdır. (Selek, 2014; Kuzer, 2006).



Şekil 3.23 Servo motor ve sürücü

- **Step motor**

Step motor, elektromanyetik enerjiyi mekanik enerjiye dönüştürmektedir. Bu dönüşüm dönme hareketindeki adım sinyallerine göre oluşmaktadır Bir giriş sinyali ile motor 1 adım ilerlemesidir. Motorun bir tur dönebilmesi için 200 adım atması gerekmektedir. CNC plazma kesim tezgâhının X, Y ve A eksenlerinde kullanılan step motor Şekil 3.25'te gösterilmiştir. Tablo 3.4'te imalatı yapılan CNC plazma kesim tezgahında kullanılan step motorun teknik özellikleri verilmiştir (Anonim, 2021d).



Şekil 3.24 Nema 34 step motor

Tablo 3.4 Nema 34 step motorun teknik özellikleri

Tutma Torku	12.0 Nm
Akım	4.2 Amper
Flanş Ölçüsü	86x86 mm

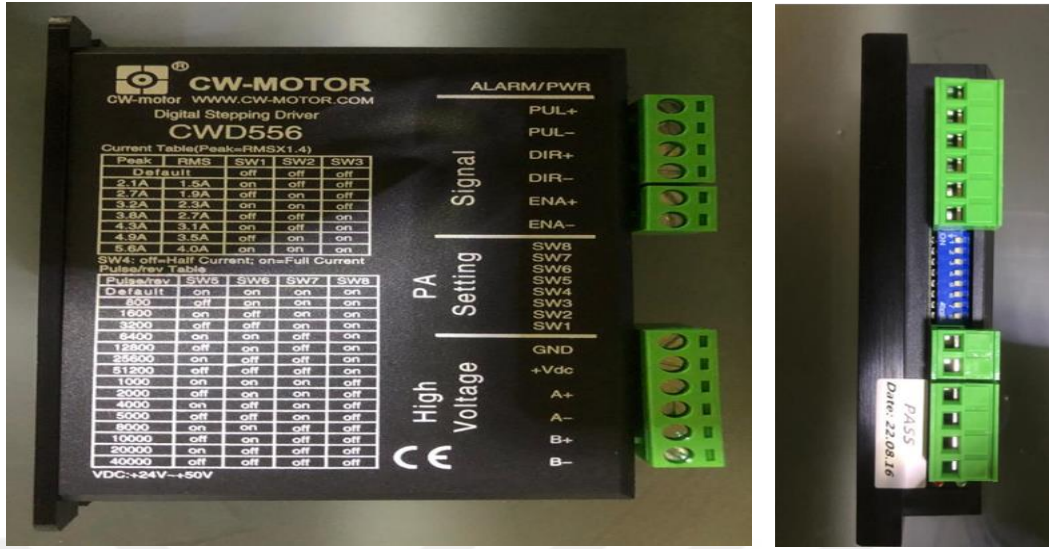
Elektromekanik aletler olarak bilinen step motorlar, dönme hareketi ile enerji dönüşümünü ve adımlar halinde açısal konum değişimini sağlayan aletlerdir (Anonim, 2021d).

Adım kontrolüne ihtiyaç duyulan çoğu projelerde step motorların kullanıldığına rastlanmaktadır. Özellikle dijitalleşmenin ve mikroişlemci teknolojilerin artması ile birlikte Tıbbi cihazlar, CNC tezgâhları, fabrika otomasyonları, gıda paketlenme endüstrisi, yazıcılar, kart okuyucular gibi pek çok alanda tercih edilmektedir. Farklı amaçlara hizmet ederek birçok sektörde kullanılan adım motorlar, kullanıcılarına sunduğu avantajlarla da kendinden söz ettirmektedir. Hareketlerde herhangi bir pozisyon hatasının yaşanmaması ve kusur meydana gelmeden pek çok defa çalıştırılabilir olması sağladığı avantajlar arasında sayılabilir (Anonim, 2021d).

- **Step motor sürücüleri**

Şekil 3.26'da görüldüğü gibi step motor sürücü devresi, step motorların kontrolünü çok yüksek hızlı kilitlenebilen motor sürücüleri ve kontrol kartları ile sağlar. Bağlı oldukları mikro kontrolcülerden puls sinyallerini alıp işleyerek motorun bir adım atmasını sağlamaktadır (Anonim, 2021e).

İstenilen yönde ve hızda çalıştırılmak istenilen step motorların sargılarına belli bir sırada sert vuruşlar yapılmalıdır. Step motorun adımı yapılan bu vuruşa göre atılır. Bu adımların sayısı motora ilave edilecek bir devre ile adımların sayısı oluşturulur. Bu devrelere sürücü devresi adı verilir (Anonim, 2021e).



Şekil 3.25 İmalatta kullanılan step motor sürücü

- **Step motoru sürücü sisteminin blok diyagramı**

Hareketin hassas sağlanabilmesi için mikro işlemciler tercih edilir. Bu sayede adım zamanı, yönü ve sayısı işlemci tarafından lojik düzeyde karar bölümüne iletilmesiyle en uygun hareket sağlanır. Bu şekilde istenen harekete adım sayısına uygun şekilde yapılarak ulaşılır. Step motor bu işlemleri açık-çevrim kontrolünde değerlendirerek yapmalıdır. (Anonim, 2021e). Belirli bir sürücü prensip mantığına göre çalışan step motorlar böylelikle istenilen hız ve torkta çalıştırılırlar.

- **Sürücü Mantıkları:**

**L/R sürücü:** Öngörülen akım ve voltaj değerlerinde çalıştırılan step motorlarda küçük bir artış hızında bobinlerinde endüktif etkiden dolayı öngörülen akıma ulaşamaz. Bu yüzden düşük hızlarda motor daha verimli bir şekilde sürülecektir (Anonim, 2021e).

**L/NR sürücü:** Motor bobinlerine seri bağlanılarak geçerli olan zaman sabiti ( $t=L/R$ ) akım artışlarında düşürülür. Bu sayede voltajın n katı değerinde motor çalıştırılmış olur. Böylece belirgin olarak motorda hız artışı oluşur. Yaşanan bu hız artışı dolayısıyla

devrelerde gereksiz güç tüketimi yaşanarak bağlanan seri üzerinden yüksek akım gerçekleşir (Anonim, 2021e).

**Chopper sürücü:** Bu sürücüde motorlardaki voltaj değeri öngörülenin 5-20 katından fazladır. Diğer sürücülere göre akım yükselme hızı yüksek olan bu sürücülerde akım hızı belirli oranlarda sınırlandırılmazsa motor, ihtiyacı olandan fazla akım çeker ve yanmaya uğrayabilir. Chopper sürücüsünün temeli tam olarak akım hızı sınırlama mekanizmasına dayanır (Anonim, 2021).

Bobine giden akım, voltaj ile bir komparatörün karşılaştırılmasıyla ayarlanır. PWM (Pulse Width Modulation) sürücü mantığında hareket eder. Güç tüketiminin minimum düzeyde olmasıyla kaynak zaman içinde açılıp kapanabilmektedir. Yüksek hızlarda tam tork ile çalışabilmesi yüksek voltaj ile beslemesine bağlıdır (Anonim, 2021e).

Akımının sınırlanması ve düzenlenmesinin sağlanması sürücü devrelerinin amacını teşkil eder. Tepki süresinin kısaltılması büyük bir akım değeri gerektirdiğinden yapılması istenmeyen bir olaydır (Anonim, 2021e).

**Seri bir dış rezistansın kaynağa yerleştirilmesi:** Akımı sınırlandırmanın en basit yollarından biri kaynağa seri bir dış rezistans yerleştirmektir. Eğer dış rezidans motor rezidansından yüksek ise gücün fazlası motorun dışında harcanıyor demektir. Bu durumda sistemin düşük verimli olmasına neden olur (Anonim, 2019).

**Chopper tekniği:** Chopper tekniği, akımı sınırlandırmanın diğer bir yoludur. Burada motorun aşırı uyarımı için tekrar yüksek gerilim kullanılır. Bu gerilimin belirlenen limitin üzerine çıkmaması için akımın on-off periyodik şeklinde anahtarlama sağlanır. Sargı enerjisi bitene kadar motor sargısındaki ortalama akım anahtarlama ile yükseltir. Burada yüksek verim elde edilmesi amaçlanır (Anonim, 2013).

CNC plazma kesim tezgâhının imalatında Şekil 3.27’de görüldüğü gibi X yön hareketini sağlamak için 1 adet, Y hareketini sağlamak için 2 adet nema34 12 Nm motor kullanılmıştır. Z eksenin hareketi için de nema23 2,2 Nm motor kullanılmıştır.



Şekil 3.26 Montaj işlemi gerçekleştirilmiş step motorlar

### 3.1.9. Redüktör

Planet Redüktörler yüksek tork değerlerinin karşılanması için üretilmiş olan redüktör çeşitlerinden bir tanesidir. Redüktörün nasıl bir sıcaklıkta çalışacağı, ne gibi bir ağırlığa maruz kalacağı, nerede kullanılacağı gibi faktörler önem arz eder. Bunlardan farklı olarak dikkat edilmesi gereken hususlar arasında redüktörün torku, boşluk ve dişli oranı ilk olarak düşünülmesi gerekenlerdir. Daha sonra ısınma seviyesi, çalışma ses düzeyi ve ürünün korozyona olan direnci üzerinde durulması gereken yerlerdir. Çelik gövde alüminyuma göre daha az sesi ilettiği için düşük ses seviyesinde çalışması isteniyorsa tercih edilmelidir. Önemli bir diğer kriter de redüktör seçiminde flanş seçeneklerinin motor çeşitlerine göre fazla olmasıdır. Şekil 3.28’de CNC plazma kesim tezgahında kullanılan 1/5 oranına sahip planet redüktör görülmektedir (Anonim, 2021f).



Şekil 3.27 Planet redüktör

- **Planet redüktörün seçilmesi**

Redüktörün nasıl bir sıcaklıkta çalışacağı, ne gibi bir ağırlığa maruz kalacağı, nerede kullanılacağı gibi faktörler önem arz eder. Bunlardan farklı olarak dikkat edilmesi gereken hususlar arasında redüktörün torku, boşluk ve dişli oranı ilk olarak düşünülmesi gerekenlerdir. Daha sonra ısınma seviyesi, çalışma ses düzeyi ve ürünün korozyona olan direnci üzerinde durulması gereken yerlerdir. Çelik gövde alüminyuma göre daha az sesi ilettiği için düşük ses seviyesinde çalışması isteniyorsa tercih edilmelidir. Önemli bir diğer kriter de redüktör seçiminde flanş seçeneklerinin motor çeşitlerine göre fazla olmasıdır (Anonim, 2021f).

- **Planet redüktörün hesaplanması**

Planet redüktörün bir formül yardımıyla hesaplanmasından ziyade hesaplama mantığı bilinmelidir. Burada motora uygun dişli kutusunun genişliği, güvenliği ve tahvil oranı bilgileriyle redüktörün akuple edileceği motorun boyutu, hızı, çıkış torku faktörleri dikkate alınmalıdır (Anonim, 2021f).

- **Redüktör tahvil (i) oranı**

Redüktörün tahvil oranı, motorun giriş tur değerinin redüktörün çıkış tur değerine bölünmesiyle elde edilir. Yani 10/1 tahvil oranına sahip bir redüktör, her 1 devir

dönmesine karşılık motorun 10 devir dönmesi demektir. Dolayısıyla girişte 1 birimlik tork üreten motor, redüktör çıkışında 10 birim olur. CNC Plazma kesim tezgâhında Şekil 3.29'da görüldüğü gibi 1/5 redüktör kullanılmıştır (Anonim, 2021f).



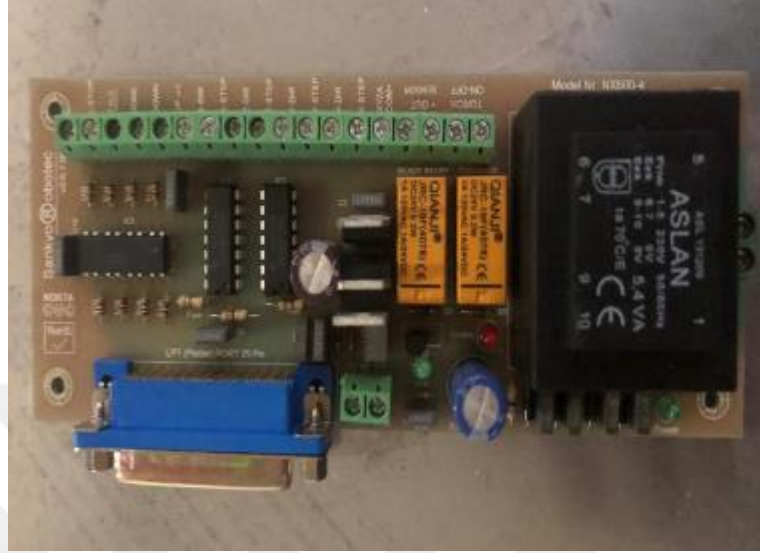
Şekil 3.28 Redüktörün motora montajı

### 3.1.10. Kontrol kartları

Mach3 kontrol kartı, mach3 programı ile çalışan, bilgisayar üzerinde alınan CNC kodlarının step ya da servo motorlara aktaran bir arayüz olarak geliştirilmiş elektronik parçadır (Anonim, 2009).

Kullanılan mach3 kontrol kartları, arayüzü kullanışlı ve basit olmakla beraber bağlantı tipi paralel port USB ve ethernet bağlantı şeklindedir. Yapılan bu bağlantı şekilleri birbirlerine göre dezavantajları bulunmaktadır. USB bağlantının en ufak bir voltajdan gelen hareket ile oluşacak parazit etkisi daha fazladır. Paralel portun USB bağlantıya göre parazitten daha az etkilenmesi söz konusudur. Ethernet bağlantılı kontrol kartları, diğer iki bağlantıya sahip kontrol kartından daha kullanışlıdır. Bu tez proje çalışmasında, yüksek verimin yanında maliyeti de göz önünde bulundurduğumuz için paralel port

bağlantılı Mach3 kontrol kartının kullanılması amaçlanmıştır. Şekil 3.30'da kullanılan kontrol kartına yer verilmiştir.

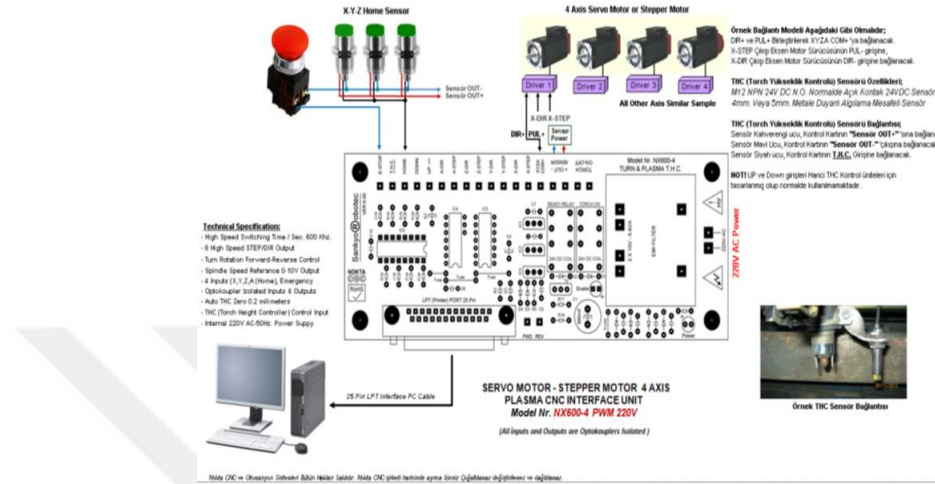


Şekil 3.29 Mach3 kontrol kartı

### Özellikleri;

- Torç yükseklik kontrolü için up - down girişleri.
- Profesyonel uygulamalar için geliştirilmiş bir üründür.
- Dahili EMİ ve RFİ filtre barındırmaktadır.
- Mach3 CNC ve milltronic CNC yazılımı için sürücü.
- Limit, home, probe, start ve estop sinyal girişleri.
- THC (torç yükseklik kontrolü) çalışma fonksiyonu (Anonim, 2009).

Mach3 kontrol kartı, cam programından alınan G kodlarını tanıyarak motorların hareketini sağlayan elektronik bir parçadır. Mach3 kontrol kartın bağlantısı Şekil 3.31’de görülmektedir (Anonim, 2009).



Şekil 3.30 Mach3 kontrol kartı bağlantı şeması

### 3.1.11. Toroid trafo ve led trafo

Toroid trafo, bağlandığı makineye halka şeklinde kıvrılarak akım gerilimi ve şiddetinin belli oranda kalmasını sağlar. Düşme veya çıkma esnasında yaşanabilecek kayıplar toroid trafo ile en aza indirilir. Sürücülerin gücüne göre dolayısıyla motorların toplam çektiği amper akımına göre seçim yapılır.

Toplam X, Y ve Z’de montajı yapılan motorları beslemek için ortalama 18 amper ve 24 volt güç kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyaçları emniyetli bir şekilde karşılayabilmek için kullanılan 2 adet 14,5 amper ve 24 V 350 W güç kaynağı Şekil 3.32’de gösterilmektedir.



Şekil 3.31 350 W 24 V toroid trafo

Şekil 3.33'teki Led trafo, toroid trafo özelliklerine sahip olup CNC plazma kesim tezgâhı imalatında yükseklik kontrol kartında kullanılmıştır. Şekil 3.34'teki rölenin açıp kapatması ile yükseklik kontrol kartına sinyal alışverişini sağlar.



Şekil 3.32 24 volt 15 amper led trafo

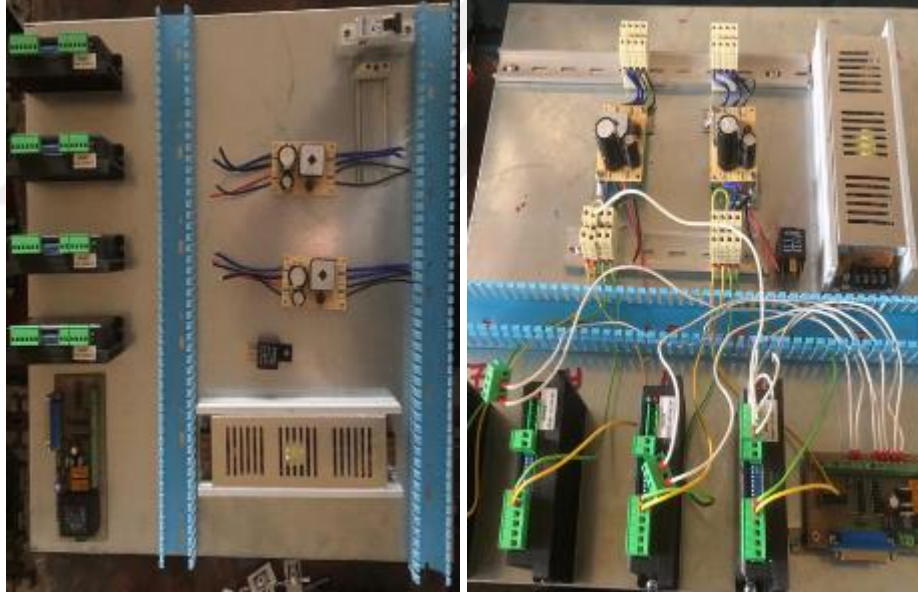


Şekil 3.33 24 volt 30 amper röle

### 3.1.12. Panonun tasarımı

CNC plazma kesim tezgâhında kullanılacak olan kontrol ünitesi, kontrol kartları ve güç kaynaklarının tezgâhın şase kısmından bağımsız olması gerekmektedir. Şase kısmındaki akımdan dolayı kontrol ünitesi etkilenmekte ve motorlar düzgün çalışmamaktadır. Oluşabilecek paraziti önlemek için 1500x600 mm pano tasarlanıp imal edilmiştir.

Sürücüler ve kontrol kartı, güç kaynağından etkilenmemesi için öncelikle montaj planı yapılmıştır. Bağlantılar da buna göre dizayn edilmiştir. Şekil 3.35'te görüldüğü gibi ısıdan etkilenmemesi için sürücüler arasında mesafe bırakılmıştır. Masada sürücü, kontrol kartı ve güç ünitesi bağlantıları yapıldıktan sonra imalatı yapılmış panonun içerisine Şekil 3.36'da görüldüğü gibi montajı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.34 Sürücü, kontrol kartı ve güç kaynağının montajı



Şekil 3.35 Kontrol ünitesinin imalatı yapılan panoya montajı

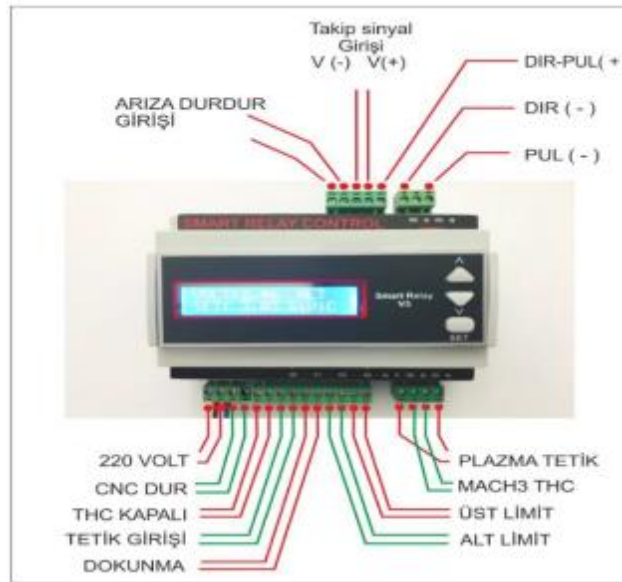
### 3.1.13. Yükseklik kontrol kartı (THC)

THC, programlama yaparak malzeme yüzeyine hafifçe dokunduktan sonra uygun olan delme yüksekliğine göre geri çekilme işlemini gerçekleştirir. Bir delme işlemini başlattıktan sonra ilk olarak torcun birkaç saniye beklemesi talimatını vererek tam delme sinyalini ulaştıracaktır. Daha sonra torcun kesme yüksekliğine indirilerek istenilen kalite elde edilecektir. Torcun öngörülen kalitede kesim yapabilmesi uygun yüksekliğin ayarlanmasıyla mümkündür. Torc çok alçak seviyede olursa plakayla çarpışma riski meydana gelir. Uygun torc çalışma mesafesi, X ve Y hareketi hızlandığında ark geriliminin geri bildirim kontrolü devreye girmesiyle elde edilir (Anonim, 2022b).

THC'lerde, operatörün düzenli olarak ark gerilimini ayarlaması, doğru kesim yüksekliğinin elde edilmesi için gereklidir. Otomatik ayar yapan THC sistemlerinin varlığıyla daha az elektrot aşınması ile verimlilik ve kârlılık arttırılmaktadır. Sarf malzemesi aşınmasının takip edilmesi için ark gerilimi örnekleme sunan bazı THC sistemleri söz konusudur. Her delme işlemi sonrasında ek operatör girişi olmaksızın ark gerilimi sürekli olarak izlenerek ayarlı ark gerilimi değerinde otomatik ayarlama

yapılabilir. Böylece sarf malzemelerin ömrü boyunca uygun kesim yüksekliği korunmuş olur. (Anonim, 2022b).

Kesici torcun yüksekliği en fazla 5 mm en az 2 mm olması gerekmektedir. Bu değerlerin dışında olduğunda ateşleme yapılmaz. Ateşleme yapılmadığı için kesim olmaz. Çapaksız sürekli kesim için torcun yüksekliği 3 mm de sabit olması gerekmektedir. Yükseklik kontrol kartı plazmadan gelen voltaja göre torcu sabitlemektedir. Örneğin plazmadan yükseklik kontrol kartına yüksek voltaj geldiğinde torcun çok aşağıda olduğu, düşük voltaj geldiğinde ise çok yukarıda olduğu anlamına gelmektedir. Plazmadan gelen voltaj değerleri kesilen malzeme kalınlığına göre sabittir. Yükseklik kontrol kartında gerekli set ayarları yapılarak torcun daima belli bir yükseklikte ilerlemesi sağlanmıştır. Böylelikle 1 mm'e kadar ince malzemelerin kesimi de sağlanmıştır. Her kalınlıktaki malzemenin ve patlatma yüksekliği farklıdır. 1 mm kalınlıktaki sac levhanın patlatma süresi 1.6 s patlatma yüksekliği 2.6 mm iken 10 mm kalınlıktaki sac levhanın patlatma süresi 4 s patlatma yüksekliği 3.8 mm'dir. Şekil 3.37'de görülen yükseklik kontrol kartı sayesinde bunlar ayarlanmaktadır. Yükseklik kontrol kartının özellikleri şunlardır;



Şekil 3.36 Yükseklik kontrol kartı

- **Hassas takibin ark kontrolüyle yapılması**

CNC plazma kesim tezgâhında en verimli yöntem ark kontrolüyle hassas takibin yapılmasıdır. Kesim esnasında (+) ve (-) uçlar arasında yüksek voltaj üreten plazma ünitesi, torcun yükseklik mesafesini bu voltajı kullanarak hassas bir şekilde yapabilir (Anonim, 2022b).

- **Direk motor kontrolünün Z ekseninde sağlanması**

Yükseklik kontrol kartının çok hızlı çalışması ile yüksek verimlilik elde edilir. Bu yüzden THC direkt olarak Z eksenini hareket ettirme işini yapmalıdır. Kesim esnasında sürekli hareket halinde olan malzeme ısınmaya maruz kalacaktır. Bunun takibi için yüksek performanslı yükseklik kontrolüne gereksinim vardır (Anonim, 2022b).

- **Levha üstüne dokunarak algılama**

Plazma patlatma esnasında levhanın yüzeyini doğru algılamalıdır. Malzemeyi delmek için belirlenen yüksekliğe çıkarak ateşleme yapmalıdır. Böylece yükseklik kontrolüne dokunarak algılama gerçekleşmiş olur (Anonim, 2022b).

- **Step motorla çalışarak hassas ayarın verilmesi**

Plazmada servo veya step motor kullanılarak Z ekseninin hassas çalıştırılması sağlanır. Hassas hareket ve hızların alındığı bu motorların sürülebilmesi için torc yükseklik kontrol kartı puls gönderimini yapar. Bu sayede net ve hızlı hareketler sağlanmış olur. (Anonim, 2022b).

- **Hava azalması veya plazma alarmları karşısında CNC hareketinin durdurulması**

Kesim esnasında kompresördeki havanın azalması, elektrotun tükenmesi gibi bazı problemler yaşanabilmektedir. Bu gibi durumlarda makinanın hemen durdurulması

gerekmektedir. Böylece herhangi bir arıza durumunda CNC hareketinin tamamen durdurularak istenmeyen ilerleme önlenmekte ve tekrar kaldığı yerden başlatılabilmektedir (Anonim, 2022b).

- **Motor hız ayarlı Z eksen**

Otomatik THC sistemlerinde yükseklik kontrol kartının Z axis motoru hız ayarlama seçeneği mevcuttur. Kurulum aşamasında sürücüden motorun hızını ayarladıktan sonra THC ayarlar bölümünden hassas ayar yapılabilmektedir (Anonim, 2022b).

- **Patlatma mesafesi ayarının yapılması**

Plazma güç kaynaklarında en zor kısım malzemeyi delmektir. 120 amper güç kaynağına sahip bir CNC plazma kesim tezgâhı ile 10 mm malzeme kesilebilirken 65 amper güç kaynağı ile de kesim işlemi yapılabilir. Ancak patlatma süresi farklılık gösterir. 120 amper güç kaynağı daha güçlü olduğu için 2.5 s delme işlemi gerçekleşir. 65 amper güç kaynağı ise 4 s'de malzemeye delme işlemi yapmaktadır. Güç kaynağının özelliğine göre bu delme süresi ayarlanır. (Anonim, 2022b).

- **Patlatma sonrası delme için bekletme ayarının yapılması**

Patlatma işleminden sonra kalın malzemeyi delebilmek için bir süre beklenmelidir. Bekleme zamanı, istenildiği gibi THC üzerindeki ayarlardan yapılabilmektedir. Malzemenin kalınlığı arttıkça sürenin arttırılması gerekir. Plazma ünitesinin kataloğundan doğru süreler belirlenmelidir Şekil 3.38'de yükseklik kontrol kartının panoya montajı gösterilmiştir Yükseklik kontrol kartı ile Z motorunun kontrolü ve voltaj takibinden dolayı göz hizasında montajı yapılması gerekmektedir. (Anonim, 2022b).



Şekil 3.37 Yükseklik kontrol kartının (THC) panoya montajı

### 3.2. Bilgisayar Sistemi ve Kontrol Kartı Haberleşmesi

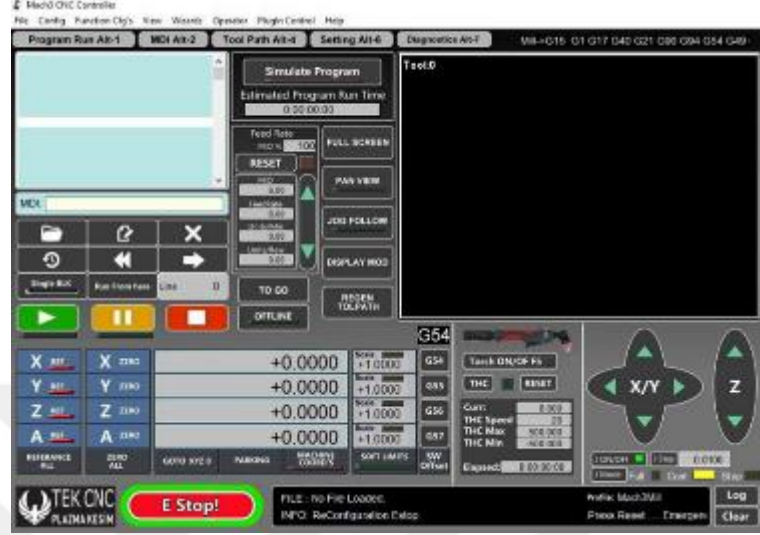
Step motorlar sürücüler vasıtası ile hareketinin kontrolünü, ileri geri, yukarı aşağı hareketi sağlamak için mach3 kontrol kartı kullanılmaktadır. Bilgisayar ya da kontrol ünitesi ile birleşen sistem 3,4 veya 5 eksende hareketi sağlar.

#### 3.2.1. Mach3 kontrolü

Mach3 kontrol kartları, mach3 olarak adlandırılan yazılımlar kurularak bilgisayara bağlantısı ile step ya da servo motorların G kodu ile çalıştırılmasıdır. CNC router makinelerinin yapımında kullanılır. Bağlantı biçimlerine göre paralel, USB bağlantı ve Ethernet kontrol kartı olmak üzere üç çeşit mach3 kontrol kartı bulunmaktadır. Çalışmada paralel port mach3 kartı kullanılmıştır.

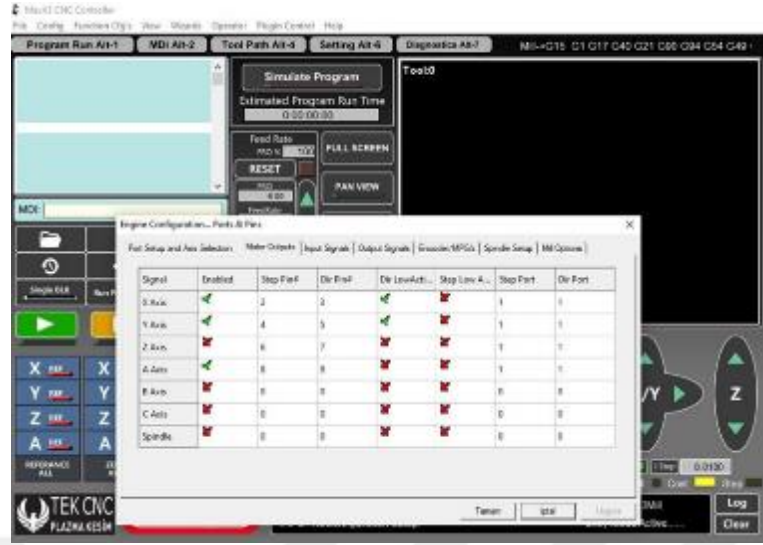
Mach3 kontrol kartının ara yüzü plazma kesime göre tasarlanmıştır. Üzerinde THC'nin açılıp kapatılması, step motorların kontrolünün sağlanması, acil durumda makinenin

durdurulması gibi fonksiyonlar eklenmiştir. Şekil 3.39'da kartın ara yüzü gösterilmektedir.



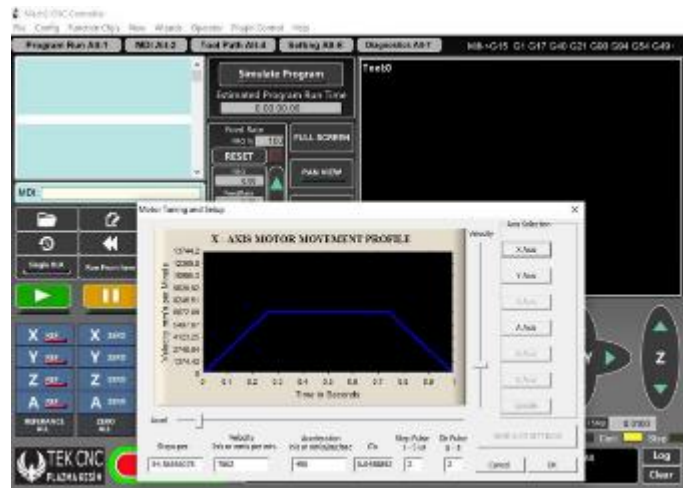
Şekil 3.38 Mach3 kontrol kartı ara yüzü

Tasarım ve imalatı yapılan CNC plazma kesim tezgahında, mach3 kontrol kartı ile motorların hareketini sağlamak için kontrol kartının üzerindeki pin numaraları ile mach3 programına tanıtılması gerekmektedir. X ve Y eksenlerinin hareketini mach3 kontrol kartına yapılmıştır. Şekil 3.40'da görüldüğü gibi pin numaraları tanıtılmıştır. Y ekseninde iki adet step motor kullanılmasından dolayı A eksen olarak diğer motorun pin numarası da eklenmiştir.



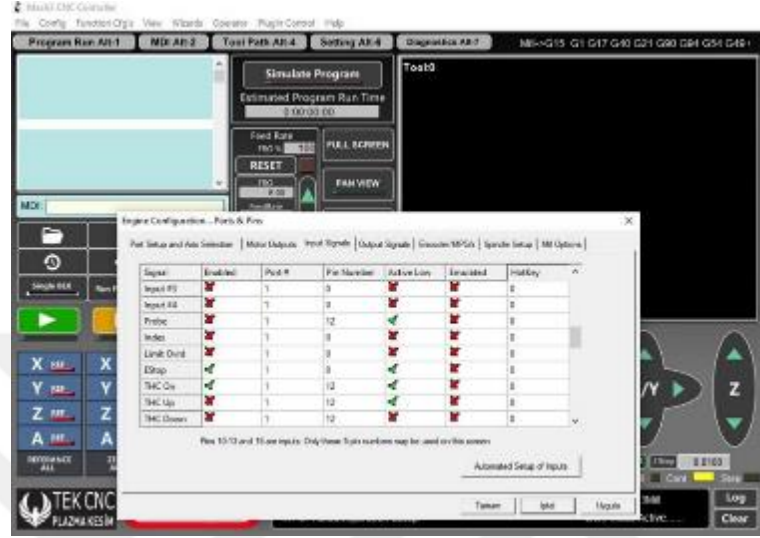
Şekil 3.39 Step motorların pin numaralarının mach3 kontrolüne tanıtılması

Step motorların istenilen ivme ve hızda gitmesi için mach3 kontrol üzerinden ivme ve hız ayarlarının yapılması gerekmektedir. Step motorun istenilen mesafeye hareket etmek için motorun kaç adım atması gerektiğini belirleyen steps per ayarı yapılmalıdır. Bu ayar motorların kalibrasyon ayarı ile otomatik yapılmaktadır. Ayrıca motorun maksimum hızını belirleyen velocity, motorun ivmesini belirleyen acceleration ayarı yapılmalıdır. Şekil 3.41’de mach3 kontrolünde motorların hız ve ivme ayarları gösterilmektedir.



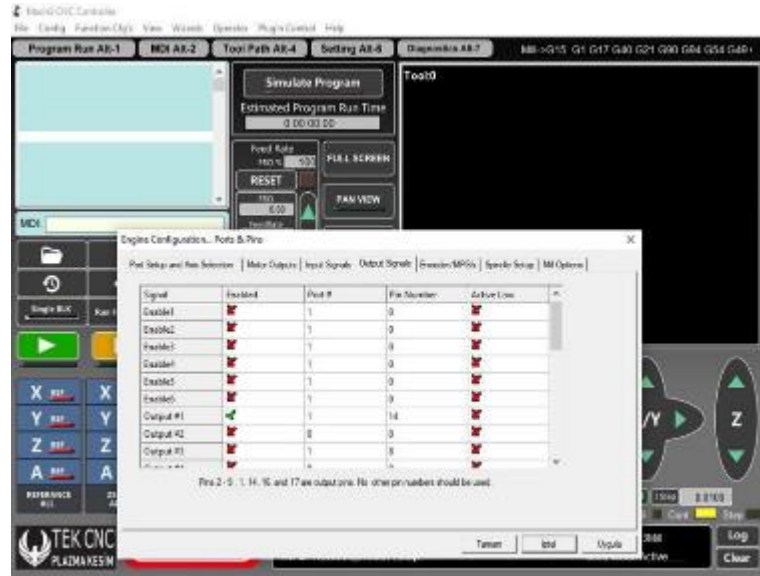
Şekil 3.40 Mach3 kontrolünde step motorların hız ve ivme ayarlarının yapılması

Yükseklik kontrol kartının Z ekseninin aşağı hareketini sağlaması ve torcun ateşleme yapabilmesi için kontrol kartından giriş sinyali alması gerekmektedir. Şekil 3.42’de görüldüğü gibi Mach3 kontrol kartında 12 numaralı pine bağlanmıştır.



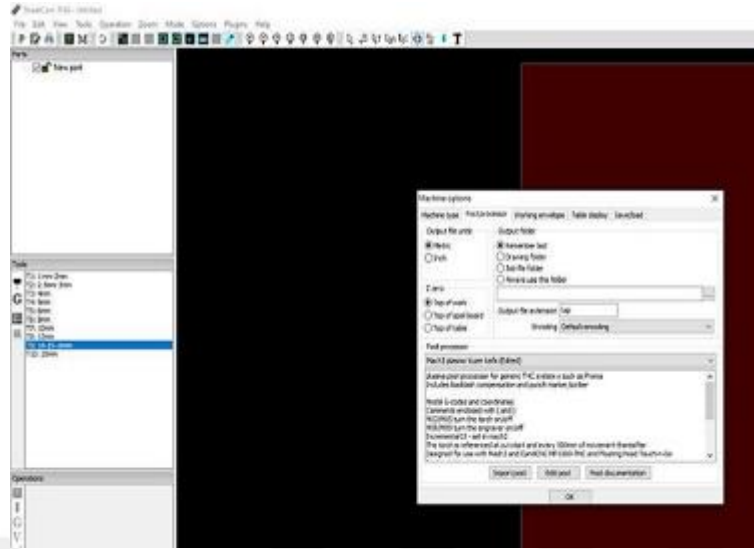
Şekil 3.41 Mach3 kontrolünde giriş sinyallerinin tanıtılması

Z ekseninin yukarı hareketini sağlaması ve torcun ateşlemeyi durdurması için çıkış sinyallerine ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 3.43’te görüldüğü gibi çıkış sinyali mach3 kontrol kartının 14 numaralı pinine bağlanmıştır.



Şekil 3.42 Mach3 kontrolünde çıkış sinyalinin tanıtılması

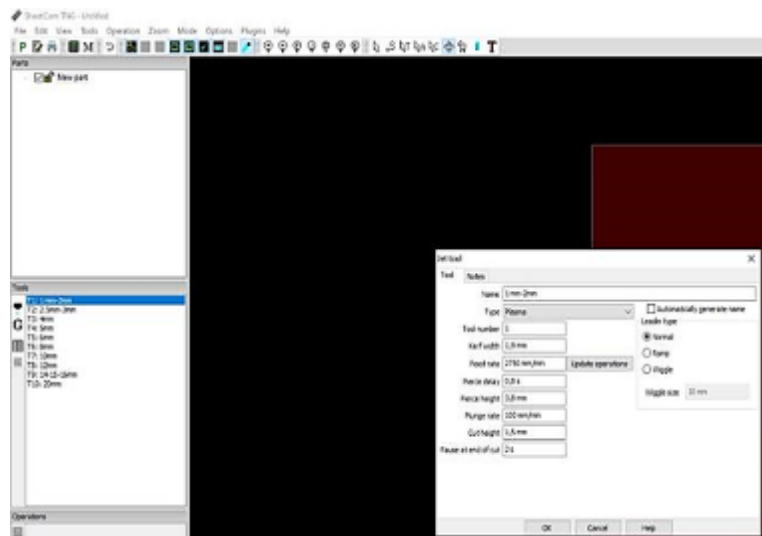




Şekil 3.44 Sheetcamın Mach3 kontrolüne tanıtılması

CNC plazma kesim tezgâhında kesme hızı ve amperi malzemenin kalınlığına göre değişmektedir. 120 amper CNC plazma kesim tezgâhında temiz ve çapaksız kesim için amper hız kütüphanesi oluşturulmuştur

CNC plazma kesim tezgâhında kesme işlemi yaparken tablodaki hızların Sheetcam programına tanıtılması gerekmektedir. Şekil 3.46'da görüldüğü gibi 1-2 mm malzemenin kesme hızı 2700 mm/dk olarak tanıtılmıştır.



Şekil 3.45 Sheetcam'de malzemenin kesme hızlarının belirlenmesi



Plazmada kesme işlemi yaparken kesici torcun kırılmaması için hızlı müdahale edilmesi önem arz eder. Bu yüzden wifi el çarkı kullanılmıştır. Bu el çarkı ile malzemenin sıfırlanması, torcun hareketi sağlanmakta ve mach3 kontrolüne tanıtılması Şekil 3.49'da gösterilmiştir.



Şekil 3.48 El çarkının mach3 kontrolüne tanıtılması

### 3.4. Şartlandırıcı

Havayı çalışma şartlarına hazır hale getiren elemanlara Şekil 3.50'de şartlandırıcı adı verilir. CNC plazma kesim tezgâhlarında kesim işlemi yapılabilmesi için 4-7 bar arasında hava basıncına ihtiyaç duyulmaktadır. Kompresörden gelen havanın basıncı şartlandırıcı ile kontrol edilmektedir. CNC plazma kesim tezgâhlarında hava basıncı 4 barın altına düştüğünde torc ateşleme yapmaz. 7 bar ve üzerinde bir basınç uygulandığında sarf malzemesi elektrot ve kovanın ömrü hızlı tükenmektedir. Bu yüzden bu tezgâhlarda hava basınç ayarı yapmak önemlidir.



Şekil 3.49 Şartlandırıcı

### 3.5. Hava Kurutucu

Normal şartlarda bir ortamdaki havada gözle görülemeyen nem olarak nitelendirilen su molekülleri bulunur. Ortamdaki hava, kompresör çalıştığı esnada çekilerek sıkışmaya uğrar. Havanın içerisinde bulunan nem sıkışmaya uğrayarak suya dönüşür. Yani basınçlı havada daima nem ve su bulunur. Basınçlı havada bulunan nemin, kompresör aracılığıyla sistemden atılması gerekir. Sistemden atılmayan nem, sistemi verimsizleştirmeye başlar ve bakım ihtiyacını artırır. (Anonim, 2020).

Basınçlı havadaki nemli havanın kurutulmasını hava kurutucusu sağlar. Kompresörlerin çalışma prensiplerinde kullandıkları havanın bir miktar nemini sisteme göndermeleri söz konusudur. Basınçlı hava sistemleri için nemin sisteme aktarılması bir problem teşkil eder. Özellikle kompresör kafasının iyi soğutulmadığı sıcak havalarda bu problem daha da açığa çıkar. Sisteme aktarılan nemin Şekil 3.51’de gösterilen bir basınçlı hava kurutucu cihazı kullanılarak en aza indirilmesi sağlanır (Anonim, 2020).



Şekil 3.50 Hava kurutucusu

Sıcak basınçlı havayı pnömotik cihazların birçoğu engelleyemez. Kompresörler bünyesinde nem ayırıcıları ve nihai soğutucu bulundurlar. Basınçlı havadaki suyun önemli bir kısmının yoğuşup ayrılması ısı eşanjörleri tarafından sağlanır. Nihai soğutucu ile soğuyan basınçlı havada su ve yağ buharları önemli ölçüde sıvılaşıp yoğuşum ayırma kaplarında toplanarak ve otomatik boşaltma sistemiyle dışarı atılırlar. Dışarıya atılması gereken su miktarını, basınçlı havanın debisi ve nihai soğutucunun derecesi belirler. Tablo 3.5’te CNC plazma kesim tezgahında kullanılan hava kurutucusunun teknik özellikleri verilmiştir (Anonim, 2022c).

Tablo 3.5 Hava kurutucusu teknik özellikleri

Çalışma Basıncı	16 Bar
Kapasitesi	1.2 m <sup>3</sup> /dk
Bağlantı	1.2 inç
Soğutucu Gaz	R404a

Basınçlı hava sistemlerinizde bu gibi problemlerin yaşanmaması için, Basınçlı hava sistemlerinde hava kurutucu filtresi ve filtreleme aygıtları gibi basınçlı hava arındırma cihazları kullanılarak sistem, su buharı ve diğer kirlere arındırılmış olur. Böylece basınçlı hava sistemlerinde oluşan problemler en aza indirilmiştir (Anonim, 2022c).

### 3.6. Kompresör

CNC plazma kesim tezgâhında şartlandırıcıya gelen hava basıncı 8 bar olmalıdır. Bu yüzden uygun kompresör seçimi önemlidir. İmalatı yapılan CNC plazma kesim tezgâhında, güç kaynağının ihtiyacı olan hava basıncını karşılayabilmek için 500 litre kapasiteye sahip Şekil 3.52'deki gibi 12 bar kompresör kullanılmıştır. Tablo 3.6'da CNC plazma kesim tezgahında kullanılan 500 litre kompresörün teknik özellikleri verilmiştir (Anonim, 2023c).



Şekil 3.51 Kompresör

Tablo 3.6 Kompresör teknik özellikleri

Depo Hacmi	500 litre
Güç	10 HP/ 7.5 KW
Basınç	12 Bar
Hava Emişi	900 litre/dakika
Voltaj	380 Volt
Ağırlığı	235 Kg
Ölçüler	1850x1350x700 mm
Piston Çapı	90/65 mm
Silindir Sayısı	3

Güç kaynağına gelen hava düzenli olarak 4.5-5.5 bar olması gerekmektedir. Kesim esnasında hava basıncının düşmesi ateşlemenin kesilmesine neden olmaktadır. Hava basıncının yüksek ve düzensiz olması da elektrotun ömrünü daha hızlı tüketmektedir. Plazma güç kaynağı ortalama dakikada 200 litre hava tüketmektedir. Kesilen malzeme kalınlığı arttıkça tüketilen havada orantılı olarak artmaktadır.

### 3.7. Tasarlanan ve İmal Edilen CNC Plazma Tezgâhı

Tez çalışmasının amacı doğrultusunda tasarlanan 1500x3000 mm işleme alanına sahip CNC plazma kesim tezgâhı Şekil 3.52 ve Şekil 3.53’de görüldüğü gibi imal edilmiştir. Kesim sırasında malzemedен gelen talaş tozları motorlara zarar verdiği tespit edilmiştir. Step motorlar dış faktörlerden etkilenmeyecek şekilde St37, 2 mm kalınlığındaki malzeme ile kapatılmıştır.



Şekil 3.52 1500x3000 mm işleme alanına sahip tasarlanan CNC plazma kesim tezgâhı - imalatı



Şekil 3.53 1500x3000 mm işleme alanına sahip CNC plazma kesim tezgâhı kontrol - ünitesi

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Sac malzemelerin kesiminde plazma ve fiber lazer kesim yöntemleri kullanılmaktadır. Fiber lazerde, rezonatörde üretilen lazer ışınları fiber kablo ile taşınarak malzeme yüzene aktarılarak kesim işlemi yapar. Fiber lazer kesim tezgâhlarında, CNC plazma tezgâhlarında olduğu gibi kuru hava, azot ve oksijen gibi gazlar kullanılır. Fiber lazer kesim tezgâhları kesim işlemi esnasında çıkan ark daire şeklinde kendi etrafında dönerek kesim yaptığı için mükemmel kesim elde edilir. CNC plazma kesim tezgâhlarında ise kesim esnasında çıkan ark yayılarak çıktığı için malzemede çapak oluşumuna yamuk kesimlere neden olmaktadır. Fiber lazer kesim tezgâhlarının CNC plazma kesim tezgâhlarına göre dezavantajı yüksek maliyette olmasıdır. İmalatı yapılan CNC plazma kesim tezgâhında yerli üretilen güç kaynağı ve kontrol kartları kullanarak düşük maliyette fiber lazer kesime yakın kesim kalitesi elde etmek amaçlanmıştır. İmalatı yapılan CNC plazma tezgâhında hassas kesimi sağlayabilmek için malzeme kalınlığı ve bu kalınlığa uygun olabilecek amper ve kesme hızı değerleri bulunmuştur.

##### 4.1. Kesme Hızı-Amper Ayarı

İmalatı yapılan CNC plazma kesim tezgâhında yüksek kesim kalitesi elde edilmesi için kesilen malzeme kalınlığına göre hız ve amper ayarı belirlenmesi gerekmektedir. Hız ve amper ayarı kesimin kalitesini belirleyen en önemli parametredir. CNC plazma kesim tezgâhlarının en zor kestiği şekil dairedir. Farklı çaplarda daireler keserek uygun kesme hızı-amper ayarı parametresi elde edilmiştir. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi malzemenin kalınlığına göre düzgün amper ve hız belirlenmemesinden dolayı hatalı kesim işlemi olmuştur. Şekil 4.1’deki uygulamada hız 750 mm/dk amper ayarı 85 amper olarak verilmiştir. CNC plazma kesim tezgâhının imalatından sonra farklı kalınlıklarda malzemeler kesilerek en düzgün kesim kalitesini elde edilebilecek parametreler Tablo 4.1’de verilmiştir. Kesim işlemi malzeme türüne göre örneğin çelik, alüminyum ve St37 gibi malzemeler de hız-amper ayarı değişkenlik göstermektedir. Endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak St37 malzemesi kullanılmaktadır. Deneysel çalışmada St37 malzemesi kullanarak kesme parametresi oluşturulmuştur.



Şekil 4.1 Hız ve amper ayarının hatalı yapılması sonucu kesilen 15 mm kalınlığında - St37 malzeme

Tablo 4.1 CNC Plazma kesim tezgâhının kesme parametresi

Malzeme Kalınlığı (mm)	Amper (A)	Kesme Hızı (mm/dk)
1-2	65	2700
2,5-3-4	75	2200
5-6-7	80	1600
8-9-10	90	1000
11-12-13	95	750
14-15	100	500

Kesimin kalitesi sadece malzeme türüne, ampere ve kesme hızına bağlı değildir. Kesim esnasında oluşan titreşimler de kesim kalitesini etkilemektedir. Bu titreşimleri en aza indirmek için kutu profil yerine alüminyum ağır sigma profil kullanılmıştır. 15 mm kalınlığındaki parametre kullanılarak Şekil 4.2'deki kesim elde edilmiştir. Kesim işlemi tamamlandıktan sonra kesilen malzemenin ön ve arka yüzeyi kumpas ile ölçülmüştür. Ön yüzeyinde kesim istenilen ölçüdedir ancak arka yüzeyin 1.5 mm az olduğu tespit edilmiştir



Şekil 4.2 Amper hız ayarı tespit edildikten sonra 15 mm kalınlığındaki St37 - malzemenin kesimi

#### 4.2. Yükseklik Kontrol Set Ayarları

Temel mantık torcun malzemeyi düzgün bir şekilde takip etmesidir. Bu mantığı uygulayabilmesi için, CNC plazma kesim tezgâhında kesme işlemi yaparken güç kaynağından 1-10 volt arasında yükseklik kontrol kartına voltaj gelmektedir. Gelen voltaj malzemenin kalınlığına göre değişkenlik göstermektedir. Bu değişim torcun kestiği malzemedan yükselip alçalmasıyla alakalıdır. Güç kaynağından gelen voltaj yükseklik kontrol kartının ara yüzünde Şekil 4.3'te görüldüğü gibi takip edilebilir.



Şekil 4.3 Yükseklik kontrol kartında voltaj/set ayar göstergesi

1-15 mm arasındaki farklı kalınlıklarda malzemeleri torc uygun yükseklikte keserken gelen voltajlar gözlemlenerek set ayarları yapılmıştır. Örneğin 2 mm kalınlığındaki bir

St37 malzemeyi CNC plazma kesim tezgâhında keserken güç kaynağından THC'ye gelen voltaj 6.55-7.10 volt arasında olduğu gözlemlenmiştir. THC set ayarı 7 volt yapıldığında kesim işleminde torcun düzgün bir şekilde malzemeyi takip ettiği gözlemlenmiştir. Farklı kalınlıktaki malzemeler kesim işlemi esnasında bu şekilde takip edilerek Tablo 4.2'deki set ayarı değerleri oluşturulmuştur. CNC plazma kesim tezgâhlarında set ayarı çok önemlidir. Eğer düzgün set ayarı yapılmamış olursa torc aşırı yükselir, kesme işlemi yarım kalır, kesim hassasiyeti azalır ya da torc malzemeye çarpıp kırılabilir.

Tablo 4.2 Malzeme kalınlığına göre set ayarı

Malzeme Kalınlığı (mm)	Set Ayarı (Volt)
1-2	7
2,5-3-4	7.2
5-6-7	7.4
8-9-10	7.6
11-12-13	7.8
14-15	8

#### 4.3. CNC Plazma Kesim Tezgâhı ile Kesim Uygulamaları

CNC plazma kesim tezgahında farklı kalınlığı sahip kullanım alanları farklı olan malzemeler kesilerek sonuçları gözlemlenmiştir. CNC plazma kesim tezgahlarında görülen en büyük hatalardan biri kesilen malzemenin arka yüzeyinde çapak oluşumudur. Kesim işlemi sonrasında 1.2-10 mm kalınlığı arasındaki malzemelerin arka yüzeylerinde çapak oluşumu olmadığı tespit edilmiştir. CNC plazma kesim tezgâhında kesilen ürünler şunlardır;

- **1.2 mm kalınlığında galvaniz sac kesim işlemi**

1,2 mm kalınlığındaki galvaniz malzemesinden kesilen iş parçası Şekil 4.4'te verilmiştir. Kesim sonucunda malzemenin arka yüzeyinde herhangi bir çapak olmadan başarılı bir şekilde kesilmiştir. Şekil 4.4'te verilen iş parçası, 65 amper ve 2700 mm/dk'da yaklaşık 2 dk sürmüştür.



Şekil 4.4 1,2 mm kalınlığında galvanizli sac kesimi

- **St37 malzemesine sahip 1.5 mm kalınlığında kesim işlemi**

1,5 mm kalınlığındaki St37 malzemesinden kesilen iş parçası Şekil 4.5'te verilmiştir. Şekil 4.5'te verilen iş parçası, 65 amper ve 2500 mm/dk'da yaklaşık 15 dk sürmüştür. Kesim sonucunda malzemenin 5 mm'den küçük çaplardaki daireleri keserken torcun ucundan çıkan ark yayılmasından dolayı istenilen şekilde kesim yapamadığı gözlenmiştir.



Şekil 4.5 St37 1,5 mm kalınlığında masaüstü isimlik kesimi

- **St37 malzemesinde 2 mm kalınlıkta kesim işlemi**

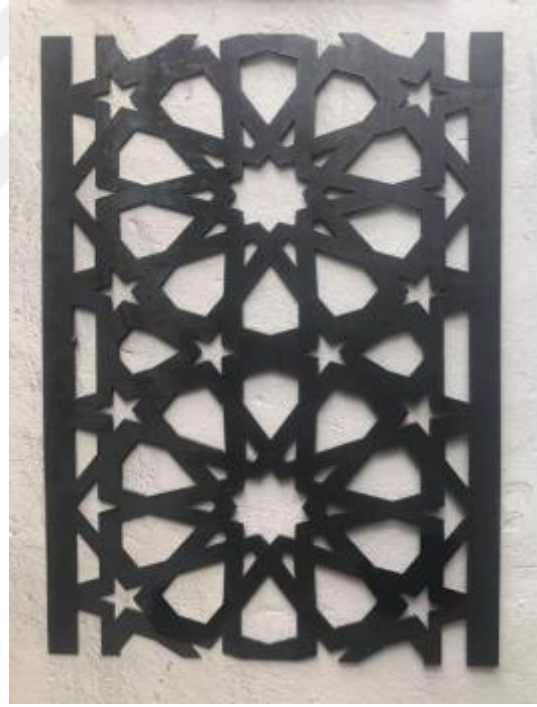
2 mm kalınlığındaki St37 malzemesinden kesilen iş parçaları Şekil 4.6'da Şekil 4.7'de, Şekil 4.8'de, Şekil 4.9'da ve Şekil 4.10'da verilmiştir. Kesilen malzemeler 65 amper 2700 mm/dk'da kesilmiştir. Malzemelerin kesme işlemini yaparken, kesim kalitesini ölçmek için basınç ayarları değiştirilmiştir. 4.5- 8 bar hava basıncı aralığında kesilmiştir. Hava basıncı malzemenin kesim kalitesine etki etmemiştir. Ancak sarf malzemesi elektrotun ve kovanın ömrü, basınç arttıkça daha çabuk tükendiği gözlemlenmiştir. Yapılan kesme işlemlerinde lazer kesime yakın çapaksız temiz bir kesim elde edilmiştir.



Şekil 4.6 St37 2 mm kalınlığında tablo kesimi



Şekil 4.7 St37 2 mm kalınlığında korkuluk kesimi



Şekil 4.8 St37 2 mm kalınlığında motif kesimi



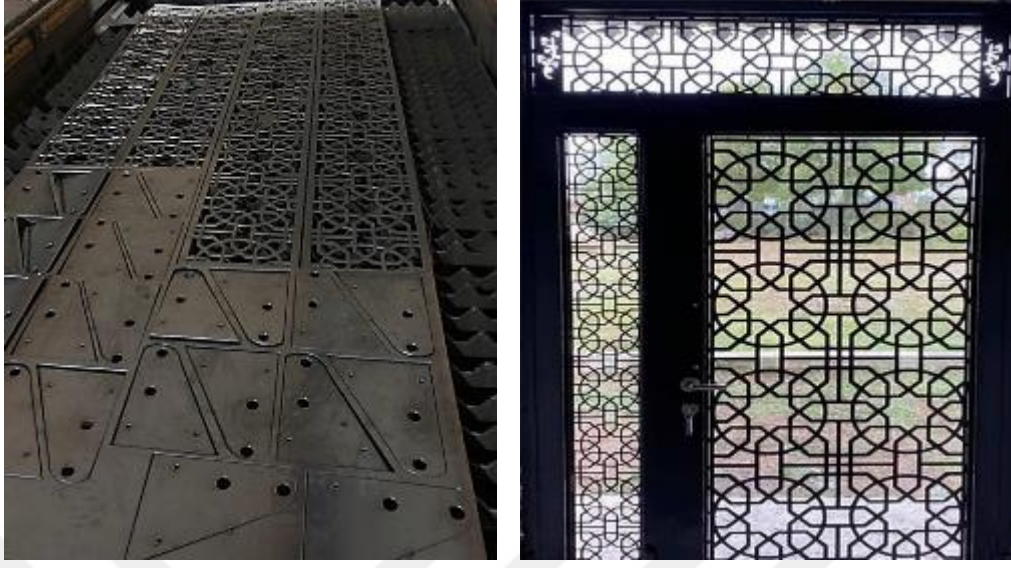
Şekil 4.9 St37 2 mm kalınlığında portre kesimi



Şekil 4.10 St37 2 mm kalınlığında duvar saati kesimi

- **St37 malzemesinde 2.5 mm kalınlığında kesim işlemi**

2,5 mm kalınlığındaki St37 malzemesinden kesilen iş parçası Şekil 4.11’de verilmiştir. Şekil 4.11’de verilen iş parçası, 75 amper ve 2200 mm/dk’da yaklaşık 2 saat sürmüştür. Kesim sonucunda herhangi bir hata olmadan başarılı bir şekilde tamamlanmıştır.



Şekil 4.11 St37 2,5 mm kalınlığında kapı ve malzeme kesimi

- **St37 malzemesinde 4 mm kalınlığında kesim işlemi**

4 mm kalınlığındaki St37 malzemesinden kesilen iş parçası Şekil 4.12’de verilmiştir. Şekil 4.12’de verilen iş parçası, 75 amper ve 2200 mm/dk’da kesilmiştir. Kesim esnasında malzemenin ısınmasından dolayı sacda esnemeler meydana gelmiştir. Bu esnemelerden kaynaklı, malzemenin arka yüzeyinde az miktarda çapak kaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.12 St37 4 mm kalınlığında malzeme kesimi

- **St37 malzemesinde 5 mm kalınlığında kesim işlemi**

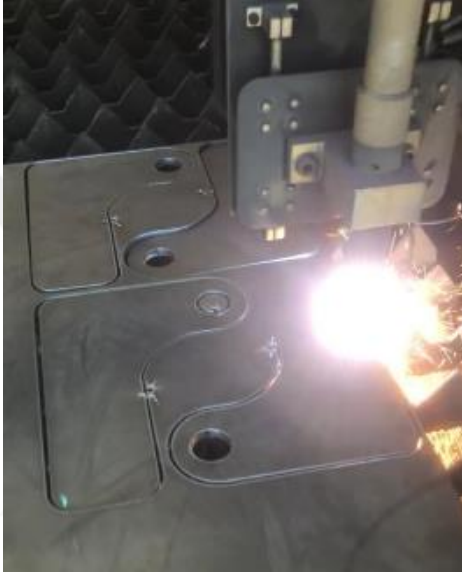
5 mm kalınlığındaki St37 malzemesinden kesilen iş parçası Şekil 4.13'te verilmiştir. Şekil 4.13'te verilen iş parçası, 80 amper ve 1600 mm/dk'da kesilmiştir. Kesim herhangi bir hata olmadan başarılı bir şekilde tamamlanmıştır.



Şekil 4.13 St37 5 mm kalınlığında malzeme kesimi

- **St37 malzemesinde 6 mm kalınlığında kesim işlemi**

6 mm kalınlığındaki St37 malzemesinden kesilen iş parçası Şekil 4.14'te verilmiştir. Şekil 4.14'te verilen iş parçası, 80 amper ve 1600 mm/dk'da kesilmiştir. Kesme işlemi sonucunda, malzeme kumpas ile ölçüldüğünde arka yüzeyinde istenilen ölçüden 0.5 mm az olduğu tespit edilmiştir.



a) Malzemenin ön yüzeyi



b) Malzemenin arka yüzeyi

Şekil 4.14 St37 6 mm kalınlığında malzeme kesimi

- **St37 malzemesinde 8 mm kalınlığında kesim işlemi**

8 mm kalınlığındaki St37 malzemesinden kesilen iş parçası Şekil 4.15'te verilmiştir. Şekil 4.15'te verilen iş parçası, 90 amper ve 1000 mm/dk'da kesilmiştir. Kesme işlemi sonucunda, malzeme kumpas ile ölçüldüğünde arka yüzeyinde istenilen ölçüden 1 mm az olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.15 St37 8mm kalınlığında römork tekerlek flanş kesimi

- **St37 malzemesinde 10 mm kalınlığında kesim işlemi**

10 mm kalınlığındaki St37 malzemesinden kesilen iş parçası Şekil 4.16'da verilmiştir. Şekil 4.16'da verilen iş parçası, 90 amper ve 1000 mm/dk'da kesilmiştir. Torcun kesime başladığı yerde iz kaldığı tespit edilmiştir.

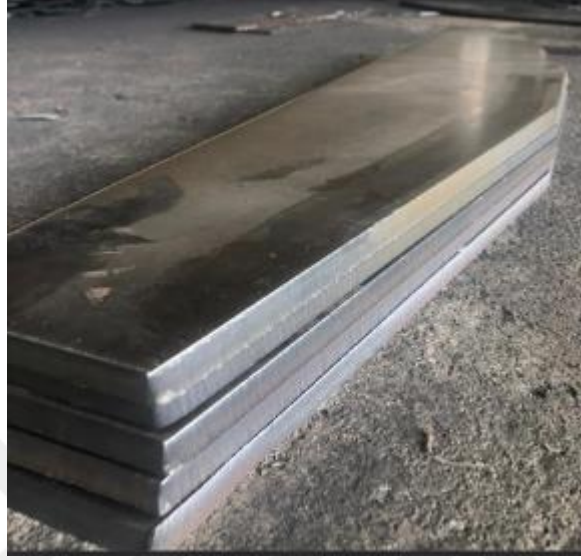


Şekil 4.16 St37 10 mm kalınlığında römork kapak tutucu kesimi

- **St37 malzemesinde 15 mm kalınlığında kesim işlemi**

15 mm kalınlığındaki St37 malzemesinden kesilen iş parçası Şekil 4.17'de verilmiştir. Şekil 4.17'de verilen iş parçası, 100 amper ve 500 mm/dk'da kesilmiştir. Kesme işlemi

sonucunda, malzeme kumpas ile ölçüldüğünde arka yüzeyinde istenilen ölçüden 1.5 mm az olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.17 St37 15mm kalınlığında beton fabrika bacası destek kesim

#### **4.4. CNC Plazma Kesim Tezgâhında Oluşan Arızalar**

CNC plazma kesim tezgâhın da uzun süre yapılan kesimler sonrasında makinenin mekanik ve elektronik kısımlarında arızalar olduğu tespit edilmiştir.

##### **4.4.1. Mekanik arıza**

CNC Plazma kesim Tezgâhında belli bir zaman kesim işlemi yaptıktan sonra hatalı kesimler çıkmaya başlamıştır. Şekil 4.18’de görüldüğü gibi kesilen daireler hatalı çıkmaktadır.



Şekil 4.18 Mekanik arıza sonucu CNC plazma kesim tezgâhında hatalı kesim işlemi

Helis pinyon dişlilerin redüktörlere bağlandığı kısımda kama yatağı açılıp M5 setskur civata ile sabitlenmiştir. Tezgâhın motor bağlantı kısımları kontrol edildi. Zamanla setskur civatalarda alın kısmı tam malzemeyi kavrayamadığı için gevşeme meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu gevşeme sonrası pinyon helis dişlilerde boşluklar oluşmuştur. Setskur civataların uç kısımları bilenip tekrar sıkılmıştır. Bu işlemden sonra pinyon dişlilerde boşlukların önüne geçilmiştir. Şekil 4.19’da görüldüğü gibi kesilen malzemelerin düzgün çıktığı tespit edilmiştir.



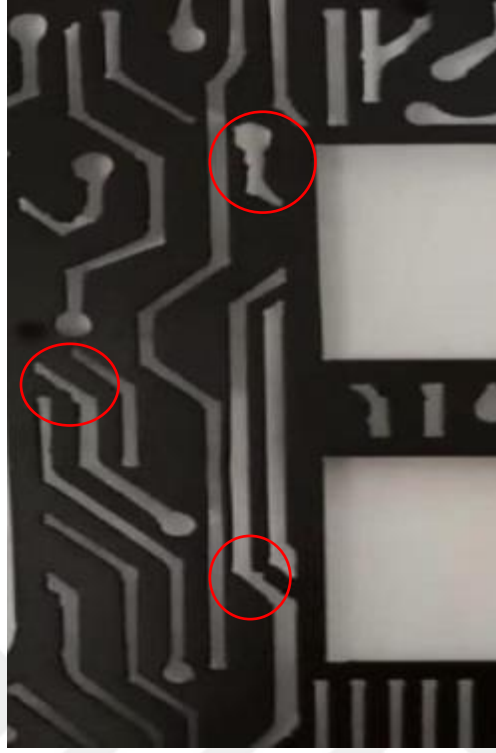
Şekil 4.19 Arızanın giderilmesi sonucunda CNC plazma kesim tezgâhında kesim işlemi

#### 4.4.2. Elektronik arızalar

CNC plazma kesim tezgâhlarının mekanik arızalara göre elektronik arızanın tespiti daha zordur. Sistem birbirine bağlı olarak çalışmasından dolayı arıza tespiti tek tek kontrol edilmesi gerekmedir.

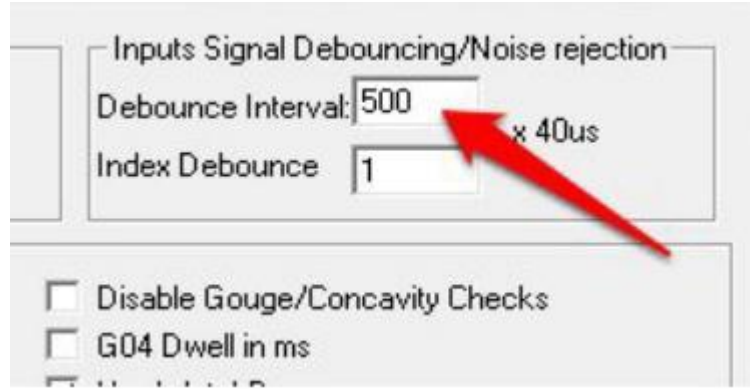
- **Motorlarda duraksama arızası**

CNC Plazma tezgâhın kontrol ünitesine gelen anlık giriş ve çıkış sinyalleri çalışmaktadır. Tezgâhın alt tablasında güç kaynağından kaynaklanan yüksek bir akım oluşmaktadır. Kontrol ünitesi bundan oluşabilecek parazitlerden etkilenmemesi için tezgâhtan bağımsız bir panoda montajı yapılmıştır. Ancak yine de kesim sırasında çizilen vektörün bitimi diğer vektörün başlangıcında motorların çalışmasında duraksamalar meydana geldiği gözlemlenmiştir. Motorların bu duraklaması sonucunda Şekil 4.20’de görüldüğü gibi iz bırakmıştır.



Şekil 4.20 CNC plazma kesim tezgâhında oluşan hatalı kesim

CNC plazma kesim tezgâhının mach3 kontrol giriş sinyallerinin geri tepmesi ayarı vardır. Şekil 4.21’de görülen geri tepme aralığı ayarları yapılması gerekmedir Mach3 kontrol Debounce Interval (geri tepme) ayarı tezgâhın etrafında etkileyebileceği çok düşük seviyede parazitler varsa tetiklemeleri yok sayması için yapılmaktadır. Mikro saniye olarak takip etmektedir. Kontrol ünitesinde dış etkenlerden oluşan parazitleri sönümler. Debounce Interval (geri tepme) değerini yapılan denemeler sonucunda 1000 mikro saniye yaparak motorlardaki anlık duraklamalarının önüne geçilmiştir. Bu işlem sonrasında Şekil 4.22’de görüldüğü gibi kesilen malzemede, iz kalmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.21 Mach3 kontrolü debounce interval ayarı



Şekil 4.22 CNC plazma kesim tezgâhında arızanın giderilmesi örnek kesim

- **Yükseklik kontrol kartının bekleme arızası**

CNC plazma kesim tezgâhında kesme işlemi yaparken malzeme kalınlığına göre torcun patlatma süresi belirlenmelidir. Örneğin 10 mm kalınlığında St37 malzemesinin patlatma süresi 3 s'dir. Torc ilk kesim esnasında 3 sn bekler patlatma işleme gerçekleşikten sonra kesme işlemine devam eder. Tasarım ve imalatını yapmış olduğumuz CNC plazma kesim

tezgâhının kesim esnasında beklemeden kesim işlemene başladığı Şekil 4.23'te görülmüştür.



Şekil 4.23 CNC plazma kesim tezgâhında oluşan arıza sonucu hatalı kesim

Yükseklik kontrol kartın (THC) giriş sinyalleri mach3 kontrol kartı dokunma algılama da kullanılan role ve güç kaynağından gelen voltajdır. THC bu sinyallerden birinden parazit sinyal aldığı tespit edilmiştir. Bütün giriş sinyalleri volt metre ile ölçülmüştür. Güç kaynağından çıkışında ki (+) ve (-) kabloların açık kısımlarının birbirine yapışık olmasından dolayı THC'nin giriş sinyali alıp beklemediği tespit edilmiştir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında üç eksenli CNC plazma kesim tezgahı üretimi gerçekleştirilmiştir. 1500x3000 mm kesme alanına sahip plazma tezgâhı imalatı için gerekli olan tasarım parametreleri belirlenmiştir. Bu tasarıma göre mekanik ve elektronik malzemelerin seçimi yapılmıştır. Yapılan tasarım dikkate alınarak belirlenen malzemelerin ölçülerin düşük maliyette kontrollü bir şekilde olması sağlanmıştır.

Plazma Tezgâhı; katı modelleme yapılması, konstrüksiyon malzemesinin seçilmesi, gerekli elemanların belirlenerek boyutlarının tespit edilmesi, tezgahdaki standart malzemelerin Solidworks yazılım programında çizilip ve hesaplanarak 3ds Max programına aktarılıp üç boyutlu katı modellemesi yapılarak tasarım gerçekleştirilmiştir. Tasarımı yapılan üç boyutlu katı modele göre malzeme listesi ve imalat resimleri oluşturulmuştur.

İmalatı gerçekleştirilen tezgâhında, CAD/CAM bilgisayar sistemlerinin nasıl kullanılacağına yer verilmiştir. Genel olarak kontrol programı olarak kullanılan mach3'ten veriler alınarak sürücüye aktarılmıştır. CAM programına alınan G ve M kodlarını mach3 kontrolü sürücüye aktararak step motorların hareket etmesini sağlar. Mach3 programının kurulumu olduğu bilgisayar ile mach3 kontrol kartının giriş ve çıkış sinyalleri arasında haberleşme sistemi LPT ile sağlanmıştır.

CNC plazma kesim tezgâhında farklı kalınlıktaki malzemeler kesilerek, tezgâhın hız ve amper parametresi oluşturulmuştur.

Sonuç olarak, üç eksenli CNC plazma kesim tezgâhının tasarım ve imalatı yapılmıştır

Tasarımı yapılan plazma tezgâhı, planlandığı gibi amacına uygun bir şekilde çalışmıştır.

İleri yapılan çalışmalarda imal edilen CNC plazma kesim tezgahına eklemeler yapılabilir bunlar;

- Kesim esnasında oluşan metal tozundan dolayı yatak eksenleri hareketli k6r6kle kapatılabilir.
- Torcun 45 derecelik açıyla kesim yapabilmesi için Z eksenine ekleme yapılabilir. Buna g6re tasarım dizayn edilebilir.
- G6 kaynağı ortam ve kesim sıcaklığından etkilenerek kesme kalitesinin d6řt6đ6 g6zlemlenmiştir. G6 kaynağına ekstra soğutma sistemi eklenebilir.
- Otomatik yağlama sistemi eklenebilir.
- Kesim işleminde malzemeyi takip ederken g6ze zarar veren zararlı işinlardan korunmak için koruyucu cam eklenebilir.



## 6. KAYNAKLAR

- Akşahin, V. (2009). “Fe37 (St 37) ile 316 paslanmaz çeliğin oksî-gaz ve modern kesme yöntemleriyle kesilmesinde işlem parametrelerinin etkileri”. Yüksek lisans Tezi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Anık, S. Vural, M. ve Oğur, A. (1996), Termik Kesme Teknolojisi, Gedik Eğitim Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Anonim, 2009. Plazma Kontrol Kartı. [http://www.noktaCNC.com/CNC\\_yazilim.htm](http://www.noktaCNC.com/CNC_yazilim.htm) (27.11.2022).
- Anonim, 2013. AC Servo Motor AC Servo Motor Çalışma Prensibi. <https://www.elektrikrehberiniz.com/elektrik-motorlari/dc-servo-motorlar-3964/> (30.11.2022).
- Anonim, 2019. CNC Plazma Kesim Alanı. <https://www.efeCNC.com/CNC-plazma-makineleri/CNC-plazma-kesim-alani-1500-x-3000-mm/> (28.11.2022).
- Anonim, 2020. Endüstriyel El Aletleri-Şartlandırıcı. <https://www.fenerendustri.com/blog/artlandirici-frl-nedir-> (24.11.2022).
- Anonim, 2021a. Lineer Ray ve Lineer Arabalar. <https://www.sahinrulman.com/ray-ve-arabalar/> (24.11.2022).
- Anonim, 2021b. Vidalı Miller ve Aksamları. <https://www.sahinrulman.com/vidali-miller-ve-aksamlari/> (25.11.2022).
- Anonim, 2021d. Step Motor: Nema 34 Step Motor 12 Nm. <https://www.sahinrulman.com/step-motor/&filter=55-> (25.11.2022).
- Anonim, 2021e. “Step Motor Sürücü”. <https://www.sahinrulman.com/image/cache/catalog/products/step-motor-surucu-2-faz/step-motor-surucu/step-motor-surucu-> (26.11.2022).
- Anonim, 2021f. Redüktör. <https://www.sahinrulman.com/planet-reduktor/> (30.11.2022).
- Anonim, 2022a. Inverter Plasma Kesme Makinesi. <https://www.isikkaynak.com.tr/inv-pls-60-a884.html-> (24.11.2022).
- Anonim, 2022b. Yükseklik Kontrolü. <https://www.yuksekkontrolu.com/ozellikler-> (28.11.2022).
- Anonim, 2022c. Hava Kurutucu. <https://yigittaslar.com/hava-kurutucu/> (25.11.2022).

- Anonim, 2023a. “What gases are used for plasma cutting?”.  
<https://www.lindedirect.com/frequently-asked-questions/gas-information/what-gases-are-used-for-plasma-cutting>, (17.11.2023).
- Anonim, 2023b. [www.doguskalip.com.tr/Urun/4739/80x80-kremayerli-modul](http://www.doguskalip.com.tr/Urun/4739/80x80-kremayerli-modul)  
(19.11.2023).
- Anonim, 2023c. [www.lastiksanayi.com/500-litre-kompresor-12-bar-10-hp](http://www.lastiksanayi.com/500-litre-kompresor-12-bar-10-hp)  
(20.11.2023).
- Apay, S., & Egelioglu, Ö. (2018). İnce Yapısal Çeliklerin CNC Plazma İle Kesim İşlem Parametrelerinin Yüzey Kalitesine Etkisi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6(3), 565-573.
- Barışkan, B. (2015). Üç eksen hassas cnc freze tezgahi tasarımı ve imalatı. Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- Baylan, O., (2015). Plazma Ark Kaynağı. [https://www.metaluzmani.com/plazma-ark-kaynagi/#google\\_vignette](https://www.metaluzmani.com/plazma-ark-kaynagi/#google_vignette), Erişim Tarihi: 18.12.2023.
- Brett, S., (2019). “What is Plasma Technology and What are its Applications?”  
<https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=5280>. Erişim Tarihi: 16.11.2023.
- Büyükşahin, U. (2005). “3 eksenli CNC tezgah tasarımı ve uygulaması”. Yüksek lisans Tezi. Fen Bilimleri Üniversitesi. Yıldız Teknik Üniversitesi. İstanbul.
- Çelik, Y. H., & Özek, C. (2011). CNC Plazma ile kesmede işleme parametrelerinin kesme kalitesine etkisinin araştırılması. 6th International Advanced Technologies Symposium, 65-70.
- Gevrek, F. (2013). Prototip üç eksenli CNC freze tezgahı tasarımı ve imalatı. Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bozok Üniversitesi, Yozgat.
- Gloria, L.,T. Ansiklopedi Editörleri (2023). “Argon “. Britanika Ansiklopedisi .  
<https://www.britannica.com/science/argon-chemical-element>. (17.11.2023).
- Gülaçtı, S., & Durak, E. (2019). Beş Eksenli Köprü Tipi Cnc Mermer İşleme Makinesi Tasarımı Ve İmalatı. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(2), 282-293.

- Kabaş, K., (2011). Sıvı Soğutma Sistemli Masaüstü Cnc Freze Tezgahı Tasarımı Ve Prototip İmalatı. Yüksek Lisans Tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük.
- Karadeniz, B. (2004). “Çeliklerin gaz ergitme ve plazma ile kesilmesinde kesme kalitesini etkileyen parametrelerin incelenmesi”. Yüksek lisans Tezi. Fen Bilimleri Üniversitesi. Yıldız Teknik Üniversitesi. İstanbul.
- Karkın, S., (2006), “Plazma Arkı ile Kesme Prensipleri”, Oerlikon Kaynak Elektrodları ve San. A.Ş., İstanbul.
- Kavala Şen, D. (2010). Beş eksenli CNC tezgah tasarımı ve kontrolü. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.
- Kaygisiz, H., & Çetinkaya, K. (2010). Cnc Freze Eğitim Seti Tasarımı Ve Uygulaması. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 2(3), 53-71.
- Kutlu, A. E., Monno, M., & Bını, R. (2005). Plazma İle Kesme Metoduna Genel Bir Bakış. Mühendis Ve Makina, 46(541), 21-29.
- Kutlu, M. (2006). “Üç Eksenli Masa Tipi Cnc Freze Tezgahı Tasarım Ve İmalatı”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi, Afyon.
- Küçük, H. İ., & Deste, M. (2021). Sac Kesimi İçin Yeni Makine Seçiminde İş Etüdü Yaklaşımı İle Bir Uygulama. Ekonomi İşletme ve Maliye Araştırmaları Dergisi, 3(2), 167-179.
- Mamadjanov, A. M., Yusupov, S. M., & Sadirov, S. (2021). Advantages and the future of CNC machines. Scientific progress, 2(1), 1638-1647.
- Naqvi, S. A. H. (2014). Design, prototype, and control of 5-axis desktop cnc milling machne. Master's thesis, Karabuk University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Manufacturing Engineering. Karabük.
- Öncel, L., (2014).“316L Çelik Esaslı İmplantların Çeşitli Kesilme Yöntemleri ile Kesilmesinin ve Kesim Sonrası Tavlama İşlemlerinin Mikroyapısal Karakterizasyonu,” Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

- Savaş, S., (2011). Yeni Bir 3 Eksenli Küresel Cnc İşleme Tezgâhının Tasarımı Ve İmalatı. Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Şenol, S. (2009). CNC tezgâhı ile kesim ve desen çıkarma uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Şefkatlıoğlu, E., (2015). Cnc Strafor Kesme Makinesi Tasarımı Ve İmalatı. Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- Tekaüt, İ. (2020). Plazma arkı ile kesim işlemlerinde kesme parametrelerinin malzemenin kesim yüzeyi kalitesine ve ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) genişliğine etkisinin deneysel olarak araştırılması. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 35(3), 1509-1518.
- Topaloğlu, C. (2010). Metal kesme teknolojilerinde kesme yüzeylerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Yıldırım, D. Ö. T., & Deste, Ö. Ü. M. Cnc Tezgâhlarda Yükleme Süreçlerinin İyileştirilmesine Yönelik İş Etüdü Uygulaması. Incohis 2023 Spring. May 20-21, 2023 İstanbul/Türkiye. International Congress Of New Horizons In Social Sciences. Proceedings Book. 5(1), 110-118.