T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

CNC HAVA FIRÇASI TASARIMININ VE PROTOTİPİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

EMİR BAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ MUSTAFA AYYILDIZ

DÜZCE, 2019

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

CNC HAVA FIRÇASI TASARIMININ VE PROTOTİPİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Emir BAL tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa AYYILDIZ

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa AYYILDIZ
Düzce Üniversitesi _____

Doç. Dr. Mehmet Akif ERDEN
Karabük Üniversitesi _____

Doç. Dr. Fuat KARA
Düzce Üniversitesi _____

Tez Savunma Tarihi: 30/07/2019

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

30 Temmuz 2019

Emir BAL

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Mustafa AYYILDIZ'a en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca değerli katkılarını esirgemeyen Moonlight Aydınlatma San. ve Tic. A.Ş. firması Yönetim Kurulu ve çalışanlarına desteklerinden ötürü şükranlarımı sunarım.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

30 Temmuz 2019 **Emir BAL**

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ vii

ÇİZELGE LİSTESİ ix

KISALTMALAR x

SİMGELER xi

ÖZET xii

ABSTRACT xiii

1. GİRİŞ 1

1.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 2

2. HAVA FIRÇASI (AIRBRUSH) TEKNOLOJİSİ 4

2.1. HAVA FIRÇASI TARİHSEL GELİŞİMİ 5
2.2. HAVA FIRÇASI TEKNİĞİ 8
2.3. HAVA FIRÇASI MEKANİK YAPISI 10
2.4. HAVA FIRÇASI BOYA ATIM BİÇİMLERİ 11
2.5. HAVA KAYNAKLARI 12
2.6. TEMİZLEME VE BAKIM 13

3. CNC HAVA FIRÇASI TASARIMI 14

3.1. CNC TEZGAHLARI TARİHSEL GELİŞİMİ 14
3.1.1. CNC Tezgahların Avantajları 15
3.1.2. CNC Tezgahların Dezavantajları 15
3.2. CNC HAVA FIRÇASI MEKANİK TASARIMI VE İMALATI 15
3.2.1. Taşıyıcı Gövde Tasarımı 16
3.2.2. X Ekseni Tasarımı 19
3.2.3. Y Ekseni Tasarımı 20
3.2.4. Z Ekseni Tasarımı 22
3.2.5. Tetikleme Ekseni Tasarımı 23
3.2.6. Eksen Yataklama Sistemi Tasarımı 25
3.2.7. Eksen Tahrik Sistemi Tasarımı 26
3.2.8. Step Motor Tahrik Sistemi Tasarmı 27
3.2.9. Tabla Tasarımı 28

3.3. MOTOR TİPİNİN BELİRLENMESİ 29
3.3.1. Step (Adım) Motorlar 29
3.3.2. Servo Motorlar 30
3.3.3. Step ve Servo Motor Farkları 31
3.3.4. Tasarlanan CNC Sistemde Kullanılan Motor Tipi Özellikleri 32
3.4. MOTOR SÜRÜCÜLERİ VE KONTROLLERİ 32
3.4.1. Step Motor Sürücü Teknik Özellikleri 32
3.4.2. Step Motor ve Sürücü Kontrolleri 33
3.5. HABERLEŞME 34
3.6. ELEKTRİK-ELEKTRONİK PANO TASARIMI 35

4. YAZILIM 37

4.1. TASARIM YAZILIMI 37
4.1.1 Gri Seviye 38
4.2. CNC TEZGAHLARINDA KULLANILAN KODLAR 40
4.3. KONTROL YAZILIMI 42

5. CNC HAVA FIRÇASININ TEST EDİLMESİ 45

5.1. SİSTEMİN HASSASİYETİ 45
5.2. DOĞRULUK KONTROLÜ 45
5.2.1. X Ekseni Doğruluk Kontolü 45
5.2.2. Y Ekseni Doğruluk Kontolü 48
5.2.3. Z Ekseni Doğruluk Kontolü 49
5.2.4. Tetikleme Ekseni Doğruluk Kontolü 49
5.3. ÖRNEK UYGULAMALAR 52
5.4. CNC HAVA FIRÇASI PROTOTİPİ 61

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 65

7. KAYNAKLAR 67

ÖZGEÇMİŞ 70

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Boya tabancası.. 4
Şekil 2.2. Hava fırçası. 5
Şekil 2.3. Abner Peeler tarafından geliştirilen hava fırçası mekanizması. 6
Şekil 2.4. Liberty Walkup tarafından geliştirilen hava fırçası mekanizması. 6
Şekil 2.5. Charles Burdick tarafından geliştirilen hava fırçası mekanizması. 7
Şekil 2.6. Olaut Wold tarafından geliştirilen hava fırçası mekanizması. 7
Şekil 2.7. Hava fırçası genel yapısı ve boya atım gösterimi. 9
Şekil 2.8. Modern hava fırçası çalışma mekanizması gösterimi. 9
Şekil 2.9. Hava fırçası atımı için iğne içerisinde boya ve hava birleşimi. 10
Şekil 2.10. Hava fırçası modeli. 10
Şekil 2.11. Noktasal boya atım örneği. 11
Şekil 2.12. Çizgisel boya atım örneği. 12
Şekil 2.13. Hava kaynakları çeşitleri. 12
Şekil 2.14. Pistolenin basınçlı su ile yıkanması. 13
Şekil 3.1. 45x45 sigma profil kesit görünüş. 16
Şekil 3.2. Taşıyıcı gövde 17
Şekil 3.3. 45x45 köşe bağlantı parçası. 17
Şekil 3.4. M8 tırtıllı somun. 18
Şekil 3.5. M8 tırtıllı somun uygulama örneği. 18
Şekil 3.6. 30x30 sigma profil kesit görünüş. 19
Şekil 3.7. X ekseni tasarımı. 20
Şekil 3.8. Y ekseni tasarımı. 21
Şekil 3.9. X,Y eksenleri ve taşıyıcı gövde montajı. 21
Şekil 3.10. X, Y eksenleri ve taşıyıcı gövdesi tasarımı. 22
Şekil 3.11. Z ekseni tasarımı. 22
Şekil 3.12. X, Y, Z eksenleri ve taşıyıcı gövdesi tasarımı montajı. 23
Şekil 3.13. Tetikleme ekseni tasarımı. 24
Şekil 3.14. Z ekseni ve tetikleme ekseni montaj tasarımı. 24
Şekil 3.15. X ekseninde kullanılan 15mm lineer kızak ve 15mm minyatür araba. 25
Şekil 3.16. Y ve Z eksenlerinde kullanılan indiksiyonlu mil. 25
Şekil 3.17. Y ekseninde kullanılan lineer rulman. 26
Şekil 3.18. Vidalı mil ve bilyalı somun. 26
Şekil 3.19. Vidalı mil ucu yatağı. 27
Şekil 3.20. Vidalı mil, bilyalı somun ve vidalı mil ucu yatağı montaj örneği. 27
Şekil 3.21. Kaplin. 28
Şekil 3.22. Kaplin montajlı step motor. 28
Şekil 3.23. Tabla tasarımı. 29
Şekil 3.24. Step motor. 30
Şekil 3.25. Servo motor sistemi. 30
Şekil 3.26. Servo motor. 31
Şekil 3.27. Servo motor sürücüsü. 33
Şekil 3.28. CNC kontrol kartı. 34

Şekil 3.29. Bilgisayar donanımında bulunan portlar. 35
Şekil 3.30. Örnek pano tasarımı..... 36
Şekil 4.1. Yazılım arayüzü..... 37
Şekil 4.2. Gri seviye gösterimi..... 38
Şekil 4.3. Yazılım çalışma arayüzü. 39
Şekil 4.4. M kodları. 40
Şekil 4.5. G kodları. 41
Şekil 4.6. Mach3 programı arayüzü. 42
Şekil 4.7. Mach3 ölçü birimi ayarı. 43
Şekil 4.8. Mach3 eksen seçimleri menüsü. 43
Şekil 4.9. Pinlerin eksenlere atanması. 44
Şekil 4.10. Motor hız ve ivme ayarlamaları..... 44
Şekil 5.1. X ekseninde çizgilerden ölçü alınması. 46
Şekil 5.2. Y ekseninde çizgilerden ölçü alınması. 48
Şekil 5.3. Tetikleme ekseninde çizgilerden ölçü alınması. 50
Şekil 5.4. Uygulama 1..... 52
Şekil 5.5. Uygulama 1 M-G kodları. 52
Şekil 5.6. Uygulama 2..... 53
Şekil 5.7. Uygulama 2 M-G kodları. 53
Şekil 5.8. Uygulama 3..... 54
Şekil 5.9. Uygulama 3 M-G kodları 1. 54
Şekil 5.10. Uygulama 3 M-G kodları 2. 55
Şekil 5.11. Uygulama 3 M-G kodları 3. 55
Şekil 5.12. Uygulama 3 M-G kodları 4. 56
Şekil 5.13. Uygulama 3 M-G kodları 5. 56
Şekil 5.14. Uygulama 3 M-G kodları 6. 57
Şekil 5.15. Uygulama 3 M-G kodları 7. 57
Şekil 5.16. Uygulama 4..... 58
Şekil 5.17. Uygulama 4 M-G kodları 1. 58
Şekil 5.18. Uygulama 4 M-G kodları 2. 59
Şekil 5.19. Uygulama 4 M-G kodları 3. 59
Şekil 5.20. Uygulama 4 M-G kodları 4. 60
Şekil 5.21. Uygulama 4 M-G kodları 5. 60
Şekil 5.22. Uygulama 4 M-G kodları 6. 61
Şekil 5.23. Taşıyıcı gövde montaj görüntüsü. 61
Şekil 5.24. X ekseni step motor bağlantısı..... 62
Şekil 5.25. Tetikleme ekseni step motor bağlantısı. 62
Şekil 5.26. Tetikleme ekseni ve x ekseni bağlantısı. 63
Şekil 5.27. Y ekseni step motor bağlantısı..... 63
Şekil 5.28. CNC hava fırçası ön görünüş..... 64

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. 45x45 sigma profil mekanik özellikleri. 16
Çizelge 3.2. 30x30 sigma profil mekanik özellikleri. 19
Çizelge 3.3. Eksenlerde kullanılan step motor özellikleri. 32
Çizelge 5.1. X ekseninde ölçülen çizgi boyutları. 46
Çizelge 5.2. X ekseninde standart sapma hesabı. 47
Çizelge 5.3.Y ekseninde ölçülen çizgi boyutları. 48
Çizelge 5.4. Y ekseninde standart sapma hesabı 49
Çizelge 5.5. Tetikleme ekseninde ölçülen çizgi kalınlıkları. 50
Çizelge 5.6. Tetikleme ekseninde standart sapma hesabı. 51

KISALTMALAR

A.B.D.	Amerika Birleşik Devletleri
AC	Alternating current
CNC	Computer nümeric control
DC	Direct current
MIT	Massachusetts Instute Technology
NC	Nümeric control
PLC	Programmable logic controller

SİMGELER

A	Amper
cm	Santimetre
Ix	X ekseninde atalet momenti
Iy	Y ekseninde atalet momenti
mm	Milimetre
PSI	Pounds per square inch
Var(X)	Varyans
Wx	X ekseninde mukavemet momenti
Wy	Y ekseninde mukavemet momenti
σ	Standart sapma

ÖZET

CNC HAVA FIRÇASI TASARIMININ VE PROTOTİPİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Emir BAL
Düzce Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa AYYILDIZ
Temmuz 2019, 69 sayfa

Üretimin makineleşmesi, ülkelerin kalkınmasına ekonomik olarak da gelişimine ışık tutar. Üretimin daha rahat planlamasını ve hatalı ürünlerin miktarını alt seviyelere indirir. Operatörden oluşacak hataları da minimuma indirir. İlerleyen teknoloji ile birlikte sektör ayırmaksızın hızla makineleşmeye giden bir yol görünmektedir. Sadece klasik imalat sektöründe değil, mimari ve sanatsal alanlarda da üst düzey verimlilikle ürünler ortaya çıkarma gerekliliği ortaya çıkmıştır. Sanatsal veya mimari ürünlerde de insanların zevk ve isteklerine daha hızlı, hatasız ulaşılabilir kılmak için bu alanlarda makineleşmenin önemi öne çıkmaktadır. Bu tez çalışmasında sanatsal ve mimari alanlarda kullanılan, 3 eksenli bir CNC hava fırçası tasarım çalışması yapılmış ve mekanik, elektronik ve yazılım detayları ile prototip çalışması yapılmıştır.

Anahtar sözcükler: CNC, Hava fırçası, Bilgisayar destekli imalat, CNC hava fırçası tasarımı.

ABSTRACT

REALIZATION OF CNC AIRBRUSH DESIGN AND PROTOTYPE

Emir BAL
Duzce University
Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Manufacturing Engineering
Master's Thesis
Supervisor: Assist. Prof. Dr. Mustafa AYYILDIZ
July 2019, 69 pages

The mechanization of production sheds light on the development of countries and their economic development. It reduces production planning and the amount of defective products to lower levels. Minimizes operator errors. Together with advancing technology, there seems to be a path to rapid mechanization without sector separation. Not only in the classical manufacturing sector, but also in the architectural and artistic fields has emerged the necessity to produce products with high level of efficiency. In artistic or architectural products, the importance of mechanization comes to the fore in order to make people's tastes and desires faster, error-free. In this thesis, 3 axis Airbrush machine used in artistic and architectural fields was designed and produced. Selected mechanical, electronic and software details were explained.

Keywords: CNC, Airbrush, Computer aided manufacturing, CNC airbrush design.

1. GİRİŞ

Dünya üzerinde sanayi devrimi ile birlikte makineleşme hızlı bir şekilde artış göstermiştir. El sanatları ürünleri yerini, hızla endüstriyel ürünlere bırakmaya başlamaktadır. Bununla birlikte başta tarım, otomotiv, savunma, kimya vb. gibi sektörler hızla makineleşmeye gidilmektedir. Ardından rekabetçi bir ortam oluşarak daha verimli ve daha ekonomik ürünler elde edilmektedir. Bu makineleşme yatırımları ülkelerde ekonomik göstergelere yön vermektedir. Sanayi politikaları üretilmesine yol açmıştır. Makineleşme hızı kalifiye insan ihtiyacını da arttırmaktadır. İş olanakları açılan farklı sektörlerin de zenginleşmesi ve gelişmesine yol açmaktadır.

1940'li yılların başından itibaren makineleşme küresel anlamda ülkelerin gelişmişlik seviyelerinde başrol oynamıştır. Üretim ve markalaşma yarışları savaşların önüne geçerken, üreten ülkelerin küresel anlamda ekonomik, siyasi ve askeri alanlarda söz sahibi olduğu görülmektedir. Savaşlar artık yerini ekonomik göstergelere bırakmıştır.

1950'li yıllarda nümerik programlaya uygun tezgâhlar endüstride olarak kullanmaya başlamıştır. Bununla birlikte üretim hızları daha önce hayal edilmeyecek düzeylere gelmeye başlamıştır. İmalat ve tekstil sanayisinde nümerik kontrollü tezgâhlar ile daha karmaşık ürünlerin üretildiği görülmüştür. Özellikle bu iki sektörde endüstriyel anlamda farklı ürünlerin ortaya çıktığı görülmüştür. 1980'li yıllarda nümerik kontrollü tezgâhlara bilgisayarların adapte edildiği görülmekte ve CNC (Computer Nümeric Control) tezgâhlarının doğuşu başlamıştır. Bu başlangıç ürünlerin kalite ve üretim hızlarına doğrudan etki etmiştir. CNC tezgâhlarla birlikte otomasyon, otomotiv, havacılık, medikal gibi sektörlerinde ürün çeşitlilikleri daha da zenginleşmiştir. Çeşitli yeni iş alanları ortaya çıkmıştır.

Endüstriyel ürünlerin gelişen sanayi ile birlikte zenginleştiği görülmüştür. Ürünlerin çeşitlilikleri ve kalitelerinde çok ciddi artışlar göstermiştir ve bununla birlikte insan ihtiyaçların daha da zenginleşmiştir. Zenginleşen insan ihtiyaçları da, üretim araçlarını daha sistemli olmaya itmiştir. Bununla birlikte mekanik, elektronik ve bilgisayar sistemlerinin entegrasyonu hızlanmıştır. Robotların gelişimi de böylece başlamış olmuştur.

Makineleşme sadece insanların yapmakta zorunlu olduğu eylemleri kolaylaştırmakla kalmamakla beraber sanat ve mimari anlayışı da etkilemiştir. Sanatsal ve mimari ürünlerin daha ulaşılabilir hale gelmesine de rol oynamıştır.

Bu çalışmada sanatsal ve mimari alanda kullanılabilecek CNC hava fırçası adı verilen bir makina tasarlanmıştır. Tasarımın ardından gerekli revizyon çalışmaları yapılıp, prototip olarak imalatı yapılmıştır. Sonuç olarak tasarımı ve imalat süreçleri gerçekleştirilen bir CNC hava fırçası makinası imalatı gerçekleştirilmiştir.

1.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Karabey çalışmasında 3 eksenli bir CNC tasarlamış ve imal etmiştir. Statik hesapları ile birlikte doğruluk testlerini yaparak, 3 eksenli CNC makinası imal etmiştir [1]. Öngir çalışmasında bilgisayar kontrollü özel bir kartezyen robot tasarlamıştır. İlk olarak mekanik tasarımı gerçekleştirmiş ve ardından robot ile kullanıcı arasındaki haberleşmeyi sağlayan bir arayüz programı tasarlamıştır. Bilgisayar ve robotu seri port üzerinden kontrol etmiştir [2]. Akpınar, görüntü denetimli özel bir kartezyen robot tasarlamıştır. Çalışma depo takip sistemi için belirli bir bölgeden geçen unsurların tanımlanması çalışması yapılmıştır. Mekanik olarak imal edilmemiştir [3].

Yanıkören çalışmasında PLC'nin (Programmable Logic Controller) fiziksel yapısı ve programlaması, gerçek zaman uygulaması olarak pnömatik tahrikle çalışan kartezyen bir robot tasarlamıştır. Öğrenciler için PLC uygulamalarının tanıtılmasında yararlı olacağını düşünmüştür [4]. Aktan Mehmet, özel bir arayüz programı ile birlikte 3 eksenli kartezyen bir robotun mekanik tasarımını gerçekleştirmiştir. Kartezyen robotun z eksenine bağlanacak çeşitli uçlarla robota işlevsellik kazandırmak istemiştir [5].

Kurşun çalışmasında internet üzerinden kontrol edilebilen üç eksenli kartezyen robotun kontrol ve uygulama arayüzünü tasarlamıştır. Bu çalışmada step motorlarda Bresenham algoritmasını başarı ile uygulandığını görmüştür [6]. Akçura çalışmasında eğitim amaçlı üç eksenli bir CNC makinası tasarlamış ve imal etmiştir [7]. Pınar, görüntü işleme yöntemi ile kartezyen mekanik kısımları birleştirerek, bir tasarıma gerçekleştirmiştir [8]. Bozkurt, üç eksenli bir CNC takım tezgâhı tasarım ve imalatını gerçekleştirmiştir. Eğitim amaçlı olan bu tezgâh için CAD/CAM bilgisayar sistemlerinin uyumunu incelemiştir. Farklı parçaların işlenmesiyle tezgâhın test aşamasını incelemiştir [9]. Gümülcine

çalışmasında Fotorealist sanatçılarının fotoğraf görüntüsü üzerindeki çalışmalarını hava fırçası ile gerçekleştirdiklerinde sağlanan kolaylıkları incelemiştir [10].

Soltan çalışmasında hava fırçasının tarihsel gelişimi ve kullanım alanlarını incelemiştir. Havalı fırçasını kullanarak hazırlanan resimler üzerinde çalışmıştır [11]. Sarıkaval çalışmasında afiş çalışmalarında airbrush (hava fırçası) kullanımına dikkat çekmiştir [12]. John çalışmasında hava fırçasının sanatsal çalışmalarda kullanımını ve uygulama aşamasında çıkabilecek problemlerin iyileştirilmesi üzerine çalışmıştır. Akrilik boya ile resim çalışmaları yapmıştır [13]. Konieczny çalışmasında hava fırçasının bilgisayarlı simülasyonu için çalışılmıştır. Doğru pozisyonlama ve boya atım mesafesi ile yüksek verimli ürünler için çalışmışlardır [14]. Canko çalışmasında hava fırçasının farklı ton ve dokularla kullanımı açıklamıştır [15]. Konieczny, hava fırçasının bilgisayarlı simülasyonu ile otomotiv endüstrisine uygulaması ele alınmıştır. Boya israfının havalı fırçanın kullanımıyla aza indirilebileceği çalışmaları yapılmıştır [16]. Luk, bilgisayar kontrollü bir hava fırçası tasarımı gerçekleştirmiştir. Dijital hava fırçasında akış kontrolü, pozisyon kontrolleri bir bilgisayar programı ile kontrol edilmiştir [17]. Achıtuv, kartezyen bir robot üzerine havalı fırça monte edilmiş ve özel bilgisayar yazılımı ile boya atımları incelenmiştir [18]. Erpolat çalışmasında robotik sistemler için kamera ile koordinat okuma ve parça pozisyonu uygulaması geliştirmiştir [19].

Arslan, imalat endüstrisinde kamera yardımı ile görüntü işleme yöntemini kullanarak robot kol oryantasyonu üzerine çalışmıştır [20]. Demir çalışmasında matlab yazılım programı gereçlerini kullanarak görüntü işleme eğitiminde kullanılabilecek görsel arayüzlü yardımcı eğitim materyalleri tasarlamıştır [21]. Kulaksız çalışmasında görüntü işleme yöntemi ile paralel bir robotun kontrolünü ele almıştır [22]. Çevikelli, görüntü işleme yöntemi ile makine imalat alanında kalite odaklı bir eğitim seti geliştirilmesi için araştırmalar yapmıştır [23]. Şenel çalışmasında görüntü işleme yöntemi ile beş eksenli bir robot kolu birleştirerek, üretim bandında istenilen parçaların üzerinde hareketler sağlamıştır [24]. Culha, görüntü işleme yöntemi ile CNC torna tezgâhları için otomatik olarak işleme kodlarının oluşturulması çalışmasını gerçekleştirmiştir [25].

2. HAVA FIRÇASI (AIRBRUSH) TEKNOLOJİSİ

Hava fırçası (airbrush) tekniği, çalışma prensibi olarak sprey boya tabancasına benzemektedir. Boyanın hava ile birleşerek basınç yardımıyla yüzey üzerine püskürtülmesi ile gerçekleşmektedir. Sprey boya tabancası geniş alanların yüzey boyama işlemleri için kullanılır. Hava fırçası ise daha hassas ve milimetrik boyama çalışmaları için kullanılmaktadır. Hava fırçası mekanizması, sprey boya tabancası mekanizmasına göre daha hassas yapıdadır.

Basınçlı hava ile püskürme tekniği yeni bir buluş değildir aksine, insanlık tarihi kadar eski olduğunu bile söyleyebiliriz. Çalışmalar, mağara dönemine ait negatif el çizimlerinin de benzer bir tekniğin ürünleri olduğunu göstermektedir. Bu çizimlerin, kayanın üzerine yerleştirilen elin etrafını içi boş bir kemik yardımıyla boya püskürtülmesi ve böylece elin altında kalan boyasız bölümün el figürünü almasıyla ortaya çıktığı tahmin edilmektedir [26].



Şekil 2.1. Boya tabancası.



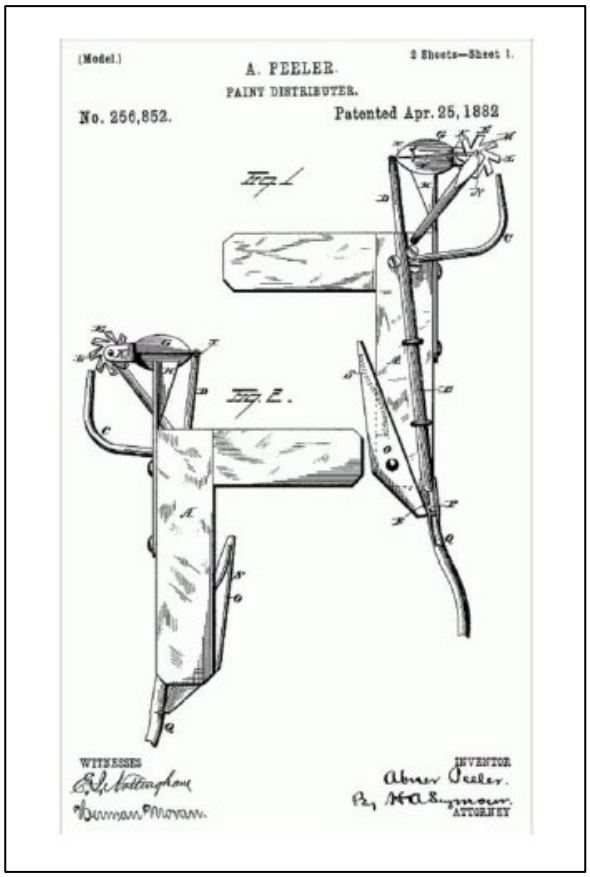
Şekil 2.2. Hava fırçası.

2.1. HAVA FIRÇASI TARİHSEL GELİŞİMİ

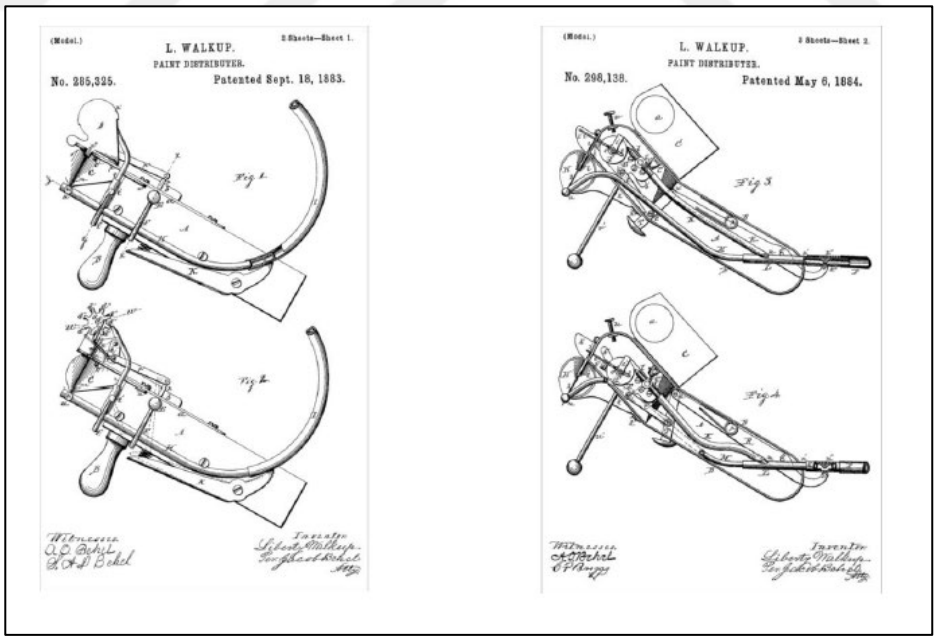
Hava fırçası mekanizmasının genel bir tarihi gelişimine bakacak olursak; Dünya üzerinde ilk patent 1876 yılında Francis Edgar Stanley tarafından alınmıştır. Francis Edgar Stanley ve kardeşi bu aleti Stanley Kuru Plaka Şirketlerinde fotoğraf plakalarını kaplamak ve boyamak için geliştirmişlerdir. Stanley'in amaçlarından bir tanesi de hassas bir şekilde resimlerin üzerine rütuş yapmaktı. Mekanizma bir iğne ve hava yardımı ile boya atımı tekniğine dayanmaktadır [11].

Hava fırçası sanatsal amaçlara yönelik ilk olarak Abner Peeler tarafından tasarlanmıştır. Tasarımı kişisel kullanımına göre uyarlamış ve tek el ile kullanıma olanak sağlayan bu alet, bir hava kompresörü yardımı ile çalışmaktadır [10].

Liberty Walkup görünüm olarak kaba ve işlevselliği yeterli olmayan hava fırçası tasarımını daha pratik hale getirerek piyasaya sürmüştür. Liberty Walkup tasarımına eklediği özelliklerden dolayı da sanatçılar tarafından da kullanımı kolaylaştırmıştır [26].

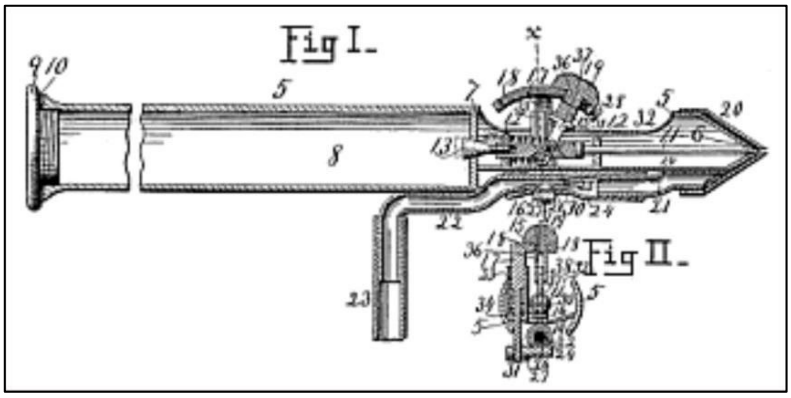


Şekil 2.3. Abner Peeler tarafından geliştirilen hava fırçası mekanizması [26].



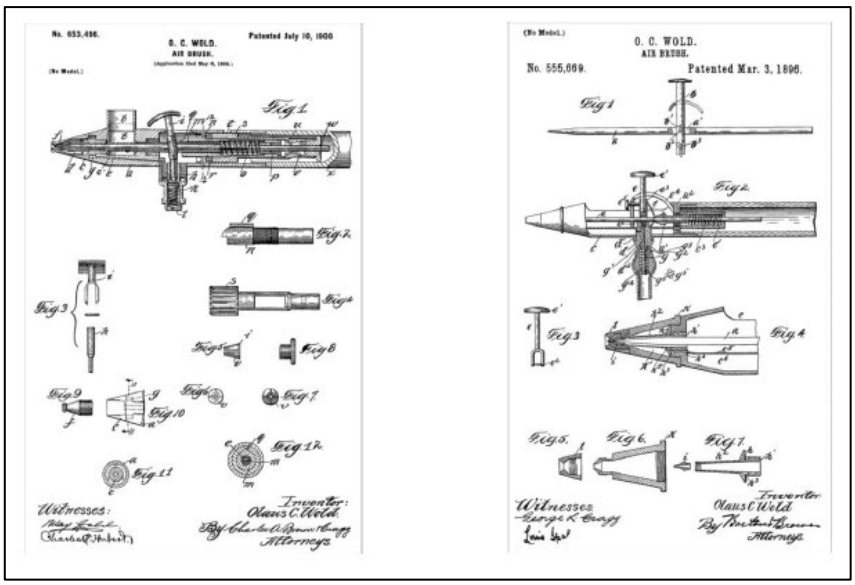
Şekil 2.4. Liberty Walkup tarafından geliştirilen hava fırçası mekanizması [26].

Günümüzde kullanılan hava fırçası Charles Burdick tarafından tasarlanmış ve patenti alınmıştır. 1893 yılında da Londra'ya gidip, saat parçalarından yararlanarak airbrush tasarımının son halini nihai haline getirmiştir.



Şekil 2.5. Charles Burdick tarafından geliştirilen hava fırçası mekanizması [26].

1893 yılından sonra da hava fırçası gelişimi sürekli olarak devam etmiştir. Burdick tasarımı işlevsel olarak iyi bir seviyeye getirmiştir, fakat yine de bazı istenmeyen problemler ortaya çıkmıştır. Boyanın mekanizma içinde kalması ve hava kanallarının tıkanma problemi mevcuttur. Bu sorunlar pratik bir şekilde de halledilememektedir. Bu problemleri gören Olaud Wold değiştirilebilir boya haznesi ve pratik bir şekilde temizlenebilen hava fırçası tasarımı ortaya çıkmıştır [26].



Şekil 2.6. Olaud Wold tarafından geliştirilen hava fırçası mekanizması [10].

Hava fırçası mekanizması zamanla gelişimini tamamlayarak günümüz halini almıştır. Eski bir boyama yöntemi olmasına rağmen 90'lı yılların sonunda popülerliğini arttırmış

ve günümüzde halen kullanılır haldedir. Sanatsal halde kullanımı da 90'lı yılların sonundan günümüze kadar artarak gelmiştir. Fotorealist sanatçıların resim tasarımlarında kullandıkları bir teknik olmuştur.

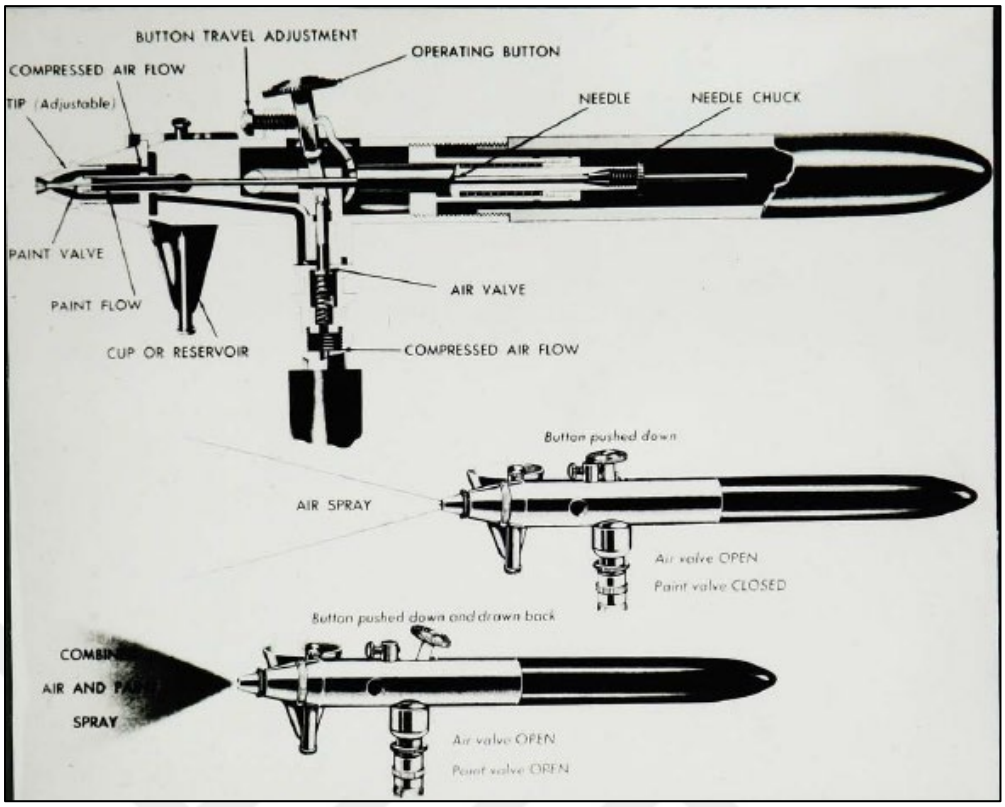
Fotorealist çalışmalarda fotoğraf görüntüsüne yakın bir etki elde etmek bazen haftalar hatta aylar boyunca sürebilmektedir. Bu hususta fırça sürüşlerinde sanatçının pürüzsüz boya sürmesi ve renkler arasındaki geçişlerde kusursuz olması gerekmektedir. Bu bağlamda hava fırçası sanatçıya çalışmalarında çeşitli kolaylıklar sağlamaktadır. Hava fırçası tekniğinde boyanın pistole ve kompresör yardımıyla moleküllerine ayrılması ve böylece yüzeye eşit oranla püskürtülmesi, yüzeyler arasındaki geçişlerde zaman ve uğraş bakımında daha fazla kolaylık sağlamaktadır. Boyalar arasındaki renk geçişleri hava fırçasının boyayı yüzeye eşit oranda püskürtmesinden dolayı sanatçıya fırça ile uzun uğraşlar sonucu sağladığı geçişi ve pürüzsüzlüğü daha hızlı ve kolay bir şekilde sağlayabilmektedir [10].

2.2. HAVA FIRÇASI TEKNİĞİ

Hava fırçası tekniğini anlamak için hava fırçasının çalışma prensibini bilmek gerekir. Teknik olarak hava ile sıvı boyanın herhangi bir yüzeye püskürtülmesi olayıdır. Boyanın küçük partiküller halinde yüzeye atılması hassas ve narin resimlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Her ne kadar hava fırçası ve boya tabancaları çalışma şekilleri olarak birbirlerine benzese de aslında aralarında büyük farklılıklar bulunmaktadır. Sprey boya tabancaları genelde geniş ve düz zeminleri boyamak için üretilmiştir. Boyayı püskürttüğü alanın geniş olması ve tabancanın üzerindeki boya püskürtme tetiğinin hassas olmaması nedeniyle ince ayrıntıları çalışmak neredeyse imkânsızdır [13].

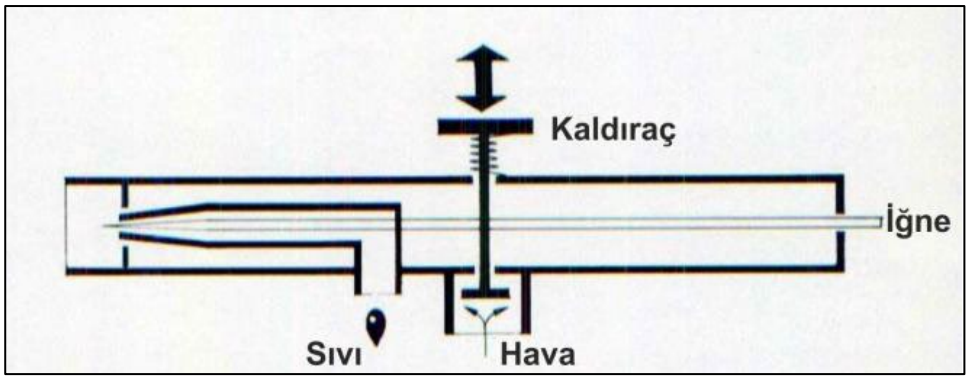
Hava fırçası ise daha ince ve narin çalışmalarda kullanılmak üzere üretilmiştir. Boyayı püskürttüğü alanın daha ince olması, pistole üzerindeki hassas boya tetiği sayesinde boyanın ayarlanabilir bir şekilde püskürtülmesi ve kullanıcıya daha rahat hareket etme imkânı sağlaması hava fırçasının sağladığı kolaylıklar arasında yer almaktadır. Günümüzde boya tabancaları ve hava fırçası pistoleleri çeşitli şekillerde bulunmaktadır [10].



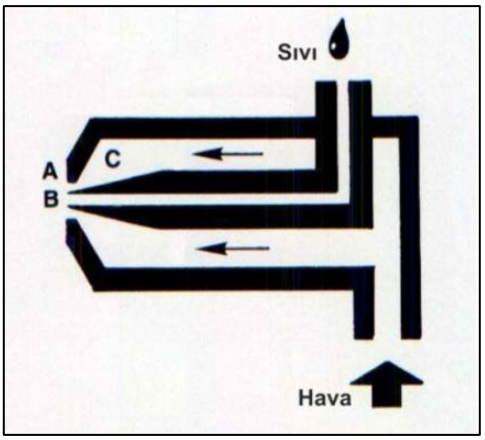
Şekil 2.7. Hava fırçası genel yapısı ve boya atım gösterimi [13].

Hava fırçası pistolesinin çalışma mekanizmasını detaylı bir şekilde incelenecek olunursa, hava ve sıvı boya kanallarının iğne yardımıyla birleştirilip damıtılması ve bu şekilde püskürtme işleminin gerçekleşmesi ile sağlanmaktadır.

Basınca bağlı boya hazneli hava fırçası mekanizmalarında ise sıvı boyanın hava yardımıyla vakumlanarak iğne ucuna alınması ve burada hava ile damıtılarak yüzey üzerine püskürtülmesi ile çalışmaktadır.



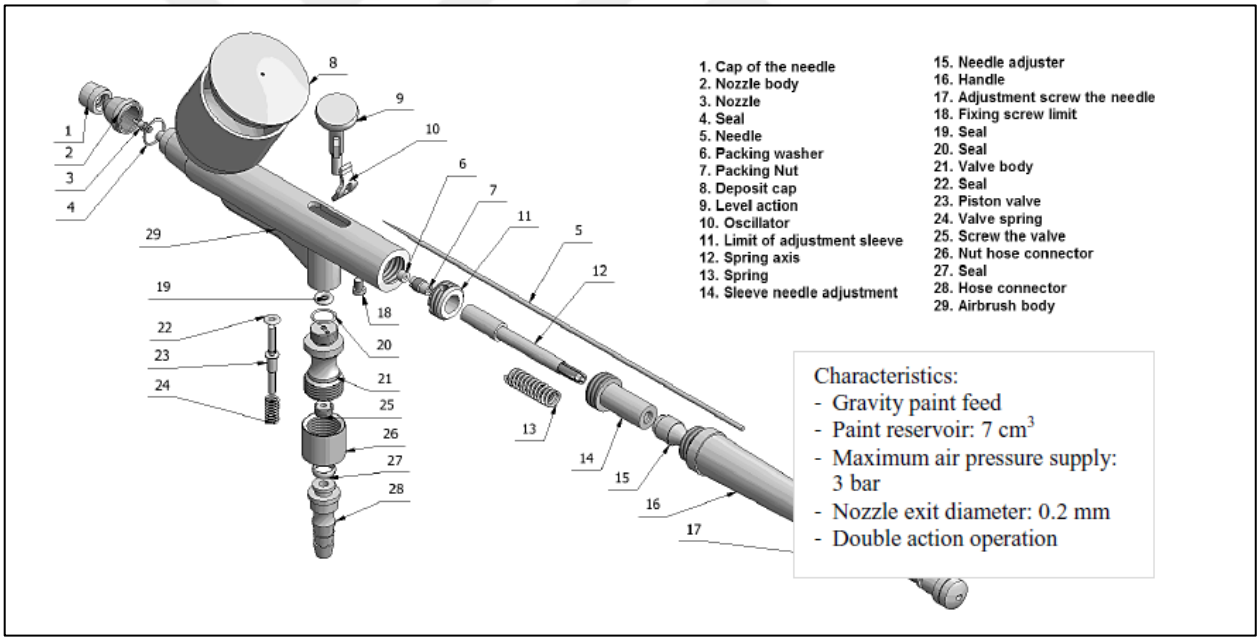
Şekil 2.8. Modern hava fırçası çalışma mekanizması gösterimi [10].



Şekil 2.9. Hava fırçası atımı için iğne içerisinde boya ve hava birleşimi [10].

2.3. HAVA FIRÇASININ MEKANİK YAPISI

Hava fırçası mekanizmasını; pistole ana, gövde ve birbirinden bağımsız birçok parçanın birleşiminden oluşmaktadır. Örnek olarak bir hava fırçası modeli incelenmiştir.



Şekil 2.10. Hava fırçası modeli [27].

Mekanik parçalar zamanla deformasyona veya hasar kaybına uğrayabilir. Parçaların her biri değiştirilebilir ve yedeklenebilir niteliktedir. Bu özellik parçaların kolaylıkla üretici firma tarafından tedarik edilebilir hale getirmiştir.

2.4. HAVA FIRÇASI BOYA ATIM BİÇİMLERİ

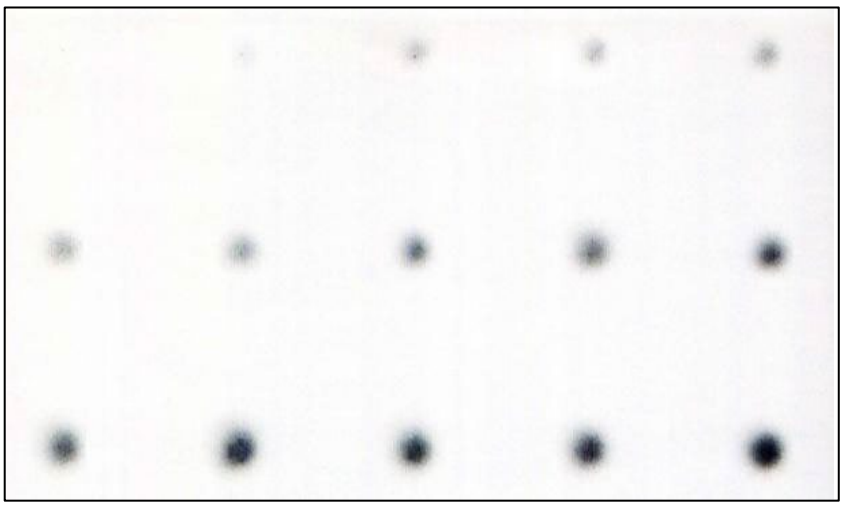
Hava fırçası, klasik boya tabancalarından daha hassas bir boya atımı yapmaktadır. Hassas ve narin işler için kullanımı epeyce fazladır. Hava fırçası boya iğneleri 0,2 mm'den başlayarak 1 mm'ye kadar gitmektedir. Bu rakamlar klasik boya tabancası düşünüldüğünde çok hassas rakamlardır.

Boyanın püskürtülmesi esnasında, hava fırçası mekanizması püskürtülme yüzeyi ile arasındaki konum ve açı çok önemlidir. Bu konum ve açılar istenilen ton ve çizgileri oluşturmada etkilidir. El ve göz koordinasyonu da resim bütünlüğü için önemlidir. Bozulmuş veya kirlenmiş resimlerin en önemli nedenlerinden bir tanesidir. Fakat bu koordinasyon boya atımında ustalaştıkça bir senkron halini alacaktır.

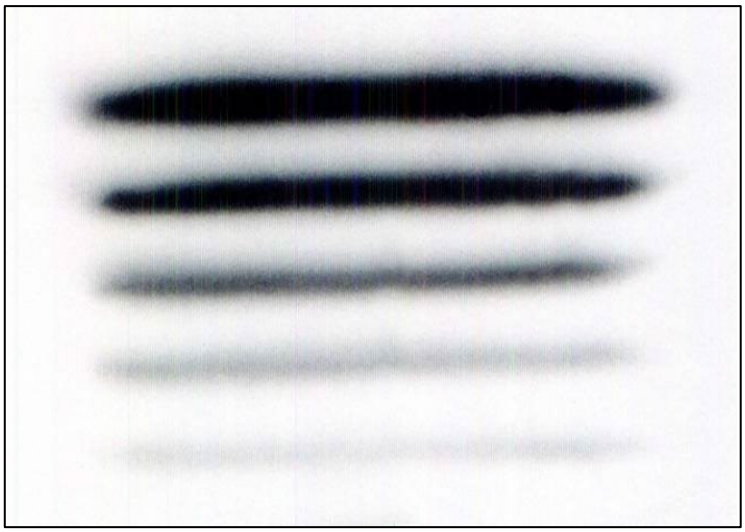
Hava fırçası kullanımında sanatçılar genellikle noktasal ve çizgisel atımlarla resimleri oluşturmaktadırlar. İğne uçlarının hassaslığı bu nokta ve çizgi kalınlıklarını doğrudan etkilemektedir.

Noktasal çalışmalarda; noktalar ile resmin bütünlüğü oluşturulur. Çizilecek resim kavramsal olarak anlamlı noktalara ve renk tonlarına bölünür. Oluşacak resimler nokta atışları ile anlamlı hale getirilir. Bu yöntemde nokta çapları ve tonları resim bütünlüğü için önemlidir. Ton ve çaplar için hava fırçasının, resmin yazdığı yüzeye uzaklığı ve tetikleme mesafesi gibi ayarlarında başarıyla yapılması gerekmektedir.

Çizgisel çalışmalarda, sürekli bir boya akışı sağlamakla birlikte, çizgi tonunu ve kalınlığını ayarlamak için tetikleme mesafesi ayarı gerekmektedir.



Şekil 2.11. Noktasal boya atım örneği [10].



Şekil 2.12. Çizgisel boya atım örneği [10].

2.5. HAVA KAYNAKLARI

Hava fırçası tekniğinde her zaman bir hava kaynağına ihtiyaç vardır. Bu kaynak genel olarak hava fırçası için özel üretilmiş basıncı kendi içerisinde kontrol edilebilen kompresör çeşididir. Kompresör seçiminde en önemli etmenler genellikle fiyat ve çalışma sırasında çıkardığı ses desibelidir. Kompresörlerde bulunması gereken özelliklerden biri de nem kontrolüdür. Havanın akışı ve kuruluğu için önem arz eder. Hava fırçası için 20 psi basıncı da sürekli olarak sisteme aktarması gerekir. Herhangi bir basınç değişimi çıkan ürüne doğrudan olumsuz olarak etki etmektedir.

Aşağıdaki şekilde hava fırçası için kullanılabilecek kompresör çeşitleri avantaj ve dezavantajları ile birlikte tanıtılmıştır.

HAVA KAYNAKLARI ÇEŞİTLERİ

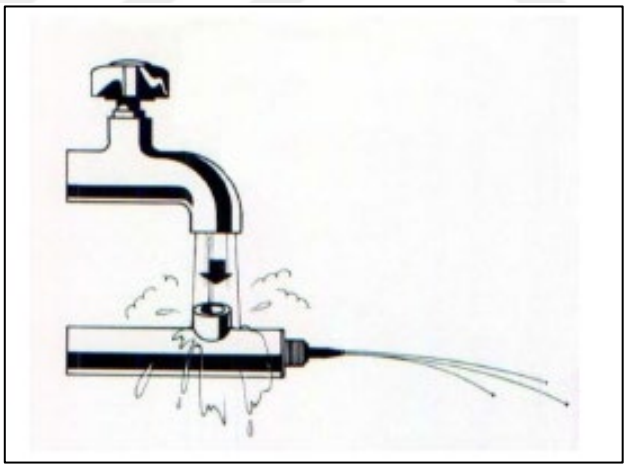
FİYAT	ÇEŞİT	AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI	YORUMLAR
P	TANK	En çok ekonomik olandır. Çeşitli büyüklüklerde bulunmaktadır. Fazla bakım gerektirmemektedir. Yormuyor. Temiz.	Devamlı benzin doldurmak gerekmektedir. Ağırdır bu yüzden taşınabilir değildir. Beklenmedik bir anda kesilebileceği yüzünden iki tane gereklidir.	ÖNERİLMEKTEDİR.
P	MİNİ KOMPRESÖR	Küçük, hafif, taşınabilir.	Gürültülüdür. İhtiyaç olan havayı bazen sağlayamamakradır.	ÖNERİLMEMEKTEDİR.
1.5P	POMPA KOMPRESÖR	Benzine ihtiyacı yoktur. Taşınabilir.	Biraz gürültülüdür.	ÖNERİLMEKTEDİR.
2P	PİSTON KOMPRESÖR	Benzine ihtiyacı yok. Güçlü ve dayanıklı. İhtiyaç olan havayı sağlayabilmektedir.	Hafif gürültülüdür.	ÖNERİLMEKTEDİR.
2.5P	TANK KOMPRESÖR	Airbrushtan başka şeyler için de kullanılabilir. Boya tabancası için de kullanılmaktadır. Basınç otomatik ayarlanır.	Benzine ve bakıma ihtiyacı vardır. Genelde büyük ve gürültülüdür.	DİKKATLE ÖNERİLMEKTEDİR.
5P	SESSİZ TANK KOMPRESÖR	Özellikle Airbrush kullanımı için üretilmiştir. Mükemmel derecede ayarlanabilmektedir. Basınç otomatik ayarlanmaktadır.	Benzine ve bakıma ihtiyacı bulunmaktadır.	KESİNLİKLE ÖNERİLMEKTEDİR.

Şekil 2.13. Hava kaynakları çeşitleri [10].

2.6. TEMİZLEME VE BAKIM

Hava fırçası kullanımındaki en önemli hususlardan biri de pistolenin kullanıldıktan sonra iyi bir şekilde temizlenmesidir. Temizleme ve bakım işlemi yapılmayan bir pistole zamanla içindeki boyanın kurumasıyla tıkanır ve hatta bir daha kullanılamaz duruma bile gelebilir. Pistole içinde kalan boyanın tam olarak temizlenmesi için, mekanizmaya bağlı belli kısımlarının çıkarılıp sıcak su ile temizlenmesi ve tekrar kurulanarak parçaların birleştirilmesi önerilmektedir. Parçaların yeteri kadar iyi temizlenmemesi mekanizmada bazı aksaklıklara neden olabilmektedir.

Pistole temizleme işleminde, pistole içindeki boya boşaltılır ya da bitene kadar bir yüzey üzerine püskürtülür. Daha sonra boya haznesinin içine su koyularak pistole yeniden çalıştırılır ve su boş bir alana püskürtülür. Bu sayede pistolenin içinde az da olsa kalan saf boya dışarı atılmış olur. Bu işlem tamamlandıktan sonra pistolenin; hortum ve hortum bağlantı somunu, boya kabı kapağı, standart tutacak ayarı, iğne titreşim kılavuzu, iğne, iğne kabı ve meme kabı gibi belli başlı ana parçaları çıkarılarak sadece ana gövde ve sökülmeyen mekanizmalar kalacak şekilde sökülür. Ana gövdenin içi tazyikli sıcak su tutularak içerisindeki tüm boyayı dışarı atacak şekilde temizlenir.



Şekil 2.14. Pistolenin basınçlı su ile yıkanması [10].

Pistole içerisindeki boya mekanizmanın tüm parçalarına bulaşmadığı için her bir parçanın sökülüp yeniden temizlenmesine gerek yoktur. Temizleme işlemi için pistolenin belli başlı parçaları çıkarılarak sıcak su ile temizlenmesi yeterlidir.

3. CNC HAVA FIRÇASI TASARIMI

3.1. CNC TEZGÂHLARIN TARİHSEL GELİŞİMİ

Nümerik kontrol (NC) fikri II. Dünya savaşının sonlarında A. B. D. hava kuvvetleri için üretilecek olan karmaşık ve zor parçaların, üretimini kolaylaştırmak için ortaya çıkmıştır. Bu tip parçaların mevcut mekanik imalat tezgâhları ile üretilmesi mümkün olmamaktadır. Bunun gerçekleştirilmesi için Parsons Corparation ve MIT (Massachusetts Instute of Technology) ortak çalışmalara başlamıştır. 1952 yılında ilk olarak Cincinati firması freze tezgâhını nümerik kontrol ile teçhiz ederek bu alandaki ilk başarılı çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. Bu tarihten sonra takım tezgâhı imalatçıları nümerik kontrollü tezgâhların imalatına yatırım yapmışlardır. İlk önceleri NC takım tezgâhlarında vakumlu tüpler, elektrik röleleri, karışık kontrol ara yüzleri kullanılmıştır. Ancak bunların sık sık tamirleri hatta yenilenmeleri gerekmektedir. Birkaç yılın ardından NC takım tezgâhlarına daha kullanışlı olan minyatür elektronik tüp ve yekpare devreler eklenmiştir. Bilgisayar teknolojisinde ki hızlı gelişmeler Nümerik Kontrollü sistemleri de etkilemiştir. Artık günümüzde NC tezgâhlarda daha ileri düzeyde geliştirilmiş olan bütünleşmiş devre elemanları, ucuz ve güvenilir olan donanımlar kullanılmıştır [27].

CNC tezgâhlarının mantığı sayı, harf vb. sembollerden meydana gelen ve belirli özel bir mantığa göre kodlanmış komutlar yardımıyla çalıştırılması ve tezgâh kontrol ünitesinin ile parça programlarının elde edilebilmesiyle çalışmaktadır.

Bilgisayarlı nümerik kontrol de kontrol ünitesinin bilgisayarlaşmasından sonra da programların istenildiği anda durdurulduğu, programlara eklemelerin yapılabildiği ve manuel programlamaların eklenebildiği yapıya geçilmiştir. Bu yapı operatör işlemlerini hızlandırarak, problem esnasında da manuel hareket etme yetkilerini vermiştir [9].

3.1.1. CNC Tezgâhların Avantajları

- Klasik tezgâhlarda kullanılan bazı bağlama kalıp, mastar vb. elemanlarla kıyaslandığı zaman tezgâhın ayarlama zamanı çok kısadır.
- İnsan faktörünün arka planda olup, teknolojik faktör ön plandadır.
- Kalifiye insan ihtiyacına minimum düzeyde gerek vardır.
- Tezgâh operasyonları yüksek bir hassasiyete ve işletime sahiptir.
- Tezgâhın çalışma temposu her zaman yüksek ve aynıdır.
- Her türlü maliyet (elektrik, zaman, malzeme vb.) asgari seviyeye indirilmiştir.
- Üretim aşamasında operatörden kaynaklanacak kişisel hatalar ortadan kalkmıştır.
- Parça imalatında operasyon geçişleri daha hızlıdır.
- Programlar üzerinde yapılacak değişiklikler sadece programın ilgili bölümünde ve tamamı değişmeden hızlı bir biçimde yapılır. Bu nedenle CNC tezgahlarıyla yapılan imalat çalışmaları büyük bir esnekliğe sahiptir [28].

3.1.2. CNC Tezgâhların Dezavantajları

- Detaylı üretim planlama gereklidir.
- Pahalı ve yatırım maliyeti yüksektir.
- Klasik tezgâhlara göre saatlik ücreti pahalıdır.
- Klasik tezgahlarla kıyaslandığında daha hassas ve narin kullanılmalıdır.
- Kesme hızları yüksek ve kaliteli kesici takımlar kullanılmalıdır.
- Periyodik bakımları uzman kişiler tarafından düzenli olarak yapılmalı ve aksatılmamalıdır [28].

3.2. CNC HAVA FIRÇASI MEKANİK TASARIMI VE İMALATI

CNC hava fırçası; kartezyen bir sisteme hava fırçasının monte edilmesi fikri ile ortay çıkmıştır. Bu fikir ışığı altında mekanik, elektronik ve yazılım tasarımları geliştirilmiştir. Kartezyen sistemin ve hava fırçasının özellikleri bir bütün hale getirilerek, daha hassas ve narin resimlerin oluşturulması fikri ön plandadır.

Tezgâhın tasarımı; boyutsal tasarım yapılması, konstrüksiyon malzemesinin seçilmesi,

standart elemanların belirlenmesi, hesaplamalar ve standart malzemelerin boyutlarının seçilmesi, ön tasarım ve standart elemanlara göre Solidworks programında tasarlanmıştır.

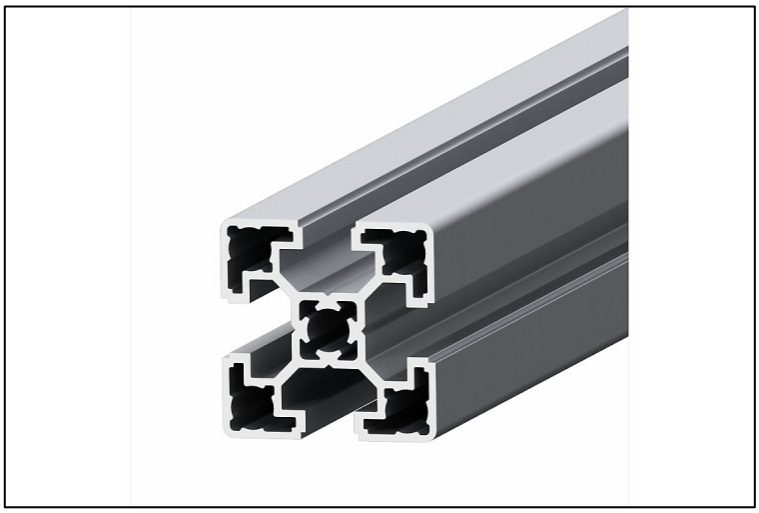
3.2.1. Taşıyıcı Gövde Tasarımı

Bir CNC mekanik tasarımında; yüksek mukavemet, rijitlik, hafiflik ve dinamik kararlılık istenen özelliklerdendir. Makine şaselerinde, CNC konstrüksiyonların taşıyıcı profili ve mekanik ürünler ile yataklama eksenleri şasesi olarak kullanılabilen 45x45 sigma profil, gövdenin yapısını oluşturan eleman olarak kullanılmıştır.

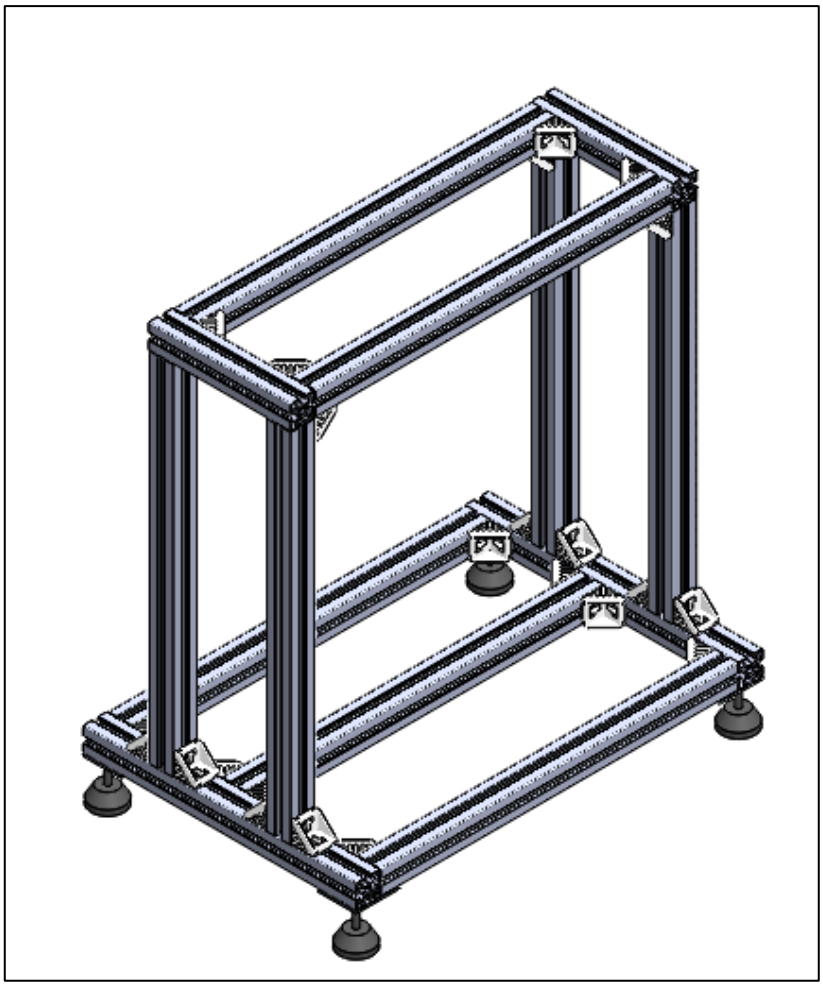
Alüminyum sigma profil kullanılmasının sebebi; hafif, düzgün bir geometriye sahip, kolay montajlanabilir ve kolay işlenebilirliğidir. Hareketli parçaların hafifliği, yüksek hızlarda düşük eylemsizlik momenti oluşturur ve ivmelenmeler sırasında titreşime yol açılmasını engeller. Fakat ana gövdenin ağırlığının düşük olması sarsıntılara sebep olacaktır.

Çizelge 3.1. 45x45 sigma profil mekanik özellikleri.

Ebat	Malzeme	Ix	Iy	Wx	Wy	Alan	Kütle
45x45	6063	14,99cm^4	14,99cm^4	6,9cm^2	6,9cm^2	7,63cm^2	2Kg/m

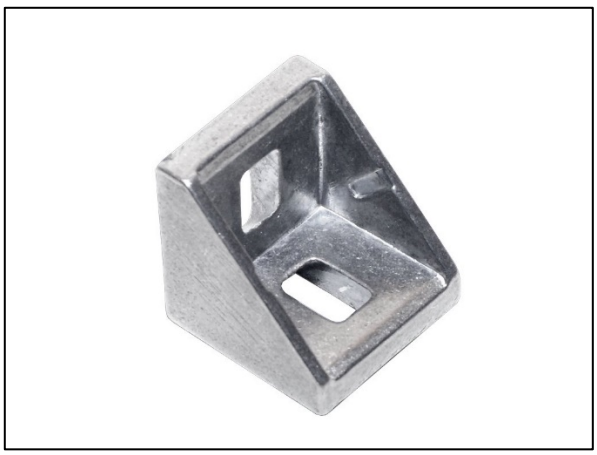


Şekil 3.1. 45x45 sigma profil kesit görünüş.



Şekil 3.2. Taşıyıcı gövde.

Şaselerin dayanıklılığı arttırmak için ve köşe bağlantılara takılan 45x45 geniş köşe bağlantı parçaları kullanılmıştır.



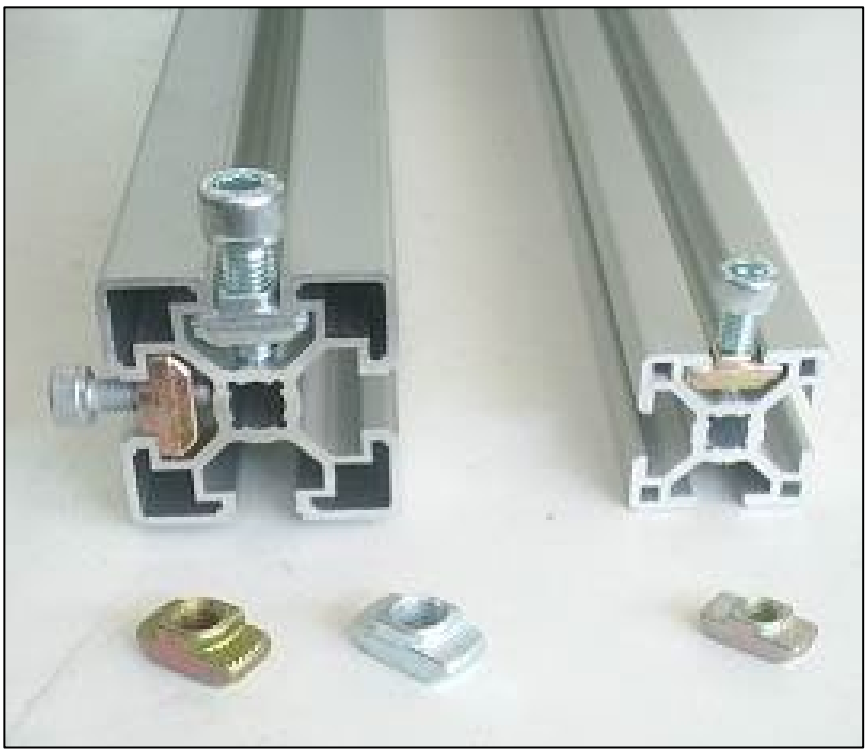
Şekil 3.3. 45x45 köşe bağlantı parçası.

Sigma profil bağlantılarını kayma ve gevşeme olmadan çalışabilmesi için montaj aşamasında profil bağlantıları tırtıllı somunlar ile yapılmıştır. Montaj aşamasında; profile

istenilen yerden bağlanıp, istenildiği zaman da bağlanıldığı yerden kolayca çıkartılabilen M8 tırtıllı somun kullanılmıştır.



Şekil 3.4. M8 tırtılı somun.



Şekil 3.5. M8 tırtıllı somun uygulama örneği [9].

3.2.2. X Ekseni Tasarımı

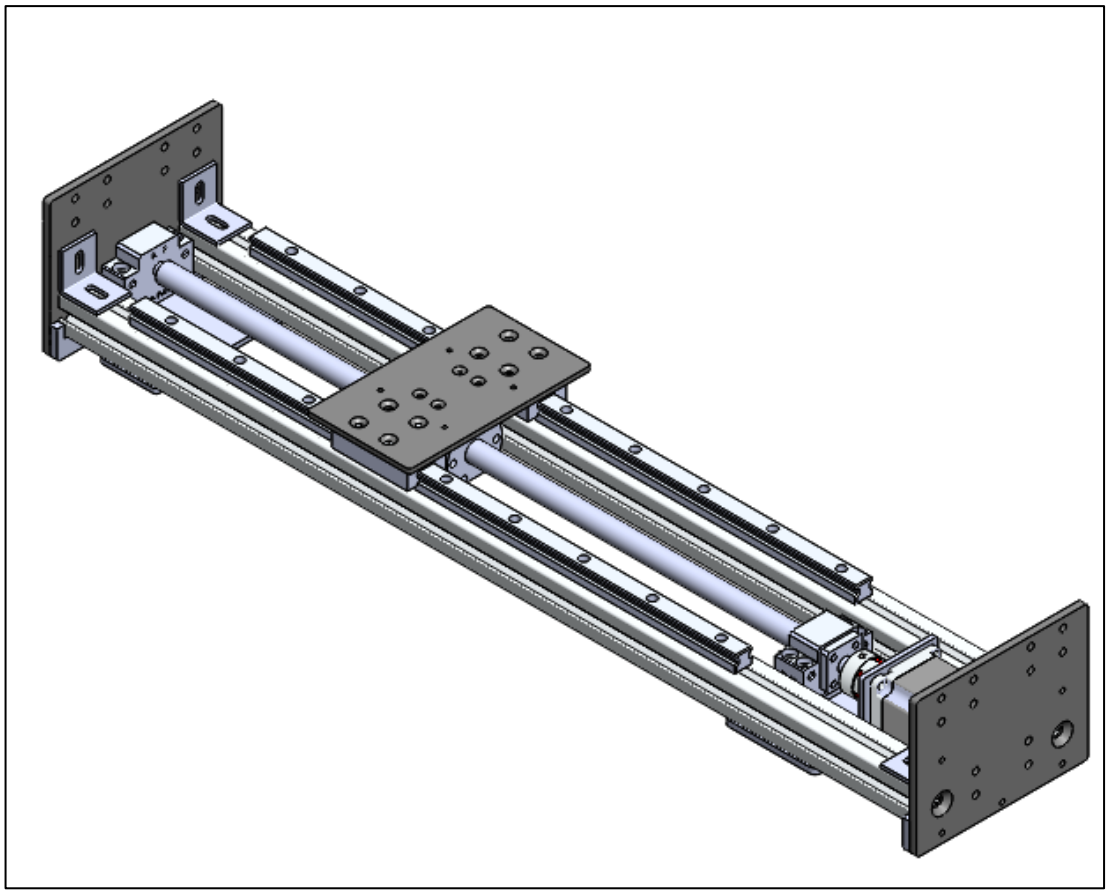
X ekseni; hava fırçasını + X ve – X ekseni yönlerinde taşıyacak mekanik kısımdır. 30x30 sigma profillerin şase olarak kullanılmasıyla, hassas yataklamalar ve harekeler gerçekleştirecektir.

Çizelge 3.2. 30x30 sigma profil mekanik özellikleri.

Ebat	Malzeme	Ix	Iy	Wx	Wy	Alan	Kütle
30x30	6063	2,95cm^4	2,95cm^4	1,97cm^2	1,97cm^2	3,16cm^2	0,85Kg/m



Şekil 3.6. 30x30 sigma profil kesit görünüş.

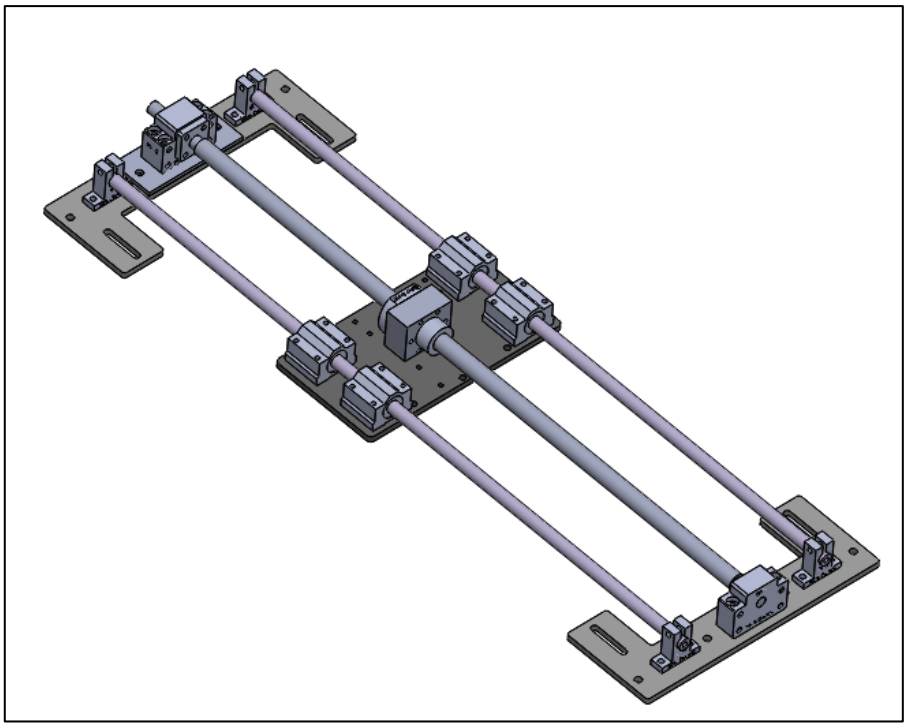


Şekil 3.7. X ekseni tasarımı.

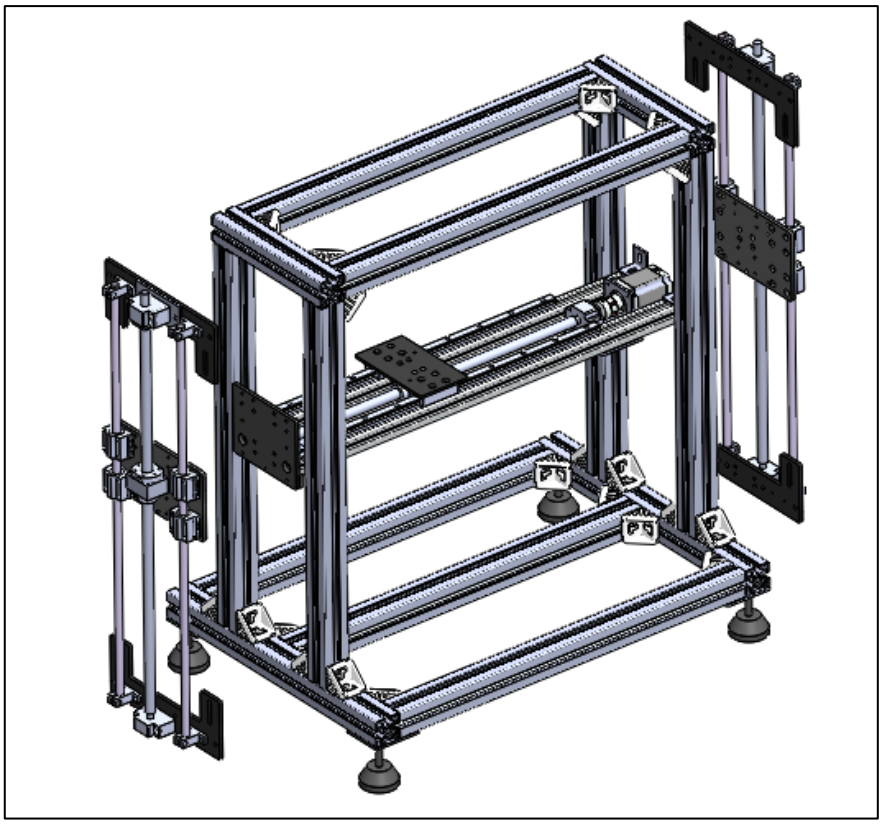
3.2.3. Y Ekseni Tasarımı

Y ekseni; hava fırçasını + Y ve – Y ekseni yönlerinde taşıyacak mekanik kısımdır. Y ekseni aynı zamanda X ekseni ile cıvatalı bağlantı sistemi ile montaj yapılmıştır. Sistemin en fazla yük taşıyan kısmıdır. Y ekseni sağ ve sol olmak üzere 2 adettir ve bu eksenler birbiri ile X ekseni tarafından birleştirilir. Step motorların tahrik ettirdiği bu eksenler eş zamanlı hareket etmektedir. Sistem üzerinde titreşim olmaması adına dengeli hareket önemlidir. Bu iki eksen sistemdeki denge için hayati öneme sahiptir.

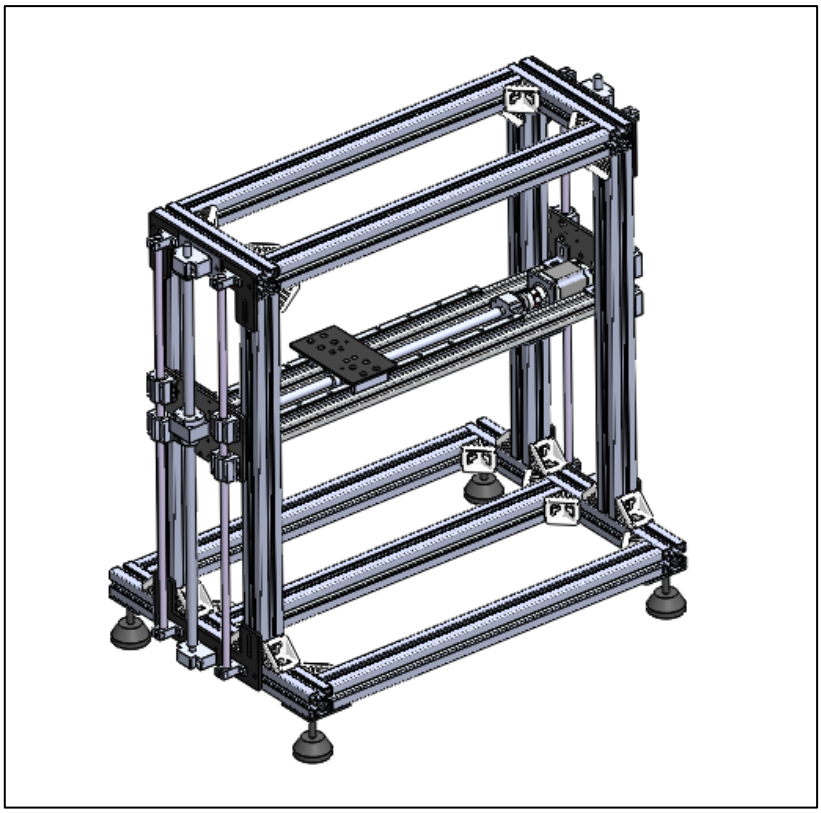
Y ekseni özel tasarlanmış alüminyum saclar ile taşıyıcı gövdelere bağlanır. M6 civatalar ile gövdeye bağlanan bu eksenler, Ø12 indiksiyonlu miller ile merkezlenmiştir. Ağır olan bu eksenin yükü tamamen taşıyıcı gövde üzerindedir.



Şekil 3.8. Y ekseni tasarımı.



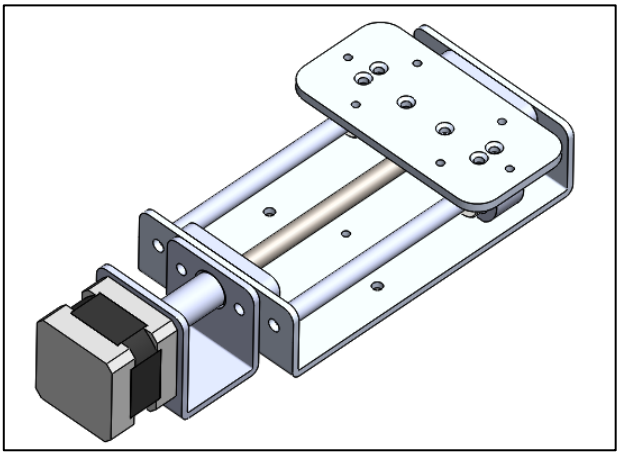
Şekil 3.9. X, Y eksenleri ve taşıyıcı gövdesi montajı.



Şekil 3.10. X, Y eksenleri ve taşıyıcı gövdesi tasarımı.

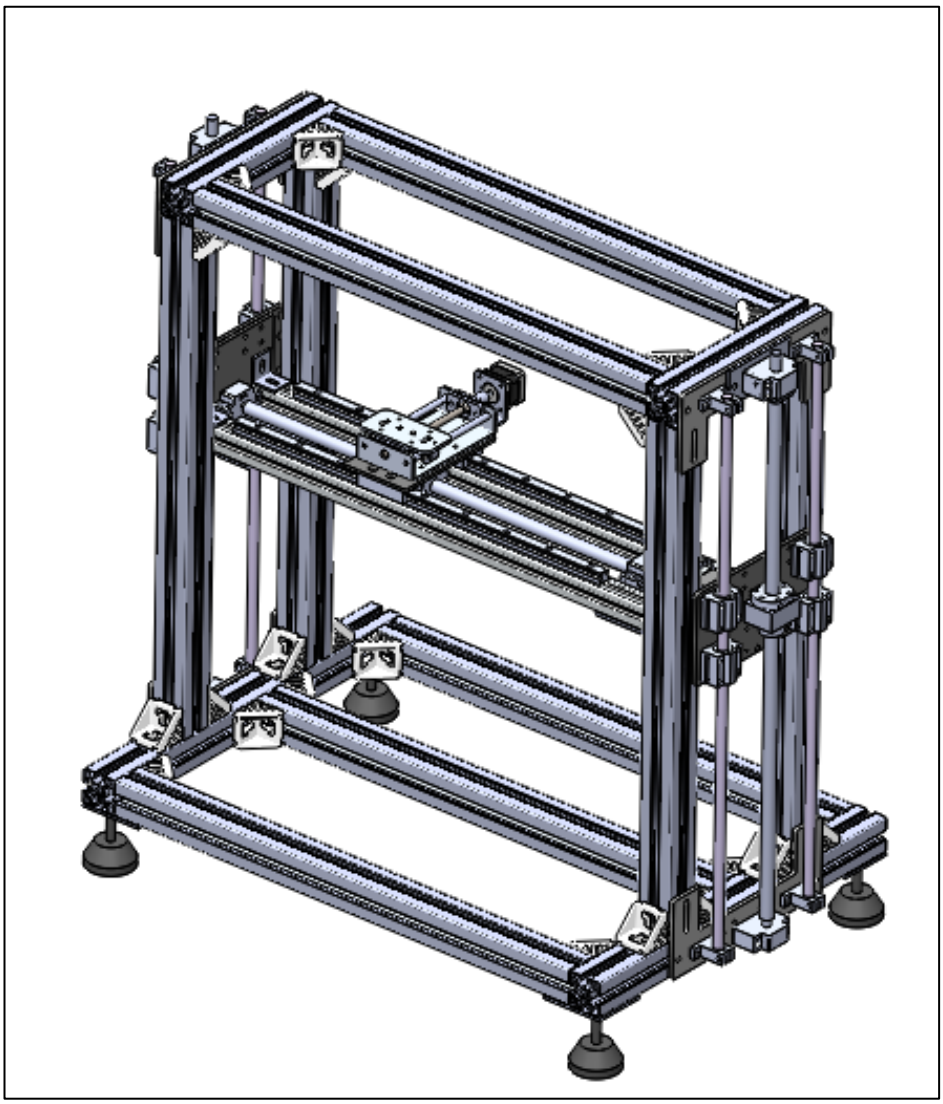
3.2.4. Z Ekseni Tasarımı

Z ekseni; hava fırçasını tablaya + Z ve – Z yönünde yaklaştıran ve tabla arası mesafeyi ayarlayan eksendir. X ekseni üzerinde olmakla birlikte sisteme civatalı bağlantı ile bağlıdır. İlerleme hareketlerini, üzerine bağlı olan step motordan almaktadır. Özel tasarlanmış alüminyum saclar ile oluşturulmuştur. Z ekseninin hafif olması sistem üzerine gelen yükleri minimuma indirmektedir. Eksen hareketi Ø8 mm indiksiyonlu miller ile merkezlenmiştir.



Şekil 3.11. Z ekseni tasarımı.

Z ekseni üzerine tetikleme ekseni montaj yapılmaktadır. Tetikleme ekseni montajı cıvatalı bağlantı ile yapılmaktadır.

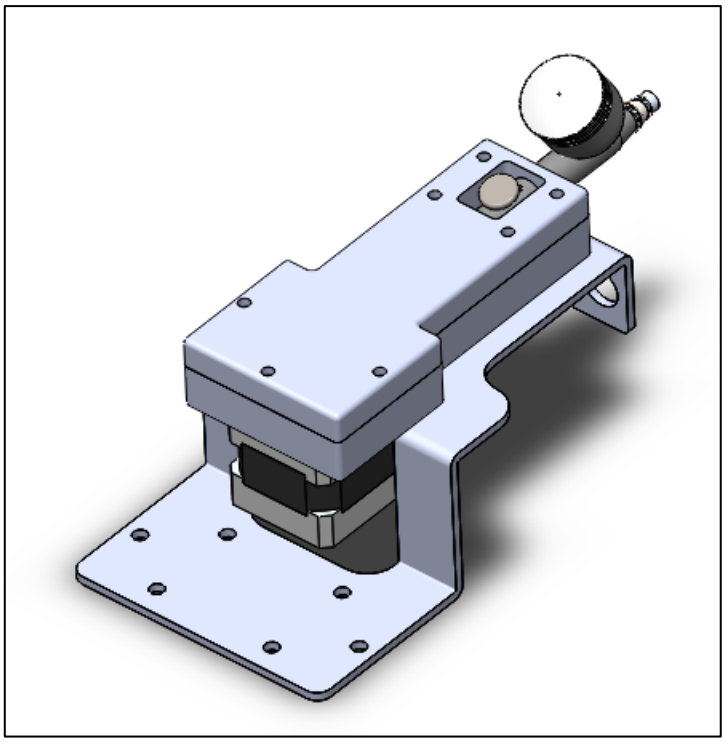


Şekil 3.12. X, Y, Z eksenleri ve taşıyıcı gövdesi tasarımı montajı.

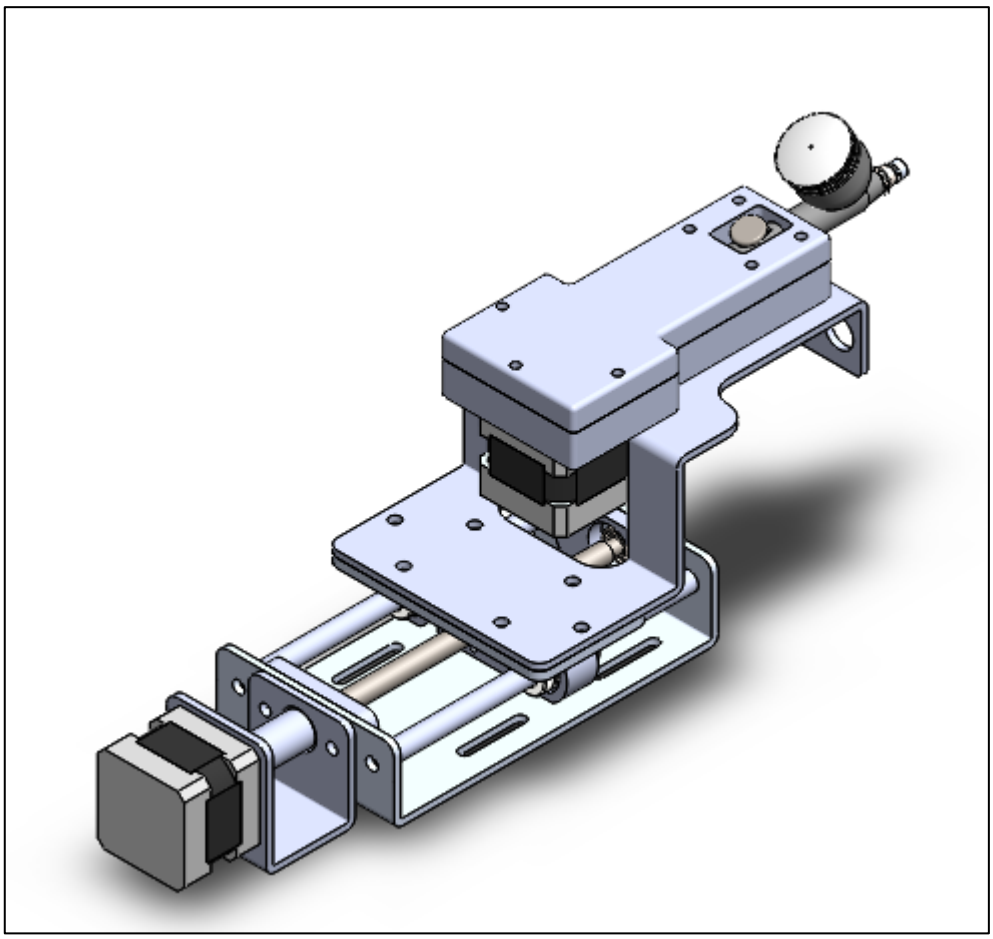
3.2.5. Tetikleme Ekseni Tasarımı

Tetikleme ekseni; sistem üzerindeki en hassas eksendir. Ürün kalitesini belirleyen eksen olup, rijit olması gerekmektedir. Tetikleme ekseni hava fırçasını tahrik etmektedir. Hava fırçası mekanik yapısına ve kapasitesine uygun olarak tasarlanmıştır.

Tetikleme step motor tarafından sisteme aktarılmakla birlikte bu aktarımı kayış ile yapılmaktadır.



Şekil 3.13. Tetikleme ekseni tasarımı.



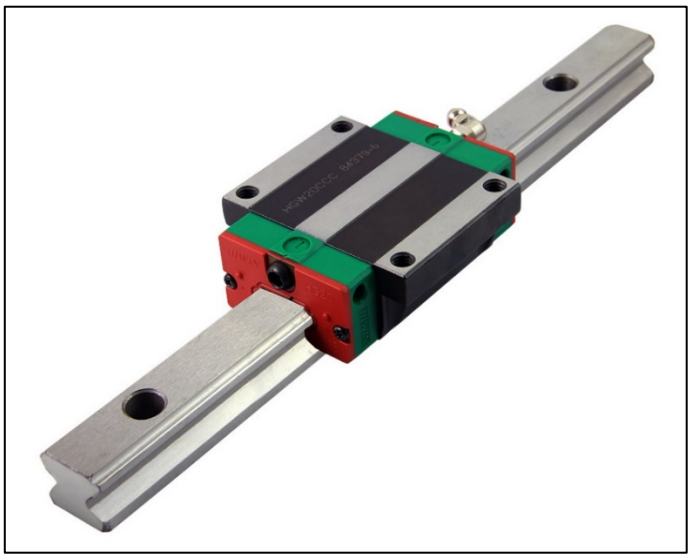
Şekil 3.14. Z ekseni ve tetikleme ekseni montaj tasarımı.

3.2.6. Eksen Yataklama Sistemi Tasarımı

X ekseni için 550 mm boyunda, 15 mm genişliğinde 2 adet kare lineer kızak ve bunlara uygun 2 adet minyatür tip arabalar kullanılarak yataklama sağlanmıştır.

Y ekseni için 750 mm boyunda Ø12 mm çapında 2 adet indiksiyonlu mil ve bunlara uygun 4 adet lineer rulman kullanılarak yataklama sağlanmıştır. Y ekseni sistem üzerinde iki adet kullanılmıştır.

Z ekseni için 150 mm boyunda Ø8 mm çapında 2 adet indiksiyonlu mil ve bunlara uygun bilyalı yatak kullanılarak yataklama sağlanmıştır.



Şekil 3.15. X ekseninde kullanılan 15 mm lineer kızak ve 15mm minyatür araba.



Şekil 3.16. Y ve Z eksenlerinde kullanılan indiksiyonlu mil.



Şekil 3.17. Y ekseninde kullanılan lineer rulman.

3.2.7. Eksen Tahrik Sistemi Tasarımı

Eksenlerin tahrikleri step motorlardan gelen kuvvetlerle sağlanmaktadır. Motor kuvvetleri vidalı miller ile eksen hareketleri haline dönüştürülmektedir. Vidalı miller üzerindeki, bilyalı somunlar hareketin kayıpsız bir şekilde iletilmesini sağlamaktadır. Vidalı millerin malzemeleri aşınmaya karşı dirençli şekilde tasarlanmıştır. Bilyalı somunların yapısında kullanılan bilyalar ise sürtünmenin minimum olmasını sağlamaktadır.

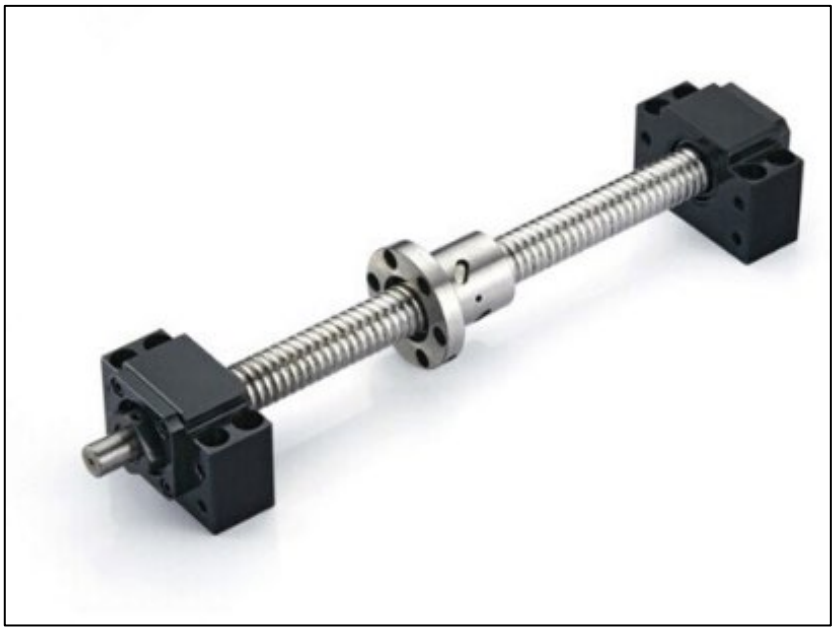


Şekil 3.18. Vidalı mil ve bilyalı somun.

Vidalı millerin uç kısımları tornalanarak hassas yataklar ile sabitlenmektedir. Yatakların içerindeki rulmanlar sistemin hassas ve kayıpsız çalışmasında önem arz etmektedir. Vidalı mil uç yatakları, eksen hareketleriyle elde edilen yükün gövdeye aktarımını sağlar ve bu yük aktarımı vidalı millerin motor tarafına montajıyla sağlanmıştır.



Şekil 3.19. Vidalı mil ucu yatağı.



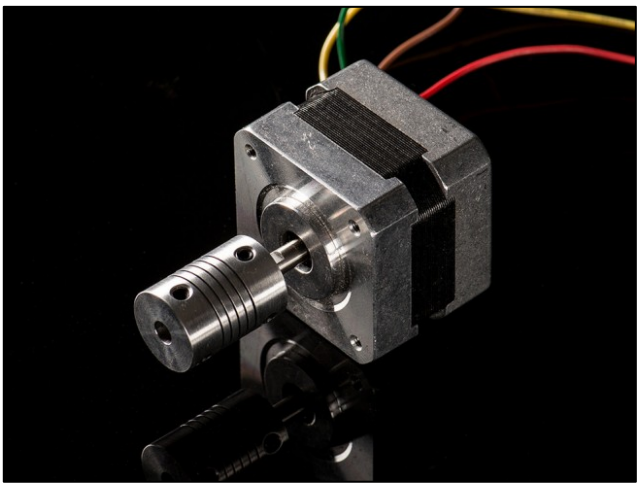
Şekil 3.20. Vidalı mil, bilyalı somun ve vidalı mil ucu yatağı montaj örneği.

3.2.8. Step Motor Tahrik Sistemi Tasarımı

Sistem içerisine mekanik kuvvetin kaynağı motorlardır. Tasarım için step motorlar kullanılmıştır. Step motorun kuvveti vidalı mil üzerine kaplin ile aktarılmaktadır. Kaplinlerin hassas olması kuvvet kaybını azaltacaktır. Step motorlar taşıyıcı gövde üzerine özel tasarlanmış alüminyum saclar ile montaj yapılmıştır.



Şekil 3.21. Kaplin.

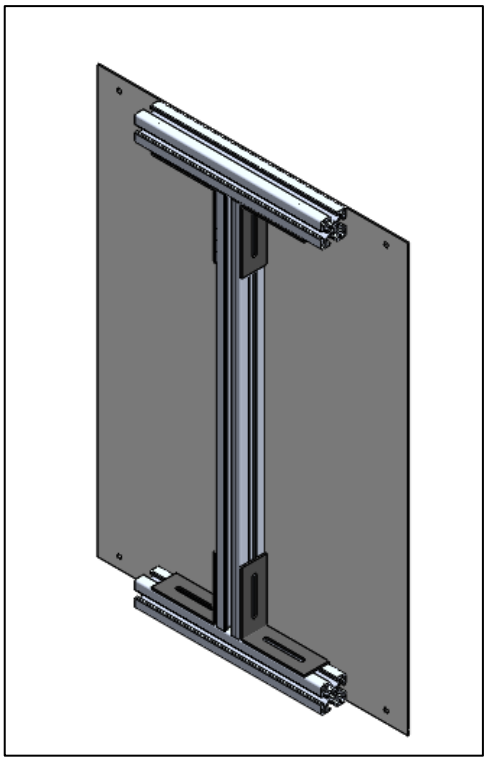


Şekil 3.22. Kaplin montajlı step motor.

3.2.9. Tabla Tasarımı

Tabla; hava fırçası ile oluşturulacak resim kâğıdının yapıştırılacağı kısımdır. Tabla 30x30 sigma profil, bağlantı sacları ve mdf parçalarından oluşmaktadır. Bu parçalar cıvatalı bağlantı ile montajlanmıştır. Tabla taşıyıcı gövde üzerine cıvatalı bağlantı ile monte edilir.

Tabla ile hava fırçası arasındaki açı önem arz etmektedir. Bu açı 90° olmalıdır. Bu kısımda yaşanacak herhangi bir ölçü kaçıklığı, resim kalitesini doğrudan etkilemektedir.



Şekil 3.23. Tabla tasarımı.

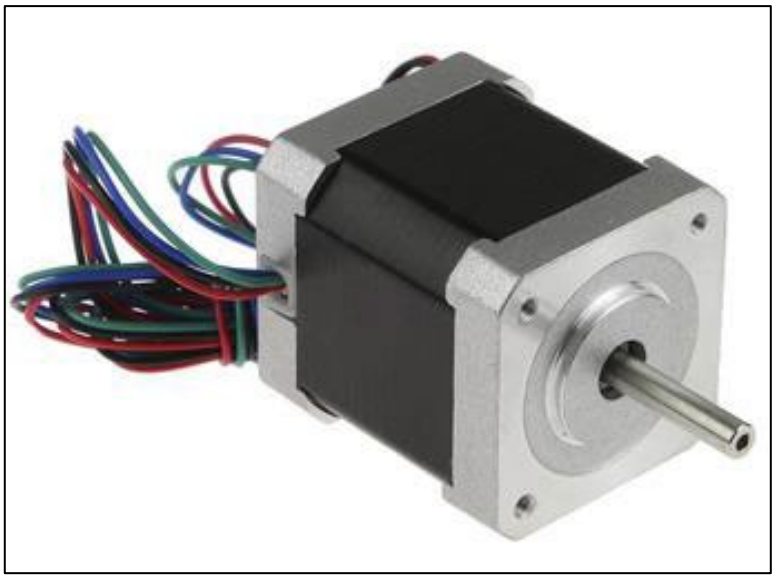
3.3. MOTOR TİPİNİN BELİRLENMESİ

CNC tezgâhlarla servo ve step motorlar çok sıklıkla kullanılmaktadır. Öncelikle servo ve step motorların genel tanımlarını yaparak, yapılacak olan tezgâhın amacına uygun motor tipi seçilecektir.

3.3.1. Step (Adım) Motorlar

Step motorlar (adım motorlar), girişlerine uygulanan darbe dizilerine karşılık, analog dönme hareketi yapabilen elektromanyetik elemanlardır. Adım motorlar, bilgisayarlar, mikroişlemciler programlanabilir kontrolörler tarafından doğrudan kontrol edilebilir [8].

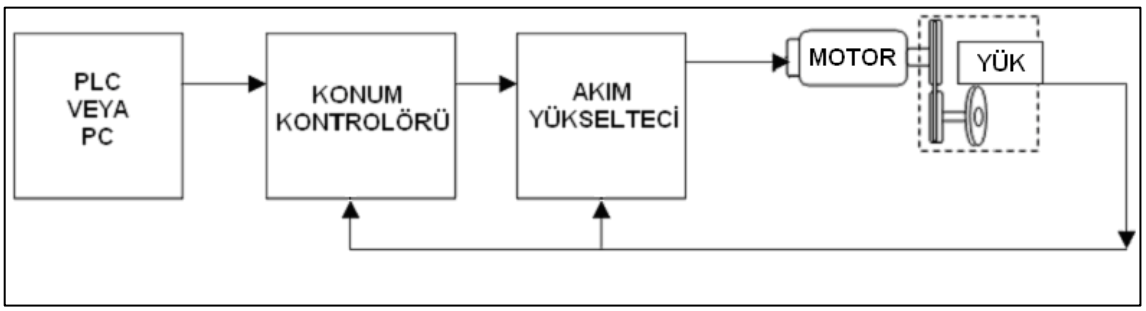
Adım motorların diğer motorlardan farklı özelliği, çıkış milinin seri açısal aralıklarla veya adımlarla dönmesidir, her komut darbesinde, adım motor, bir adım döner. Belirli sayıda darbe sağlanmış olduğunda, mil, istenilen açı kadar dönmüş olacaktır ve bu, motorun ideal olarak açık döngü konum kontrolü için uygun olmasını sağlar [29].



Şekil 3.24. Step motor.

3.3.2. Servo Motorlar

Aslında servo, bir sistemdir. Bir enerjinin harekete dönüştürülmesini sağlayan cihaz, motor olarak adlandırılır. Servo sistemlerde günümüzde en çok kullanılan DC ve AC motorlar bulunur.



Şekil 3.25. Servo motor sistemi [30].

Şekil 3.25'deki diyagramda PLC veya PC vasıtasıyla yük konum kontrolörüne gönderilmektedir. Konum kontrolöründen alınan düşük düzeyli sinyaller, akım yükselteciyle yardımıyla motora gönderilir. Motor, aldığı sinyalle yükü harekete geçirir. Konumu belirlenen yük, bir geri besleme elemanıyla konum kontrolörüne iletilir [30].



Şekil 3.26. Servo motor.

Konum kontrolörü aldığı geri besleme bilgisine ve yükün pozisyon bilgisine göre sinyal göndererek, en kısa sürede ve en yakın şekilde yükü istenilen pozisyona getirir [9].

3.3.3. Servo ve Step Motor Farkları

- Step motorlarda hız arttıkça tok düşerken; servo motorlarda böyle bir durum yoktur.
- Step motorlar kararlı yapıdadır. Servo motorlar ise duracağı durumlarda fren mekanizmasına ihtiyaç duyarlar.
- Step motorlarda enkoder sistemine gerek duymaz. Servo motorlar ise genelde kapalı çevrimlerde çalışır.
- Step motorlar servo motorlarda göre daha ucuzdur.
- Servo motorlar, step motorlara göre daha fazla hızın istendiği durumlarda kullanılırlar.
- Step motorlar daha basit yapıya sahiptir. Arıza yapma problemleri servo motorlara nazaran daha azdır [30].

3.3.4. Tasarlanan CNC Sistemde Kullanılan Motor Tipi Özellikleri

CNC hava fırçası tasarımında step motorlar kullanılmıştır. Proje maliyeti açısından step motorlar uygun görülmüş olup, çalışma problemlerinin yaşanmayacağı ön görülmüştür. Çalışma hızı, çalışma kalitesi yanında daha az önem sarf etmesi step motorların kullanımı için ön ayak olan etmenlerden biridir.

Step motorlar taşıyıcı gövde üzerine özel tasarlanmış alüminyum saclar yardımı ile montajlanmaktadır. Ayrıca saclar üzerinde yükseklik ayarları için bağlantı kanalları mevcuttur. Bu kanallar motorun istenilen konumda bağlanması için önemlidir. Eksenlerde kullanılan step motor özellikleri Çizelge 3.3'te belirtilmiştir.

Çizelge 3.3. Eksenlerde kullanılan step motor özellikleri.

Teknik	X Ekseni	Y Ekseni	Z Ekseni	Tetikleme Ekseni
Step Açısı	1,8	1,8	1,8	1,8
Nema	23	23	17	17
Amper	4,0 Amper	4,0 Amper	1,3 Amper	1,3 Amper
Tutma Torku	1,4 N.m	1,4 N.m	0,28 N.m	0,28N.m
Ağırlık	320gr.	320gr.	220gr.	220gr.
Tel Sayısı	8	8	8	8
Uzunluk	56mm	56mm	34mm	34mm

3.4. MOTOR SÜRÜCÜLERİ VE KONTROLLERİ

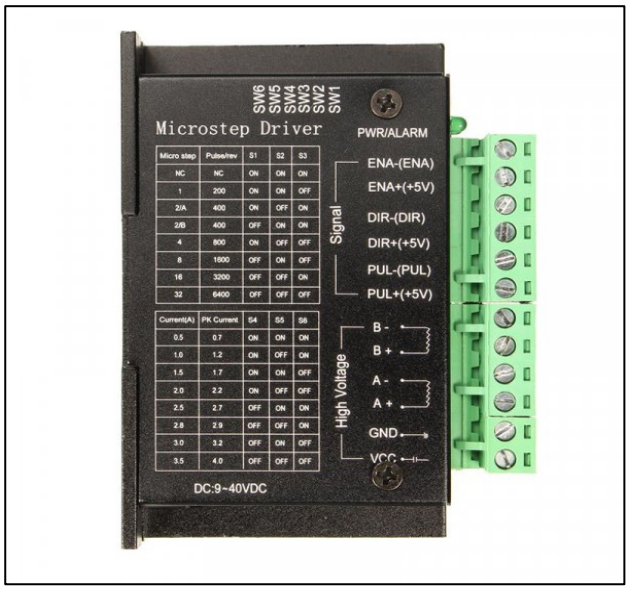
Step motorların hız, ivme gibi özellikleri ve mekanik olarak hareket ettirebilmek için sürücülere ihtiyaç duyulmaktadır. Aşağıda bu sürücü özellikleri açıklanmaktadır.

3.4.1. Step Motor Sürücü Teknik Özellikleri

Step motorlar istenilen yönde ve hızda çalıştırmak istendiğinde sargılara belli bir sıra ile darbeler uygulanmalıdır. Adım motorun adım sayısı uygulanan darbelere

bağlıdır. Fazlara uygulanacak darbeler basit bir anahtarlama sistemi ile uygulanabilir. Bu işlemi yapan devreler, sürücü devreleridir. Günümüzde elektronik devreler ile bu işlem çok kolay bir şekilde yapılmaktadır. Adım motorların ve kullanılacak yerin özelliğine göre hazırlanmış mikroişlemci kontrollü sürücü kartları mevcuttur. Bu kartlar yardımıyla adım motorların istenilen hızda ve istenilen hassasiyette çalıştırmak mümkündür.

Adım motorlarının sürülmesinde iki temel nokta bulunmaktadır. Bunlardan ilki motorun bağlanacağı sürücü devresinin olmasıdır. İkincisi ise bu sürücü devresi desteğiyle motorun doğru sargılarına gerekli hareketleri gönderebilmektir. Sürücüyü tetiklemek için elektromekanik anahtarlar kullanabildiği gibi bilgisayarın seri veya paralel portunu uygun bir yazılımla kullanılabilmektedir.

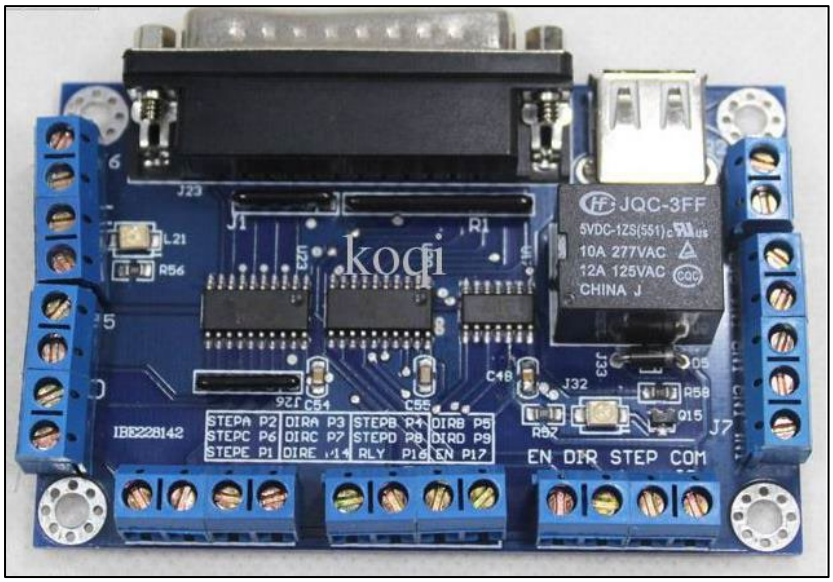


Şekil 3.27. Step motor sürücüsü [31].

CNC hava fırçası sistemimizde tüm eksenler için TB67S109AFTG 4A step motorlar kullanılmıştır. Tüm eksenlerde 1'er adet sürücü kullanılmıştır. Y ekseni sağ ve sol olmak üzere iki adet eksenden oluşur, bu eksenler için kullanılan sürücü kontrol kartına paralel olarak bağlanmıştır [31].

3.4.2. Step Motor ve Sürücü Kontrolleri

Step motor ve sürücülerin hareketleri bir CNC kartı tarafından kontrol edilmektedir. Kullanılan bu kart ile eksen hareketleri kontrol edilebilmektedir. Seçilen kart eksen hareketleri yanında soğutma, switch ve acil stop vb. gibi özellikleri ile de öne çıkmaktadır.



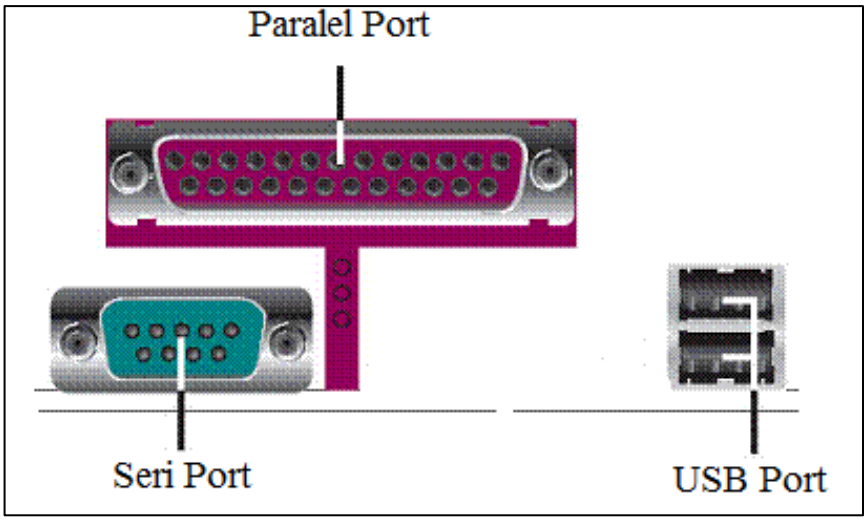
Şekil 3.28. CNC kontrol kartı [32].

Şekil 3.28'de görülen kontrol kartı Mach2 ve Mach3 programlarına uyumlu 5 eksen kontrol edilebilir bir kontrol kartıdır. Bu nedenle tezgâhı kontrol etmek için kullandığımız kontrol programı Mach3 olarak seçilmiştir.

CNC kartının hareket komutları Mach3 adlı yazılım ile sağlanmaktadır. Mach3 programı üzerinde programları kontrol edebilir ve bu programlar üzerinde değişiklik yapılabilmektedir.

3.5. HABERLEŞME

Motor sürücülerine istenilen sinyalleri göndermek için denetleyici ve dağıtıcı bir sistem kullanılır. Bu sistem ile motorlar sürücüler üzerinden bilgilendirilerek istenilen hareket konumlarına gönderilir. Bu denetleyici sistemler mikroişlemci ve bilgisayar gibi donanımlar olabilir. Bilgisayar ve kontrol kartları arasında iletişimi sağlamak için arayüzler kullanılmalıdır. Bu arayüzler genellikle CNC kontrollü tezgâhlar için paralel port, seri port ve usb porttur [5].



Şekil 3.29. Bilgisayar donanımında bulunan portlar [5].

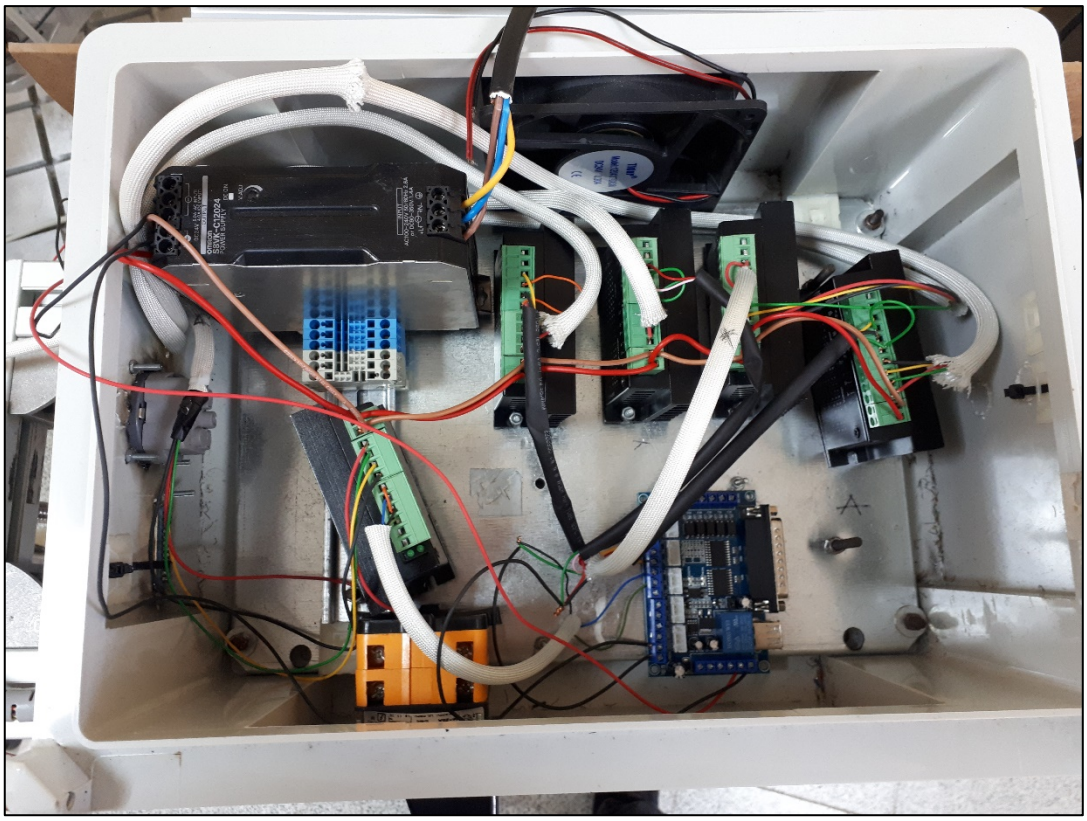
Tez çalışmasında sürücüler ve bilgisayar yazılımı haberleşmek için paralel port sistemini kullanmaktadır.

3.6. ELEKTRİK – ELEKTRONİK PANO TASARIMI

Pano tasarımı yapılırken, seçilen step motor sürücüler, güç sağlayıcı, bağlantı klemensleri ve kablo geçiş kanalları gibi detaylara dikkat edilmelidir. Montaj esnasında karışıklıkların olmaması adına kablaj tasarımı dağınık yapılmamalıdır. Tüm elektronik elemanlar bir sac üzerine montaj yapılarak pano içerisine sabitlenmelidir.

Pano içesinde CNC kontrol kartı konumu önem arz etmektedir. Sürücülerden çıkacak ısı ve titreşimlerin kontrol kartına etki etmeyecek mesafelere montaj yapılmalıdır. Aksi ihtimaller kontrol kartında hasarlara yol açabilir.

Pano içerisinde soğutucu fan olması önemlidir. Oluşacak ısının dışarı atılması için en önemli çözümlerden biridir. Fan çalışması pano içerisini oluşturan elemanların ömürlerini doğrudan etkilemektedir.



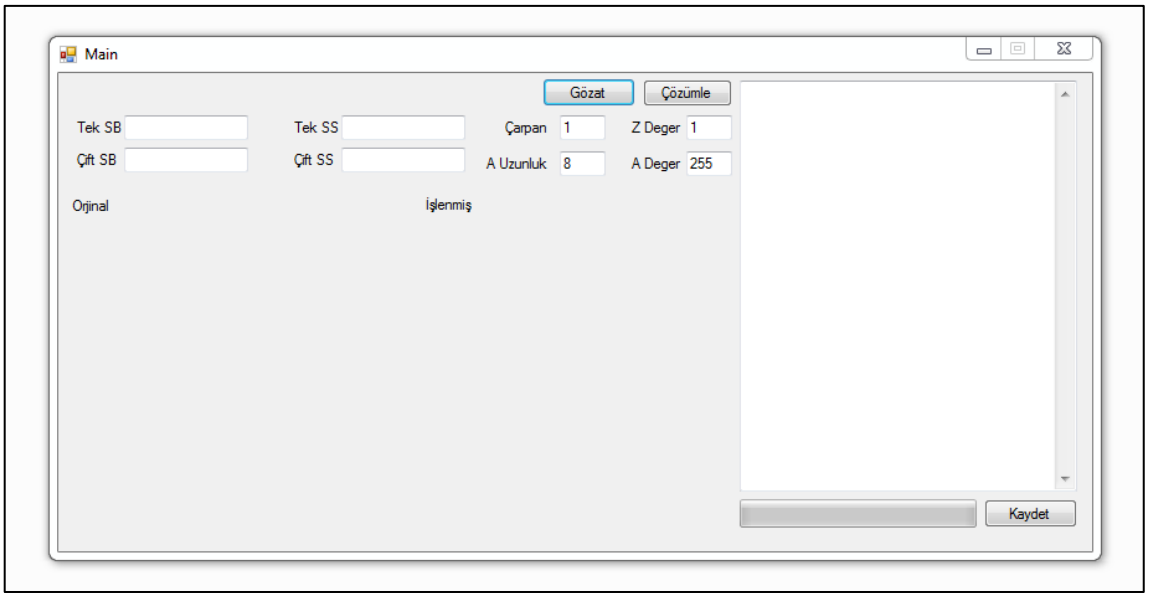
Şekil 3.30. Örnek pano tasarımı.

4. YAZILIM

CNC hava fırçası için özel bir yazılım tasarlanmıştır. Bu yazılım çizilmek veya boyanmak istenen resmi CNC kodlarına çevirip, programı Mach3 yazılımına uygun hale getirmektedir.

4.1. YAZILIM TASARIMI

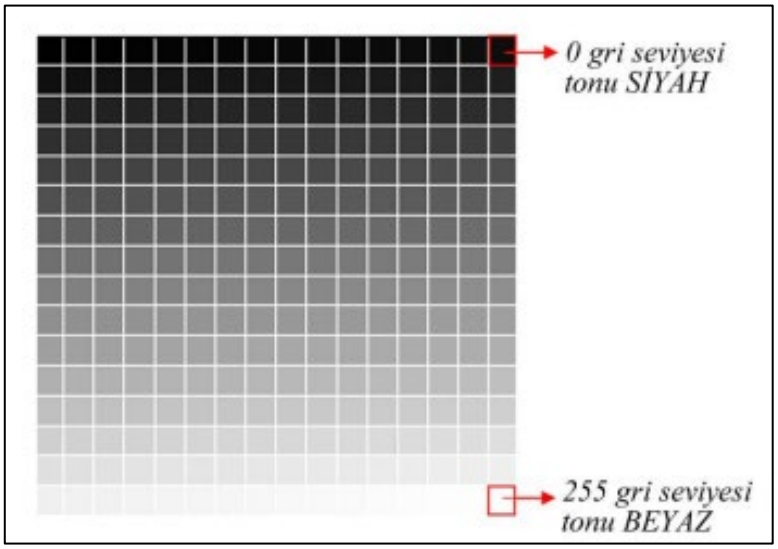
Tasarlanan yazılım programının amacı, renkli resimleri önce gri seviyeye çekip ardından piksellere bölmektir. Bölünen pikseller siyah ve beyaz renk aralığını 256 adet gri renge dönüştürmektedir. Dönüştürülen bu piksellerin her biri için CNC kod karşılıkları hesaplanıp, kodların oluşturulması sağlanmaktadır. Hava fırçası mekanik hassasiyeti de bu piksellere uygun olarak seçilmiştir. Yazılım programı için C# programlama dili kullanılmıştır. Yazılım programı için ise Microsoft Visual Studio programından yararlanılmıştır.



Şekil 4.1. Yazılım arayüzü.

4.1.1. Gri Seviye

Sayısallaştırma işleminde, görüntü boyutlarının ve her bir pikselin sahip olabileceği renk tonu değerinin saptanması gerekir. Sayısal görüntünün her bir pikselinin sahip olduğu ton değeri gri seviyeler olarak adlandırılır. Her bir pikseldeki ton değerine göre gri seviye aralığı belirlenir. Gri seviye piksel değerleri 0-255 arasında farklı ton yapısına sahip olan sayısal görüntüdür [33]. Gri seviyesi içerisinde iki renk vardır, bunlar siyah ve beyazdır. Bu iki bileşen arasında kodlanan görüntülere ise gri-ton görüntüleridir.



Şekil 4.2. Gri seviye gösterimi [33].

Program arayüzü tasarımını oluştururken, CNC tezgâhlarda kullanılan programlama mantığı temel olarak alınmıştır. CNC programlamasında satır başlarına ve sonlarına çeşitli karakterler eklenmesi gerekmektedir. Örneğin; program satır başlarına satır numaralarını belirtmek için N1, N2, G0, G1 vb. gibi satır numaraları eklenmekte ve işlemler bu satır numaralarına göre sıralı yapılmaktadır. Satır sonlarına ise sonlandırma ifadesi için noktalı virgül (;) konmaktadır. CNC hava fırçası yazılımı için de bu iki kriter için ikonlar eklenmiştir.

Arayüz içerisinde bulunan ‘Gözat’ butonu yüklenecek resimleri açmak için kullanılır. Bu butona tıkladığında açmak istenilen resmin klasörüne ulaşarak, resmi yazılıma yüklenmesi sağlanmaktadır.

Arayüz içerisinde bulunan ‘Çözümle’ butonu yüklenen resimlerin gri seviyeye dönüşmesi ile birlikte resmin piksellere bölmektedir.

Arayüz içerisinde bulunan ‘Çarpan’ girişi pikseller arası mesafeyi belirlemektedir. Bu

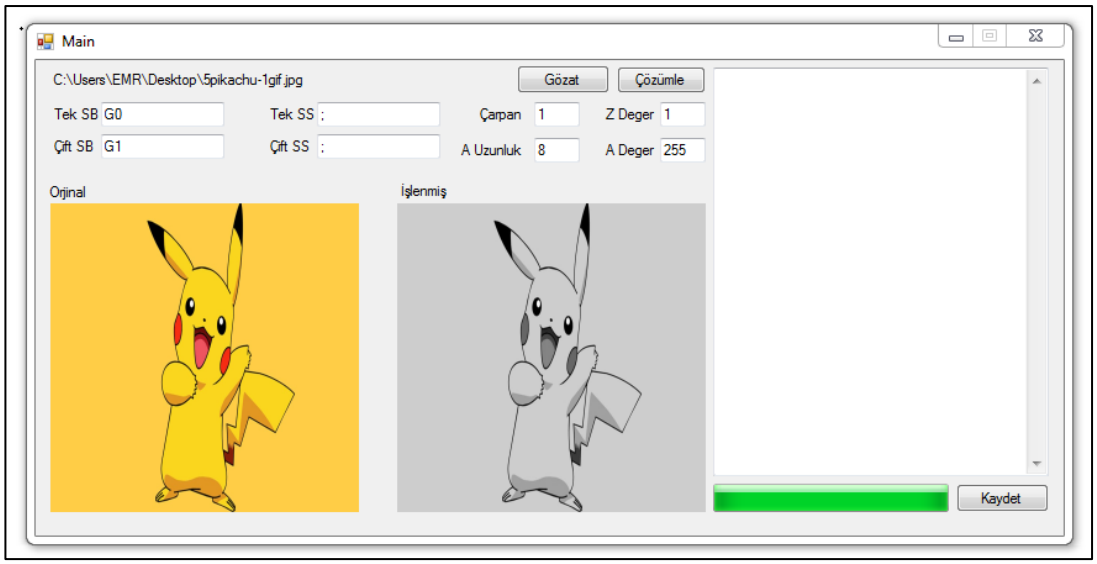
mesafe boya atımı için önemli olmakla birlikte, seçilen hava fırçası özellikleri bu mesafe ölçüsünü birebir etkilemektedir.

Arayüz içerisinde bulunan ‘A Uzunluk’ kullanılan hava fırçasının maksimum tetikleme mesafesini belirlemektedir. Bu mesafe üretici firma tarafından belirlenmekle birlikte gri tonu üzerinde doğrudan etkilidir.

Arayüz içerisinde bulunan ‘A Değer’ girişi resimlerin piksek aralığını belirlemektedir. Bu alana yazılan ‘A Uzunluk’ kısmında bulunan rakamı istenilen ton sayısına bölerek ton hassasiyeti sağlamaktadır. Örneğin; A uzunluk 8mm ve A değer 255 ise 8/255 değerinde tonlar elde edilir. Ton toleransları 8/255 değerinde olmakla birlikte en siyah ton 255 olacaktır.

Arayüz içerisinde bulunan ‘Z değer’ girişi hava fırçası ucunun, tablaya olan mesafesini girmektedir. Bu mesafe oluşacak nokta çapları için önemlidir.

Arayüz içerisinde bulunan ‘Kaydet’ butonu gri seviyeye çekilmiş resmim M ve G kodlarını çıkararak Mach3 programına göre uyarlamaktadır.



Şekil 4.3.Yazılım çalışma arayüzü.

4.2. CNC TEZGÂHLARDA KULLANILAN KODLAR

CNC tezgâhların kontrolü için oluşturulan programlar sembol ve harflerden oluşmaktadır. Kullanılan her harf ve sembol farklı hareketi veya farklı işlemi ifade etmektedir. Bu harf ve kodlar kontrol ünitesinin anlayabileceği anlamlar ifade etmektedir. Parça programları çeşitli komutları yerine getirme işlemleri olarak ifade edilebilir. Bir parça için de en az bir programa ihtiyaç duyulmaktadır. Bu programlar parça tasarımı ile birebir bağlantılıdır. Her parça için tanımlanacak girdiler farklılık gösterir. CNC programları belirli referanslara göre programlanıp çalışmaktadır. Bu referansların başında iş parçası ve tezgâh gelmektedir. İş parçası ve tezgâh referanslarına uygun programların mantıksal gelişimi ve düzeni sağlanır [34].

Genelde CNC kodları iki ana başlık altında incelenmektedir. Bunlar M kodları ve G kodlarıdır.

G kodları; iş parçasının tasarımın uygun makineye yaptırılması istenen eksen hareketlerini içerir.

M kodları; Üretim süreç kodlarıdır. Makine özelliklerini G kodları ile birlikte çalıştırma işlemlerini yapmaktadır.

M Komutları	Fonksiyonun Anlamı
M00	Program Durdurma
M01	İsteğe Bağlı Durdurma
M02	Program Sonu (Program Başa Dönmez)
M03	İş Milinin Saat İbresi Yönünde Dönmesi
M04	İş Milinin Saat İbresinin Tersi Yönünde Dönmesi
M05	İş Mili Durdurma
M06	Takım Değiştirme Kodu
M07	Püskürtmeli Soğutucu veya Yağ Akışı Açık
M08	Soğutma Sıvısı Açma
M09	Soğutma Sıvısı Kapama
M19	İş Mili Pozisyonlu Durdurma
M30	Program Sonu ve Başa Dönüş
M98	Alt Program Çağırma
M99	Alt Program Sonu

Şekil 4.4. M kodları [34].

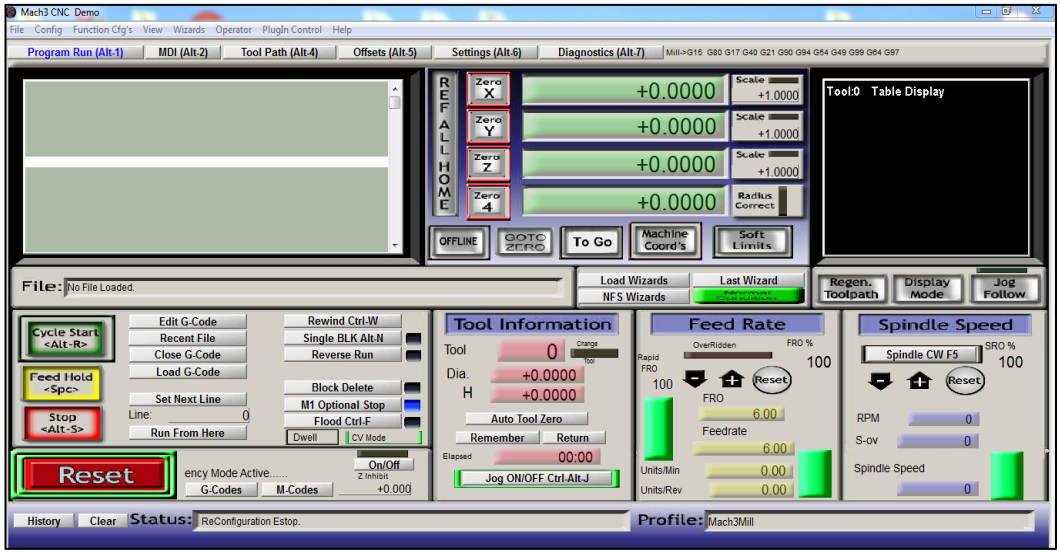
G Komut	Görevi ve Fonksiyonu
G00	Pozisyona Hızlı Gitme
G01	Doğrusal Hareket(Verilen İlerleme Hızında Gitme)
G02	Saat Yönünde Dairesel Kesme
G03	Saatin Tersi Yönde Dairesel Kesme
G04	Bekleme Modu
G09	İstenen Noktada Duruş – Tam Duruş
G17	X-Y Çalışma Düzlemi Seçme
G18	Y-Z Çalışma Düzlemi Seçme
G19	Y-Z Çalışma Düzlemi Seçme
G20	İnç Ölçü Sistemi
G21	Metrik Ölçü Sistemi
G28	Referans Noktasına Dönüş
G29	Referans Noktasından Dönüş
G30	2. Referans Noktasına Dönüş
G40	Takım Yarıçap Telafisi İptali
G41	Takım Yarıçap Telafisi Sola Hareket Halinde
G42	Takım Yarıçap Telafisi Sağa Hareket Halinde
G43	Takım Boyu Düzeltme (+)
G44	Takım Boyu Düzeltme (-)
G49	Takım Boyu Düzeltme İptali
G52	Koordinat Sistemi Kaydırma
G53	Tezgah Koordinat Sistemi Seçimi
G54	1 Nolu Iş Koordinat Sistemi Seçimi
G55	2 Nolu İş Koordinat Sistemi Seçimi
G56	3 Nolu İş Koordinat Sistemi Seçimi
G57	4 Nolu İş Koordinat Sistemi Seçimi
G58	5 Nolu İş Koordinat Sistemi Seçimi
G59	6 Nolu Iş Koordinat Sistemi Seçimi
G73	Derin Delik Delme Çevrimi
G74	Ters Diş Çekme Çevrimi
G76	Hassas Delik Genişletme Çevrimi
G80	Sabit Çevrim Kodunun İptali
G84	Kılavuz Çekme Çevrimi
G90	Mutlak Koordinatlarda Çalışma Kodu
G91	Artışlı Koordinatlarda Çalışma Kodu
G92	İş Parçası Koordinat Kaydırma
G94	İlerleme Hızı mm/dk
G95	İlerleme Hızı mm/dev
G98	Başlangıç Noktasına Dönüş Kodu
G99	Çevrimde Başlangıç Noktasına Dönüş Kodu

Şekil 4.5. G kodları [34].

4.3. KONTROL YAZILIMI

CNC makinaları için oluşturulan programları düzenlemek, yürütmek ve kontrol etmek için kullanılan programlardır. Bu programlar CNC makinelerine entegre çalışarak birebir eksen hareketlerini kontrol edilmesini sağlarlar. Kontrol yazılımı için Mach3 yazılımı kullanılmıştır. Mach3 kullanım kolaylığı ve basit arayüzü ile operatör için gayet anlaşılır bir programdır. Ulaşılabilirliği ise çok kolaydır. CNC kodlarını birebir tanıması ve program üzerinden basit değişikliklerin yapılabilmesi bu programın en önemli özelliklerindendir. 6 eksene kadar CNC tezgâh çalıştırılabilir durumda olması karmaşık sistemlere de uygulanabilir hale getirmiştir.

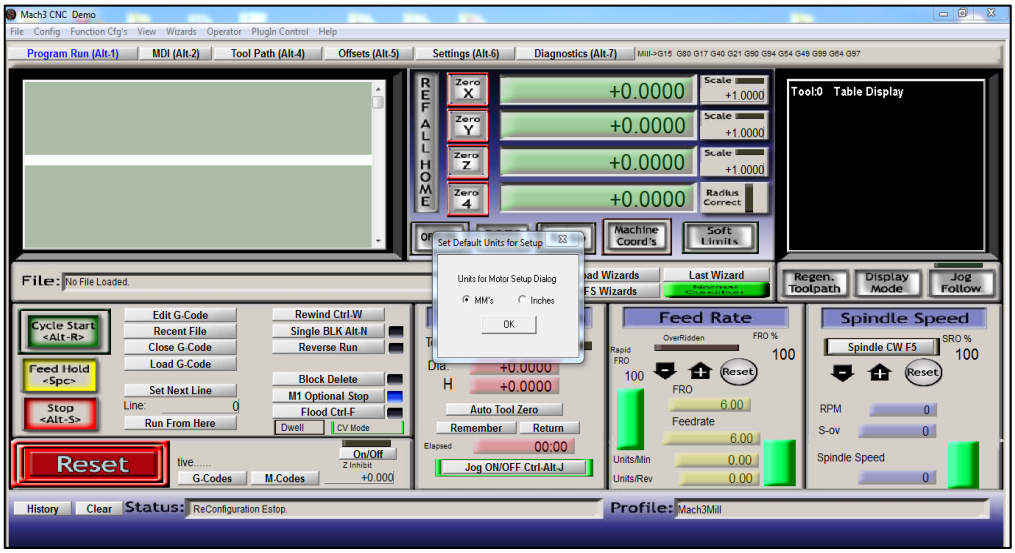
Bölüm 4.1'de tasarlanan yazılımından üretilen M ve G kodları, Mach3 programına aktarılıp kolayca programların yürütülebilmesi sağlanmaktadır. Bu işlem herhangi bir tasarım yazılımı kullanmamızı gerektirmeyeceği için işlem kolaylığı sağlayacaktır. Mach3 programı ayrıca mekanik tasarıma entegredir. Step motor ve sürücü ile birebir iletişim kurmaktadır. Step motor ve sürücü kapasitelerine uygun anlık hareketlerin ayarlanmasını sağlamakla beraber acil stop, soğutma sıvısı, ilerleme hızı, hava ve switchlerin kontrolü içinde operatöre bilgi sağlamaktadır. Çizgisel olarak eksen hareketlerinin kontrolünü sağlamakla birlikte, program içerisindeki çarpma ve yazılımsal hatalar için de operatöre geri bildirim de yapabilmektedir.



Şekil 4.6. Mach 3 programı arayüzü.

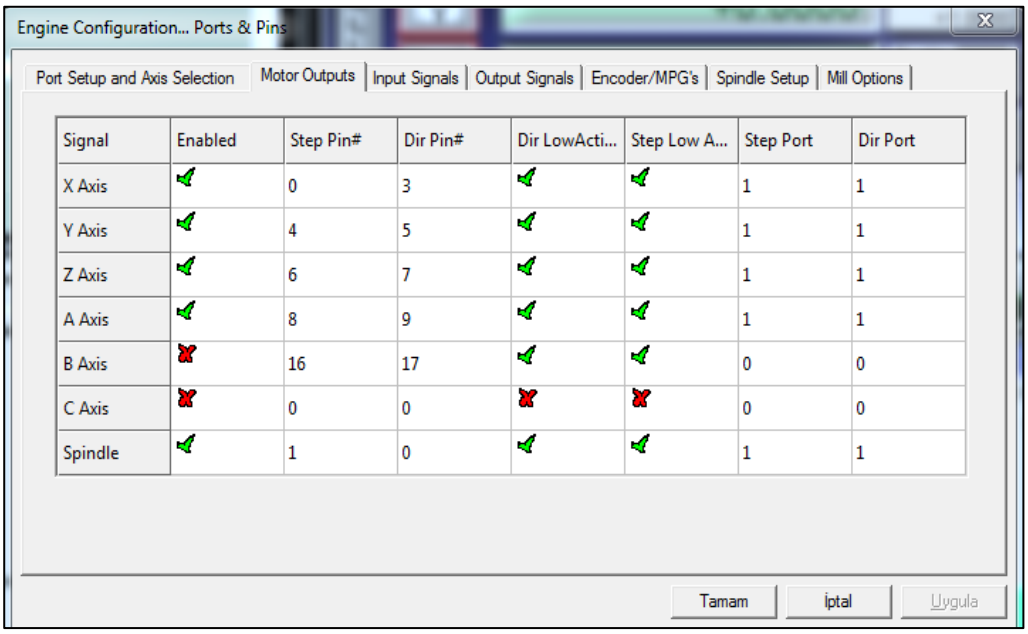
Kontrol programı için bazı ayarlamalar yapmak gerekmektedir. Bu detaylar aşağıda açıklanmıştır;

- Config \ Select Native menüsünden kullanılacak olan ölçü birimi belirlenmelidir.



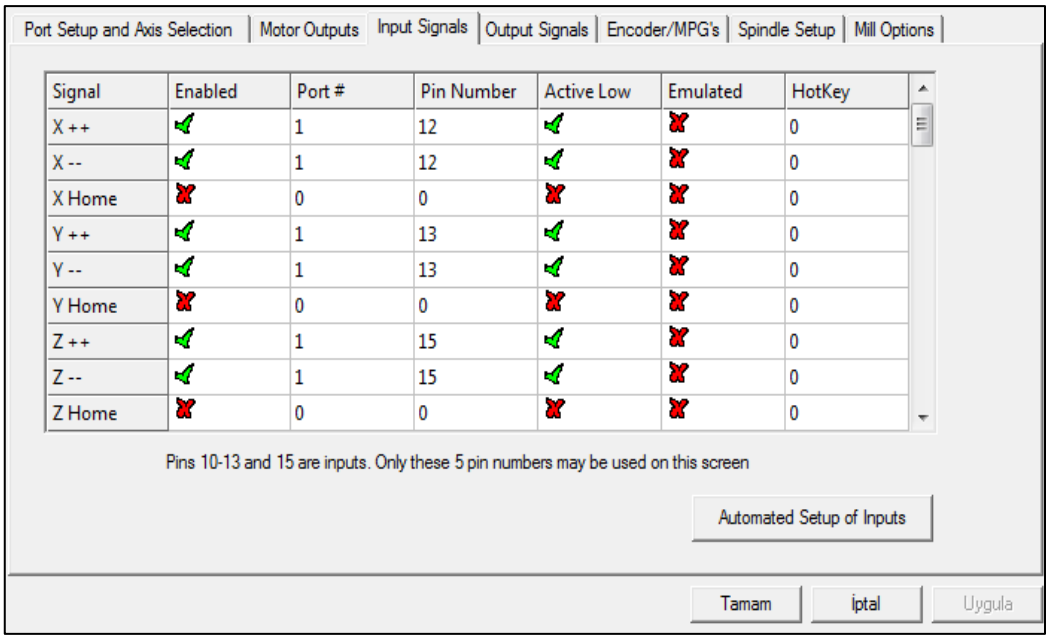
Şekil 4.7. Mach3 ölçü birimi ayarı.

- Config \ Ports and Pins \ Port Setup and Axis Selection ve Motor Outputs menüsünden kullanılacak eksenler ve port seçimleri gerçekleştirilir. Burada dikkat edilecek nokta eksen seçimleridir. Boya atım ekseni ile birlikte 4 eksen olarak seçilmelidir. Bu eksenler X, Y, Z ve A eksenleridir.



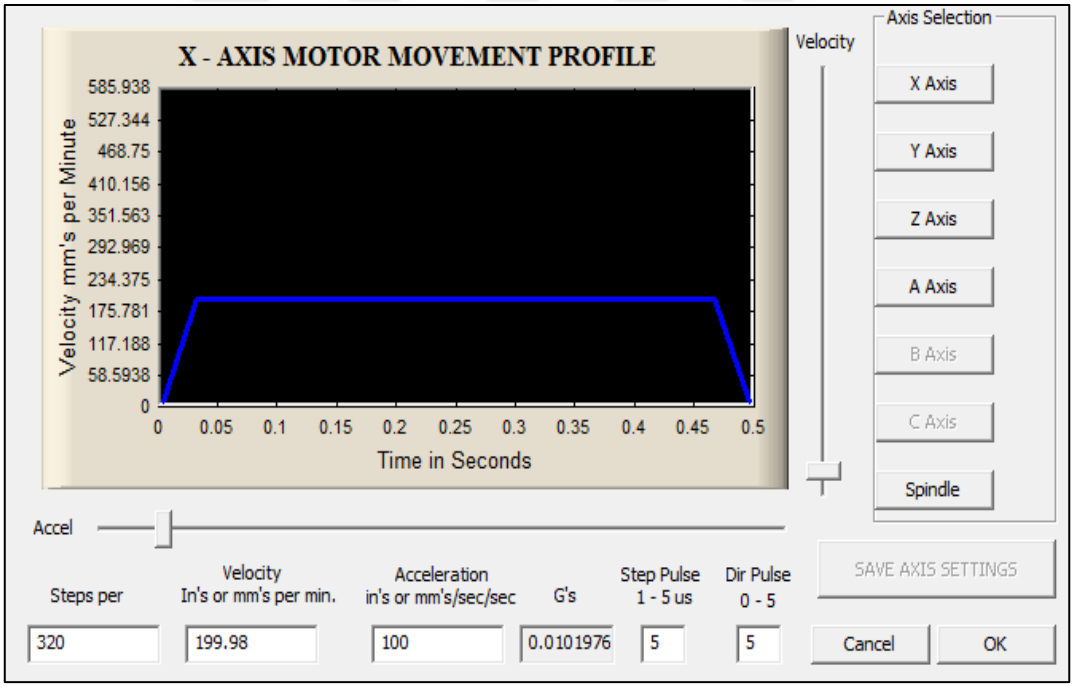
Şekil 4.8. Mach3 eksen seçimleri menüsü.

- Config \ Ports and Pins \ Input Pins menüsünden seçilen pinlerin, hangi eksenleri hareket ettireceği belirlenir.



Şekil 4.9. Pinlerin eksenlere atanması.

- Config \ Motor Tuning menüsünden eksenlerin hız ve ivme ayarları yapılır.



Şekil 4.10. Motor hız ve ivme ayarlamaları.

5. CNC HAVA FIRÇASININ TEST EDİLMESİ

5.1. SİSTEMİN HASSASİYETİ

Hassasiyet, tezgâhın istenilen hareket sınırları ile konumlanan hareket sınırları arasında ki orandır. Bu tanıma göre formülize edilirse;

Hassasiyet = Birim Doğrusal İlerleme / Motorun birin adım sayısı olarak tanımlanabilir.

Bu tanıma göre;

Hareket millerinin adımı: 5 mm,

Step motorların adım sayısı: 200 adım (1,8 derece)

Step motorları sürüş tekniği: 1/4 adım

Hassasiyet: 200 x 4 =800 (Step motor tur için adım sayısı)

5/800 = 0,00625 mm bulunur.

5.2. DOĞRULUK KONTROLÜ

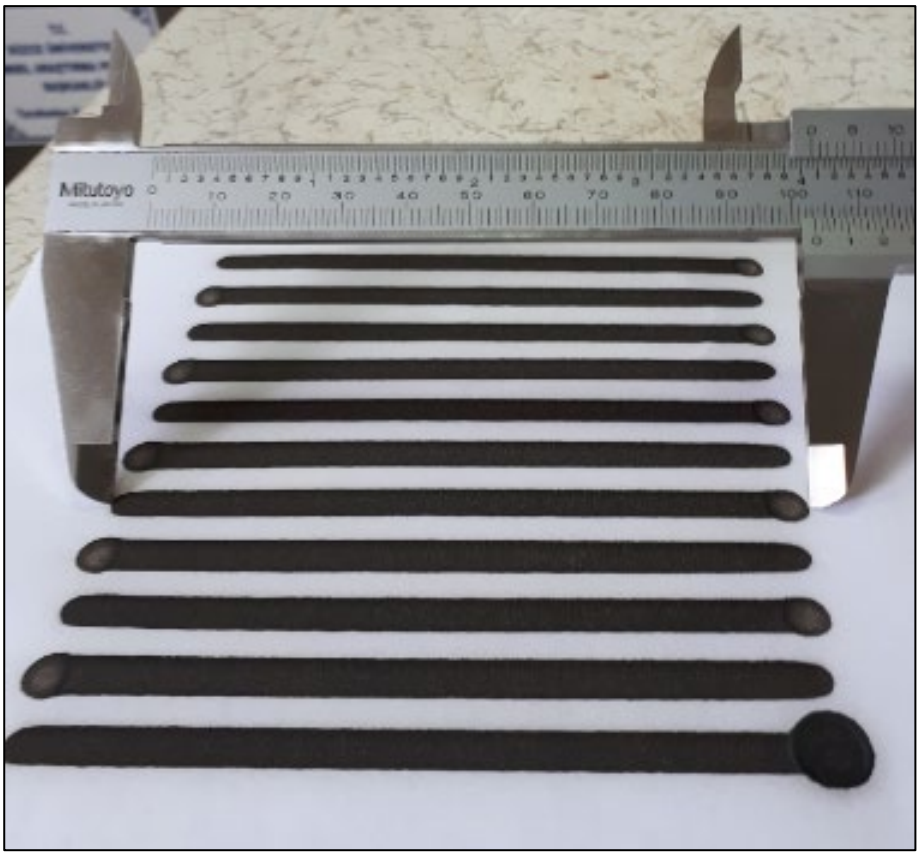
CNC eksen hareketleri için temel hataların başlıca nedenleri;

- İmalat hataları,
- Tezgâh konumu yüzey eğriliği,
- Eksen vidalı mil ve somun boşlukları,
- Yazılım ve elektronik ayarlama hataları.

5.2.1. X Ekseni Doğruluk Kontrolü

X ekseni doğruluk kontrolü için Şekil 5.1'de görülen 10 adet çizgi çizilmiş ve Şekil 5.1'de görüldüğü gibi ölçüler alınarak ölçüm sonuçları Çizelge 5.1'de gösterilmiştir.

Örnekleme 10 adet 100 mm çizgi çizilerek gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.1. X ekseninde çizgilerden ölçü alınması.

Çizelge 5.1. X ekseninde ölçülen çizgi boyutları.

Ölçüm No	Ölçüm Değeri (mm)
X 1	100,5
X 2	100,8
X 3	101
X 4	101,5
X 5	101,3
X 6	101,7
X 7	100,5
X 8	100,5
X 9	101
X 10	100,5
X Ort.	**100,86**

Eksenlerdeki hata miktarlarının tespiti için numunelerden alınan ölçüm değerlerinin istatiksel analizi yapılarak standart sapmaları hesaplanmıştır.

Standart sapma; veri değerlerinin yayılımının özetlenmesi için kullanılan bir ölçüdür, bir çalışma grubundaki her bir verinin ortalamaya göre ne kadar uzaklıkta olduğunu, bir diğer deyişle dağılımın ne yaygınlıkta olduğunu göstermektedir [35].

Standart sapma hesabındaki ilk adımı varyans hesabı teşkil eder, varyans dağılımın yayılımı hakkında bilgi verir [36].

X ekseni ölçümlerinin istatistiksel analizi Çizelge 5.2'de görülmektedir.

Çizelge 5.2. X ekseninde standart sapma hesabı.

Ölçüm No	Ölçüm Değeri (mm)	(X-Ortalama)	$(X\text{-Ortalama})^2$
X 1	100,5	-0,36	0,1296
X 2	100,8	-0,06	0,0036
X 3	101	0,14	0,0196
X 4	101,5	-0,36	0,1296
X 5	101,3	0,44	0,1936
X 6	101,7	0,84	0,7056
X 7	100,5	-0,36	0,1296
X 8	100,5	-0,36	0,1296
X 9	101	0,14	0,0196
X 10	100,5	-0,36	0,1296
		Toplam	**1,59**

Ortalama = 100,86

Varyans = 1.59/9 = 0,1766

X Ekseni Standart Saplama = 0,4202

5.2.2. Y Ekseni Doğruluk Kontrolü

Y ekseni doğruluk kontrolü için Şekil 5.2'de görülen 10 adet çizgi çizilmiş ve ölçüler alınarak ölçüm sonuçları Çizelge 5.3'de gösterilmiştir.

Örnekleme 10 adet 20 mm çizgi çizilerek gerçekleştirilmiştir. Y ekseni mesafesi yazılımsal olarak 10 mm referans alınmıştır. Ölçülen değerler 10 mm ile kıyaslanmıştır.



Şekil 5.2. Y ekseninde çizgilerden ölçü alınması.

Çizelge 5.3. Y ekseninde ölçülen çizgi boyutları.

Ölçüm No	Ölçüm Değeri (mm)
Y 1	10,2
Y 2	10,5
Y 3	10,5
Y 4	10,4
Y 5	11
Y 6	11
Y 7	10,5
Y 8	10,5
Y 9	11
Y 10	11,2
Y Ort.	**10,68**

Y ekseni ölçümlerinin istatistiksel analizi Çizelge 5.4' de görülmektedir.

Çizelge 5.4. Y ekseninde standart sapma hesabı.

Ölçüm No	Ölçüm Değeri (mm)	(X-Ortalama)	$(X\text{-Ortalama})^2$
Y 1	10,2	-0,49	0,2401
Y 2	10,5	-0,19	0,0361
Y 3	10,5	-0,19	0,2401
Y 4	10,4	-0,29	0,0841
Y 5	11	0,31	0,0961
Y 6	11	0,31	0,0961
Y 7	10,5	-0,19	0,2401
Y 8	10,5	-0,19	0,2401
Y 9	11	0,31	0,0961
Y 10	11,2	0,51	0,0961
		Toplam	**1,465**

Ortalama = 10,69

Varyans = 1.465 / 9 = 0,1627

Y Ekseni Standart Saplama = 0,4033

5.2.3. Z Ekseni Doğruluk Kontrolü

Örneklemelerin tümü hava fırçasının boya atım noktası, tablaya 4 mm ölçüsü kalacak şekilde gerçekleşmiştir.

5.2.4. Tetikleme Ekseni Doğruluk Kontrolü

Tetikleme ekseni doğruluk kontrolü için Şekil 5.3'de görülen 10 adet çizgi çizilmiş ve ölçüler alınarak ölçüm sonuçları Çizelge 5.5'de gösterilmiştir.

Örnekleme 10 adet 20 mm çizgi çizilerek gerçekleştirilmiştir. Y ekseni mesafesi yazılımsal olarak 10 mm referans alınmıştır. Tetikleme ekseni değeri 0.3 mm değeri için çizgi kalınlıkları kıyaslanmıştır ve çıkan bulgular Çizelge 5.5'de belirtilmiştir.



Şekil 5.3. Tetikleme ekseninde çizgilerden ölçü alınması.

Çizelge 5.5. Tetikleme ekseninde ölçülen çizgi kalınlıkları.

Ölçüm No	Ölçüm Değeri (mm)
T 1	5.3
T 2	5
T 3	5
T 4	4.7
T 5	4.8
T 6	5.2
T 7	5
T 8	5.3
T 9	5.5
T 10	5.5
T Ort.	**5.13**

Tetikleme ekseni ölçümlerinin istatistiksel analizi Çizelge 5.6’ da görülmektedir.

Çizelge 5.6. Tetikleme ekseninde standart sapma hesabı.

Ölçüm No	Ölçüm Değeri (mm)	(X-Ortalama)	$(X\text{-Ortalama})^2$
T 1	5.3	0,17	0,0289
T 2	5	-0,13	0,0169
T 3	5	-0,13	0,0169
T 4	4.7	-0,43	0,1849
T 5	4.8	-0,33	0,1089
T 6	5.2	0,07	0,0049
T 7	5	-0,13	0,0169
T 8	5.3	0,17	0,0289
T 9	5.5	0,37	0,1369
T 10	5.5	0,37	0,1369
		Toplam	**0,681**

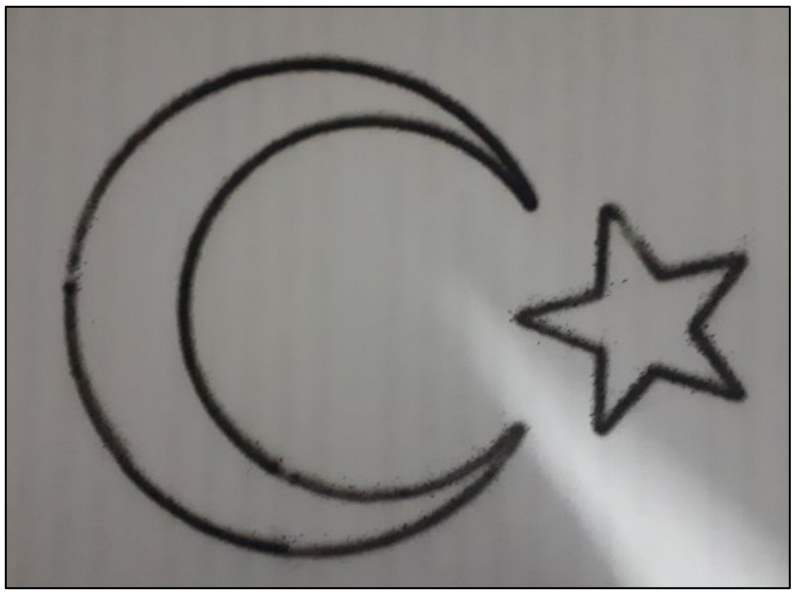
Ortalama = 5,13

Varyans = 0,681 / 9 = 0,0756

Tetikleme Ekseni Standart Saplama = 0,2749

5.3. ÖRNEK UYGULAMALAR

Tezgâhın kabiliyetlerini görmek için aşağıdaki uygulamalar çizilmiştir. Çizgiler için oluşturulan M ve G kodları da eklenmiştir.



Şekil 5.4. Uygulama 1.

```
M03;
N0040 G0 G90 X-69.6309 Y3.9094 ;
N0070 G1 Z0.0 F250. M08;
A0.3;
N0080 G2 X24.5036 Y27.3652 I49.9895 J0.0  M05;
N0090 X23.6587 Y26.8351 I-.4415 J-.2346;
N0100 G3 Y-19.0163 I-31.2927 J-22.9257;
N0110 G2 X24.5036 Y-19.5464 I.4033 J-.2955;
N0120 X-69.6309 Y3.9094 I-44.145 J23.4558;
N0140 G0 Z0;
A0
M03;
N0150 X45.8269 Y20.35
N0160 Z0;
N0170 G1 Z0.0;
A0.3;
N0180 X51.0783 Y13.6523  M05;
N0190 X67.2755 Y18.3437;
N0200 G2 X67.8332 Y17.5899 I.1391 J-.4803;
N0210 G1 X58.5396 Y3.3681;
N0220 X68.3332 Y-9.123;
N0230 G2 X67.8214 Y-9.9173 I-.3935 J-.3085;
N0240 G1 X51.0859 Y-5.8397;
N0250 X40.9127 Y-18.6662;
N0260 G2 X40.021 Y-18.3554 I-.3917 J.3107;
N0270 G1 Y-2.6659;
N0280 X23.2647 Y2.8668;
N0290 G2 X23.257 Y3.8138 I.1568 J.4748;
N0300 G1 X39.1446 Y9.3467;
N0310 X39.6823 Y26.7547;
N0320 G2 X40.5756 Y27.0478 I.4998 J-.0154;
N0330 G1 X45.8269 Y20.35 A0 ;
M03;
N0350 G0 Z0;
```

Şekil 5.5. Uygulama 1 M-G kodları.



Şekil 5.6. Uygulama 2.

```
A0.3;
M05.;
G00 X150 Y0 A0.25 F1000;
Y-3;
X0;
Y-6;
X150;
Y-9;
X0;
Y-12;
X150;
Y-15;
X0;
Y-18;
X150;
Y-21;
X0;
Y-24;
X150;
Y-27;
X0;
Y-30;
X150;
Y-33;
X0;;
Y-36;
X150;
Y-39;
X0;
Y-42;
X150;
Y-45;
X0;
Y-48;
X150;
A0;
M03;
```

Şekil 5.7. Uygulama 2 M-G kodları.



Şekil 5.8. Uygulama 3.

```
G0 X19.4609 Y26.999 Z0;
A0.3;
M05;
N0070 G1 Z0 F1000;
N0080 X19.1903 Y27.4195;
N0090 G3 X13.4303 Y23.2211 I33.3148 J-51.7575;
N0100 X7.6455 Y17.6944 I33.9751 J-41.3521;
N0110 X4.0709 Y13.2629 I38.7467 J-34.9126;
N0120 X1.0278 Y8.4586 I38.7689 J-27.9225;
N0130 G2 X.0904 Y8.6868 I-.4376 J.2419;
N0140 X.6369 Y18.4978 I59.1069 J1.6281;
N0150 X2.9335 Y28.0536 I50.2408 J-7.0204;
N0160 X3.6638 Y28.3186 I.4726 J-.1634;
N0170 G3 X4.1742 Y28.1673 I.5469 J.9088;
N0180 X4.771 Y28.2618 I.0546 J1.5868;
N0190 X5.8525 Y29.2027 I-.6813 J1.8752;
N0200 X5.8571 Y30.4383 I-1.1738 J.6221;
N0210 X5.4276 Y30.8416 I-.7907 J-.4117;
N0220 X4.7408 Y30.9576 I-.5705 J-1.2869;
N0230 X3.9524 Y30.7129 I.1576 J-1.9002;
N0240 X3.5314 Y30.2111 I.4693 J-.8212;
N0250 G2 X3.5044 Y30.1493 I-.4706 J.1689;
N0260 G3 X1.6036 Y25.0086 I19.4422 J-10.1106;
N0270 X.648 Y19.5065 I47.8985 J-11.1534;
N0280 X.3324 Y16.1899 I81.5369 J-9.432;
N0290 X.0893 Y12.848 I845.2143 J-63.1475;
N0300 G2 X-.1718 Y9.4989 I-233.3351 J16.5056;
N0310 X-.544 Y6.1429 I-65.9802 J5.6206;
N0320 X-1.5389 Y6.2327 I-.4954 J.0678;
N0330 G3 X-1.5043 Y8.5605 I-39.8903 J1.7576;
N0340 X-1.5909 Y10.8937 I-51.1926 J-.7311;
N0350 X-2.0461 Y15.6309 I-66.1618 J-3.9671;
N0360 X-2.7121 Y20.3745 I-304.9068 J-40.3916;
N0370 G2 X-3.0559 Y22.7984 I189.4812 J28.1102;
N0380 G3 X-3.4154 Y25.1992 I-85.0363 J-11.5067;
N0390 X-3.9789 Y27.5348 I-16.0399 J-2.6344;
N0400 X-5.008 Y29.5945 I-7.2114 J-2.3159;
N0410 X-5.5954 Y30.3401 I-7.5381 J-5.3351;
N0420 X-6.2308 Y30.8565 I-1.8259 J-1.5973;
N0430 X-6.6005 Y30.9642 I-.4152 J-.7372;
N0440 X-6.9509 Y30.893 I-.0382 J-.7101;
N0450 X-7.572 Y30.3953 I.7962 J-1.6299;
N0460 X-7.8698 Y29.7123 I1.1204 J-.895;
N0470 X-7.8286 Y29.0413 I1.5976 J-.2388;
N0480 X-7.5173 Y28.4815 I1.3163 J.3655;
N0490 X-7.2735 Y28.331 I.3897 J.3588;
N0500 X-6.8825 Y28.2912 I.3063 J1.0698;
N0510 X-6.3464 Y28.376 I-.2558 J3.3549;
N0520 G2 X-5.5756 Y28.439 I.5856 J-2.418;
N0530 X-4.7182 Y27.8691 I-.0782 J-1.0474;
```

Şekil 5.9. Uygulama 3 M-G kodları 1.

```
N0540 X-4.4731 Y27.158 I-2.4014 J-1.2256;
N0550 G3 X-4.2863 Y26.2 I877.6903 J170.6185;
N0560 X-4.0749 Y25.2811 I13.9807 J2.7336
N0570 G2 X-3.5582 Y22.9459 I-27.8414 J-7.3854;
N0580 X-3.1915 Y20.6017 I-55.3442 J-9.856;
N0590 G3 X-2.8278 Y18.1304 I102.1758 J13.7767;
N0600 X-2.4278 Y15.6543 I644.9661 J102.9286;
N0610 G2 X-2.052 Y12.4137 I-34.5233 J-5.6455;
N0620 X-2.193 Y9.1062 I-14.8515 J-1.0234;
N0630 X-3.1042 Y8.9073 I-.4941 J.0767;
N0640 G3 X-10.5831 Y18.3761 I-59.6586 J-39.433;
N0650 X-19.5426 Y26.4604 I-52.6478 J-49.3406;
N0660 X-32.184 Y34.1253 I-42.5784 J-55.966;
N0670 X-44.8317 Y38.5245 I-27.193 J-57.7984;
N0680 G2 X-40.4796 Y32.4856 I-111.2108 J-84.7337;
N0690 X-35.8907 Y24.9333 I-70.4809 J-47.9953;
N0700 X-34.4434 Y21.8645 I-27.9525 J-15.0591;
N0710 X-33.6087 Y18.5141 I-11.2096 J-4.5717;
N0720 X-33.6853 Y15.9159 I-9.9368 J-1.0076;
N0730 X-34.1436 Y13.4448 I-52.8517 J8.5259;
N0740 G3 X-34.5627 Y10.8434 I27.3396 J-5.7384;
N0750 X-34.7235 Y8.2181 I25.461 J-2.8773;
N0760 X-34.6937 Y5.6022 I61.6124 J-.6059;
N0770 X-34.5631 Y2.9852 I76.0201 J2.4812;
N0780 X-34.4816 Y2.0585 I22.4715 J1.5096;
N0790 X-34.2836 Y1.2828 I2.8208 J.3069;
N0800 X-34.1464 Y1.082 I.5444 J.2247;
N0810 X-33.8329 Y1.2121 I-.1665 J.8439;
N0820 X-33.3692 Y1.5269 I-35.7581 J53.1699;
N0830 G2 X-31.5103 Y2.6095 I8.2855 J-12.0903;
N0840 X-29.4597 Y3.3476 I4.4177 J-9.0551;
N0850 X-26.3462 Y3.6515 I2.6361 J-10.9059;
N0860 X-23.2879 Y3.3269 I-1.0364 J-24.333;
N0870 X-23.2657 Y3.3226 I-.0841 J-.4929;
N0880 G3 X-21.0256 Y2.8978 I9.0457 J41.5813;
N0890 G2 X-18.7273 Y2.4325 I-4.7926 J-29.5814;
N0900 X-15.9685 Y1.4718 I-3.5982 J-14.7743;
N0910 X-13.5647 Y-.2915 I-3.1122 J-6.7629;
N0920 X-14.1705 Y-1.0684 I-.3705 J-.3358;
N0930 G3 X-18.568 Y.5024 I-7.5051 J-14.0698;
N0940 X-23.247 Y.7822 I-3.3589 J-16.9056;
N0950 X-27.2527 Y.147 I1.9287 J-25.1097;
N0960 X-31.1322 Y-1.0846 I6.9041 J-28.4734;
N0970 X-34.8083 Y-2.823 I11.5548 J-29.1901;
N0980 X-37.6945 Y-4.557 I23.7169 J-42.7466;
N0990 X-35.7617 Y-5.8554 I35.7327 J51.1018;
N1000 G2 X-33.2683 Y-7.794 I-9.7416 J-15.1025;
N1010 X-30.6684 Y-11.0699 I-9.4582 J-10.1763;
N1020 X-28.8789 Y-14.8033 I-24.698 J-14.1337;
N1030 X-27.4481 Y-19.1697 I-37.2229 J-14.6155;
N1040 X-26.3292 Y-23.5859 I-199.0592 J-52.7807;
```

Şekil 5.10. Uygulama 3 M-G kodları 2.

```
N1050 G3 X-25.6953 Y-25.7124 I20.4908 J4.9507;
N1060 X-24.6711 Y-27.5032 I5.5138 J1.9652;
N1070 X-23.4126 Y-28.7042 I5.9613 J4.9872;
N1080 X-21.9183 Y-29.7339 I11.825 J15.5601;
N1090 X-20.3749 Y-30.6454 I20.1668 J32.3853;
N1100 G2 X-19.2615 Y-31.3014 I-14.0561 J-25.1309;
N1110 X-16.5405 Y-26.6456 I43.5008 J-22.3009;
N1120 X-12.7709 Y-22.022 I24.947 J-16.4907;
N1130 X-8.5155 Y-18.6526 I16.4411 J-16.3923;
N1140 X-3.5009 Y-16.5489 I9.2234 J-14.9576;
N1150 X-2.8831 Y-16.9906 I.1198 J-.4854;
N1160 G3 X-2.0851 Y-21.8896 I33.4754 J2.9383;
N1170 X-1.0809 Y-25.2816 I32.8215 J7.8718;
N1180 X-.1375 Y-21.8473 I-61.4148 J18.7183;
N1190 X.8621 Y-16.9534 I-62.3873 J15.2911;
N1200 G2 X1.4309 Y-16.5401 I.4934 J-.0809;
N1210 X4.1889 Y-17.2739 I-1.9878 J-13.0216;
N1220 X6.7346 Y-18.5386 I-5.5415 J-14.348;
N1230 X9.0063 Y-20.2019 I-9.4558 J-15.2975;
N1240 X11.0238 Y-22.1378 I-16.7657 J-19.4914;
N1250 X14.6186 Y-26.7365 I-24.2221 J-22.639;
N1260 X17.3088 Y-31.4281 I-41.4964 J-26.912;
N1270 G3 X19.1707 Y-30.6259 I-2.4654 J8.2838;
N1280 X21.1297 Y-29.1537 I-5.12 J8.8521;
N1290 X22.7192 Y-27.2718 I-8.1487 J8.4952;
N1300 X23.9327 Y-25.1021 I-11.8825 J8.0695;
N1310 X25.0564 Y-21.7457 I-16.1324 J7.2677;
N1320 G2 X25.8815 Y-18.1777 I411.6187 J-93.2985;
N1330 X26.6944 Y-15.3235 I31.4851 J-7.4243;
N1340 X27.8826 Y-12.5704 I16.9233 J-5.6711;
N1350 X31.5457 Y-7.8139 I16.1399 J-8.641;
N1360 X35.7565 Y-4.672 I16.4869 J-17.7034;
N1370 G3 X31.8868 Y-2.2106 I-15.7429 J-20.4772;
N1380 X26.9483 Y-.1707 I-14.3091 J-27.6447;
N1390 X23.2849 Y.6554 I-6.7386 J-21.3469;
N1400 X19.574 Y.7378 I-2.2101 J-15.9355;
N1410 X15.8951 Y.0604 I1.9703 J-21.029;
N1420 X12.2727 Y-1.0973 I13.1906 J-47.5205;
N1430 G2 X11.7585 Y-.2641 I-.1705 J.47;
N1440 X14.6832 Y1.7209 I7.5486 J-7.9747;
N1450 X18.0021 Y2.8492 I6.9151 J-14.8947;
N1460 X20.8406 Y3.3216 I5.6408 J-25.1334;
N1470 X23.7078 Y3.4918 I3.1453 J-28.7395;
N1480 X28.277 Y2.9527 I.1746 J-18.1519;
N1490 X31.9548 Y1.3304 I-2.8609 J-11.4659;
N1500 G3 X32.6926 Y3.8466 I-9.7833 J4.2351;
```

Şekil 5.11. Uygulama 3 M-G kodları 3.

```
N1510 X32.8855 Y7.1086 I-15.6998 J2.5649;
N1520 X32.5305 Y10.1389 I-20.9601 J-.9192;
N1530 G1 X31.9412 Y13.2152;
N1540 G2 X31.5058 Y16.3688 I30.1215 J5.7664;
N1550 X31.6643 Y19.6063 I12.0662 J1.0318;
N1560 X31.6921 Y19.7019 I.4916 J-.0911;
N1570 X33.0896 Y22.9714 I77.2042 J-31.067;
N1580 X34.639 Y26.1756 I64.5867 J-29.2545;
N1590 X38.942 Y33.3118 I55.2407 J-28.4441;
N1600 X43.1783 Y38.4931 I36.2935 J-25.3512;
N1610 G3 X37.601 Y36.8007 I8.8057 J-39.056;
N1620 X30.702 Y33.7792 I29.8519 J-77.548;
N1630 X25.2414 Y30.9669 I77.8216 J-157.8131;
N1640 X19.9418 Y27.8955 I45.0126 J-83.7753;
N1650 X19.1903 Y27.4195 I32.5634 J-52.2336;
N1660 G1 X19.4609 Y26.999;
A0;
M03
N1680 G0 Z0;
N1690 X14.6207 Y22.593;
N1700 Z3;
N1710 G1 Z0;
A0.3;
M05;
N1720 X14.9207 Y22.1929;
N1730 G2 X18.1427 Y24.4059 I28.2764 J-37.718;
N1740 X25.5805 Y28.4364 I35.284 J-56.2346;
N1750 X33.5302 Y31.3494 I21.7836 J-47.1444;
N1760 X34.0845 Y30.5979 I.1332 J-.4819;
N1770 G3 X32.3715 Y27.1679 I15.2644 J-9.7663;
N1780 X31.1704 Y23.4439 I40.5618 J-15.1382;
N1790 X30.5804 Y21.2605 I380.3685 J-103.9585;
N1800 X30.0395 Y19.0803 I60.6884 J-16.2132;
N1810 X29.7076 Y16.8926 I14.4396 J-3.3094;
N1820 X29.8832 Y14.7939 I6.6205 J-.5028;
N1830 X30.4251 Y13.0543 I14.9431 J3.7005;
N1840 G2 X31.0363 Y11.2338 I-24.1068 J-9.1063;
N1850 X31.4417 Y9.5288 I-15.7993 J-4.657;
N1860 X31.5727 Y7.7345 I-8.264 J-1.5054;
N1870 X31.2408 Y5.8546 I-6.8196 J.2347;
N1880 X30.4088 Y4.1396 I-6.6526 J2.1683;
N1890 X29.8358 Y3.9424 I-.4159 J.2775;
N1900 G3 X24.7431 Y4.8261 I-5.5158 J-16.6706;
N1910 X19.5478 Y4.334 I-.5316 J-22.0561;
N1920 X16.8381 Y3.4957 I3.4493 J-15.9489;
N1930 X14.3357 Y2.1841 I5.5778 J-13.6846;
N1940 X12.3873 Y.8011 I16.8563 J-25.8115;
N1950 X10.4965 Y-.7006 I48.6376 J-63.1832;
```

Şekil 5.12. Uygulama 3 M-G kodları 4.

```
N1960 X9.5201 Y-1.5513 I13.4929 J-16.4712;
N1970 X8.6507 Y-2.4644 I6.8349 J-7.3787;
N1980 X7.9714 Y-3.4109 I5.8977 J-4.9495;
N1990 X8.6963 Y-3.0733 I-25.5884 J55.8828;
N2000 G2 X10.6836 Y-2.1898 I19.3446 J-40.8348;
N2010 X13.1011 Y-1.3497 I8.2196 J-19.7559;
N2020 X15.5981 Y-.7983 I6.0602 J-21.5122;
N2030 X17.8038 Y-.4957 I7.4553 J-46.1635;
N2040 X20.0573 Y-.3714 I2.2094 J-19.5561;
N2050 X23.333 Y-.7681 I-.0313 J-13.9808;
N2060 X26.4491 Y-1.5892 I-20.214 J-83.0306;
N2070 X29.2771 Y-2.5057 I-11.0061 J-38.7829;
N2080 X31.9378 Y-4.0259 I-3.1294 J-8.5657;
N2090 X31.9508 Y-4.7874 I-.3175 J-.3863;
N2100 X29.4553 Y-6.9014 I-56.1674 J63.7743;
N2110 G3 X27.2047 Y-9.1024 I10.9754 J-13.4735;
N2120 X26.0603 Y-10.7513 I7.7169 J-6.5771;
N2130 X25.2217 Y-12.598 I10.9131 J-6.0694;
N2140 X24.2967 Y-15.8229 I24.0747 J-8.6506;
N2150 G2 X23.4487 Y-19.1772 I-49.8691 J10.8231;
N2160 X22.8347 Y-21.0112 I-22.3713 J6.47;
N2170 X21.9985 Y-22.7883 I-12.2105 J4.6603;
N2180 X20.8183 Y-24.4798 I-9.5435 J5.4012;
N2190 X19.329 Y-25.9144 I-7.8419 J6.6506;
N2200 X18.6613 Y-25.8694 I-.3089 J.3932;
N2210 G3 X14.96 Y-22.1408 I-164.505 J-159.5974;
N2220 X11.0097 Y-18.7969 I-24.1748 J-24.554;
N2230 X8.8936 Y-17.4194 I-14.7588 J-20.3585;
N2240 X6.6481 Y-16.3084 I-9.3582 J-16.0891;
N2250 X4.2027 Y-15.5112 I-6.3918 J-15.4567;
N2260 X1.668 Y-15.1122 I-3.6932 J-15.211;
N2270 G2 X1.2123 Y-14.5281 I.037 J.4986;
N2280 G3 X1.6506 Y-10.7391 I-33.2328 J5.7642;
N2290 X1.6651 Y-7.0562 I-33.6435 J1.9736;
N2300 G2 X.1286 Y-3.746 I11.7577 J7.4692;
N2310 X-.4998 Y-.0153 I13.2829 J4.1555;
N2320 X-.4965 Y.0591 I.4998 J.0153;
N2330 X-.2114 Y2.336 I188.9288 J-22.4991;
N2340 X.2863 Y4.6456 I14.3601 J-1.886;
N2350 X1.1657 Y6.6674 I9.0851 J-2.7497;
N2360 X2.3536 Y8.4668 I16.4192 J-9.5475;
N2370 X3.5531 Y10.0728 I661.391 J-492.7184;
```

Şekil 5.13. Uygulama 3 M-G kodları 5.

```
N2380 G3 X4.7272 Y11.6809 I-66.1729 J49.5476;
N2390 G2 X7.4356 Y15.1254 I37.4287 J-26.6428;
N2400 X10.4237 Y18.3196 I43.4613 J-37.662;
N2410 X14.117 Y21.5769 I29.916 J-30.199;
N2420 X14.9207 Y22.1929 I29.0801 J-37.1019;
N2430 G1 X14.6207 Y22.593;
A0;
M03;
N2450 G0 Z0;
N2460 X-14.0697 Y20.4788;
N2470 Z3;
A0.3;
M05;
N2480 G1 Z0;
N2490 X-14.3809 Y20.0874;
N2500 G2 X-10.5063 Y16.6297 I-28.4643 J-35.795;
N2510 X-6.8241 Y12.2443 I-23.3232 J-23.3221;
N2520 X-5.0138 Y9.5173 I-52.5663 J-36.8604;
N2530 X-3.3085 Y6.7409 I-141.6919 J-88.9433;
N2540 X-2.2746 Y4.7506 I-15.5085 J-9.319;
N2550 X-1.6115 Y2.557 I-8.5073 J-3.7689;
N2560 X-1.5368 Y-.4482 I-10.2334 J-1.758;
N2570 X-2.2239 Y-3.3534 I-13.2794 J1.6067;
N2580 X-3.0191 Y-5.2746 I-20.2366 J7.251;
N2590 X-3.8446 Y-7.0122 I-319.9993 J150.9712;
N2600 G3 X-3.7003 Y-10.7286 I44.3049 J-.141;
N2610 X-3.2284 Y-14.5308 I44.7371 J3.6221;
N2620 G2 X-3.6476 Y-15.108 I-.4931 J-.0827;
N2630 G3 X-10.3761 Y-17.2851 I3.1946 J-21.3597;
N2640 X-16.2715 Y-21.3367 I13.2096 J-25.5357;
N2650 X-18.4602 Y-23.482 I20.9903 J-23.6043;
N2660 X-20.4399 Y-25.8261 I24.7119 J-22.8781;
N2670 G2 X-21.1444 Y-25.9149 I-.3963 J.3049;
N2680 X-23.6251 Y-23.3773 I8.2715 J10.5673;
N2690 X-25.2854 Y-20.2277 I9.1628 J6.8427;
N2700 X-25.7199 Y-18.3399 I8.9469 J3.0529;
N2710 X-25.9325 Y-16.4993 I107.4521 J13.345;
N2720 G3 X-26.6478 Y-13.3093 I-14.2726 J-1.5251;
N2730 X-28.1072 Y-10.4121 I-11.6447 J-4.0498;
N2740 X-30.7856 Y-7.4272 I-12.5166 J-8.5372;
N2750 X-34.0712 Y-4.9601 I-21.305 J-24.9515;
N2760 G2 X-34.0957 Y-4.1416 I.2746 J.4178;
N2770 X-26.8355 Y-.7073 I12.1257 J-16.2425;
N2780 X-18.8142 Y-.4321 I4.6622 J-18.8547;
N2790 X-13.6731 Y-1.8936 I-4.4889 J-25.5639;
N2800 X-10.1754 Y-3.4325 I-20.6191 J-51.6063;
N2810 G3 X-11.8325 Y-1.1805 I-10.5718 J-6.0429;
```

Şekil 5.14. Uygulama 3 M-G kodları 6.

```
N2820 X-15.1645 Y1.5379 I-11.5194 J-10.7185;
N2830 X-18.8822 Y3.3167 I-10.6374 J-17.4578;
N2840 X-22.8855 Y4.3733 I-8.0407 J-22.3527;
N2850 X-27.2442 Y4.6555 I-3.5038 J-20.3162;
N2860 X-31.5245 Y3.9381 I.7241 J-17.4469;
N2870 G2 X-31.9475 Y4.0027 I-.1433 J.479;
N2880 X-32.6876 Y4.6702 I1.9941 J2.9549;
N2890 X-33.2125 Y5.5212 I2.6737 J2.2367;
N2900 X-33.484 Y6.4403 I3.6234 J1.5697;
N2910 X-33.5589 Y7.3618 I5.4139 J.9043;
N2920 X-33.3031 Y9.1924 I6.8293 J-.0213;
N2930 X-32.7737 Y10.8701 I27.2692 J-7.6827;
N2940 G3 X-32.2805 Y12.6596 I-12.9309 J4.5265
N2950 X-32.0164 Y14.5067 I-15.4668 J3.1535;
N2960 X-31.8919 Y16.9463 I-38.2256 J3.1746;
N2970 X-31.9707 Y19.3659 I-23.404 J.4485;
N2980 X-32.4273 Y21.8699 I-13.2227 J-1.1174;
N2990 X-33.2876 Y24.3079 I-19.8058 J-5.6183;
N3000 X-34.7509 Y27.4426 I-45.9381 J-19.5347;
N3010 G2 X-36.1725 Y30.6946 I26.6926 J13.6055
N3020 X-35.6264 Y31.3615 I.4692 J.1728;
N3030 X-31.2826 Y30.1195 I-2.8087 J-18.0415;
N3040 X-27.2453 Y28.2179 I-23.1983 J-54.4872;
N3050 X-20.8444 Y24.601 I-46.4006 J-89.5888;
N3060 X-14.7898 Y20.4088 I-35.1629 J-57.2527;
N3070 X-14.3809 Y20.0874 I-28.0554 J-36.1164;
N3080 G1 X-14.0697 Y20.4788;
A0;
M03;
N3100 G0 Z0;
A0;
N3110 M03;
```

Şekil 5.15. Uygulama 3 M-G kodları 7.



Şekil 5.16. Uygulama 4.

```
G1 X0 Y0 F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X5 Y0 F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X10 Y0  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X15 Y0 F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X20 Y0 F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X25 Y0  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X30 Y0 F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X35 Y0 F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
```

```
G1 X40 Y0  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X45 Y0  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X50 Y0 F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000
M03;
G1 X55 Y0  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X60 Y0  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X65 Y0  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X70 Y0  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X75 Y0 F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
```

```
G1 X80 Y0  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X85 Y0  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X90 Y0  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X95 Y0  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X100 Y0  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X95 Y-5  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X90 Y-5  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X85 Y-5  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
```

```
G1 X80 Y-5  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X75 Y-5  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X70 Y-5  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X65 Y-5  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X60 Y-5  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X55 Y-5  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X50 Y-5  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X45 Y-5  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
```

```
G1 X40 Y-5  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03
G1 X35 Y-5  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X30 Y-5  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X25 Y-5  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X20 Y-5  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X15 Y-5  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X10 Y-5  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X5 Y-5  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
```

Şekil 5.17. Uygulama 4 M-G kodları 1.

G1 X10 Y-10 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X15 Y-10 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X20 Y-10 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X25 Y-10 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X30 Y-10 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X35 Y-10 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X40 Y-10 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X45 Y-10 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03;	G1 X50 Y-10 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X55 Y-10 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X60 Y-10 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X65 Y-10 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X70 Y-10 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X75 Y-10 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X80 Y-10 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X85 Y-10 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03;	G1 X90 Y-10 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X85 Y-15 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X80 Y-15 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X75 Y-15 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X70 Y-15 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X65 Y-15 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X60 Y-15 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X55 Y-15 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03;	G1 X50 Y-15 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X45 Y-15 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X40 Y-15 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X35 Y-15 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X30 Y-15 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X25 Y-15 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X20 Y-15 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X15 Y-15 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03;	G1 X20 Y-20 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X25 Y-20 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X30 Y-20 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X35 Y-20 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X40 Y-20 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X45 Y-20 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X50 Y-20 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X55 Y-20 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03;

Şekil 5.18. Uygulama 4 M-G kodları 2.

G1 X60 Y-20 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X65 Y-20 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X70 Y-20 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X75 Y-20 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X80 Y-20 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X75 Y-25 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X70 Y-25 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X65 Y-25 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03;	G1 X60 Y-25 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X55 Y-25 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X50 Y-25 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X45 Y-25 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X40 Y-25 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X35 Y-25 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X30 Y-25 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X25 Y-25 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03;	G1 X30 Y-30 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X35 Y-30 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X40 Y-30 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X45 Y-30 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X50 Y-30 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X55 Y-30 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X60 Y-30 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X65 Y-30 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03;	G1 X70 Y-30 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X65 Y-35 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X60 Y-35 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X55 Y-35 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X50 Y-35 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000 M03; G1 X45 Y-35 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X40 Y-35 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X35 Y-35 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03;	G1 X40 Y-40 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X45 Y-40 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X50 Y-40 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X55 Y-40 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X60 Y-40 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X55 Y-45 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X50 Y-45 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X45 Y-45 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03;

Şekil 5.19. Uygulama 4 M-G kodları 3.

G1 X50 Y-50 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X55 Y-55 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X50 Y-55 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X45 Y-55 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X40 Y-60 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X45 Y-60 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X50 Y-60 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X55 Y-60 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03;	G1 X60 Y-60 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X65 Y-65 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X60 Y-65 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X55 Y-65 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X50 Y-65 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000 M03; G1 X45 Y-65 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X40 Y-65 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X35 Y-65 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03;	G1 X30 Y-70 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X35 Y-70 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X40 Y-70 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X45 Y-70 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X50 Y-70 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X55 Y-70 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X60 Y-70 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X65 Y-70 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03;	G1 X70 Y-70 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X75 Y-75 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X70 Y-75 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X65 Y-75 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X60 Y-75 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X55 Y-75 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X50 Y-75 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X45 Y-75 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03;	G1 X40 Y-75 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X35 Y-75 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X30 Y-75 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X25 Y-75 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X20 Y-80 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X25 Y-80 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X30 Y-80 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X35 Y-80 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03;

Şekil 5.20. Uygulama 4 M-G kodları 4.

G1 X40 Y-80 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X45 Y-80 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X50 Y-80 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X55 Y-80 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X60 Y-80 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X65 Y-80 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X70 Y-80 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X75 Y-80 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03;	G1 X80 Y-80 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X85 Y-85 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X80 Y-85 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X75 Y-85 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X70 Y-85 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X65 Y-85 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X60 Y-85 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X55 Y-85 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03;	G1 X50 Y-85 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X45 Y-85 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X40 Y-85 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X35 Y-85 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X30 Y-85 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X25 Y-85 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X20 Y-85 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X15 Y-85 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03;	G1 X10 Y-90 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X15 Y-90 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X20 Y-90 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X25 Y-90 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X30 Y-90 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X35 Y-90 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X40 Y-90 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X45 Y-90 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03;	G1 X50 Y-90 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X55 Y-90 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X60 Y-90 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X65 Y-90 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X70 Y-90 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X75 Y-90 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X80 Y-90 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03; G1 X85 Y-90 F1000; G1 M05 A0.6 F1000; G1 A0 F10000; M03;

Şekil 5.21. Uygulama 4 M-G kodları 5.

```
G1 X95 Y-95  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X90 Y-95  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X85 Y-95  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X80 Y-95  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X75 Y-95  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X70 Y-95  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X65 Y-95  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X60 Y-95  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
```

```
G1 X55 Y-95  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X50 Y-95  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X45 Y-95  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X40 Y-95  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03
G1 X35 Y-95  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X30 Y-95  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X25 Y-95  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X20 Y-95  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
```

```
G1 X15 Y-95  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X10 Y-95  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X5 Y-95  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X0 Y-100 F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X5 Y-100  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X10 Y-100  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X15 Y-100 F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X20 Y-100 F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
```

```
G1 X25 Y-100  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X30 Y-100 F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X35 Y-100  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X40 Y-100  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X45 Y-100  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X50 Y-100 F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000
M03;
G1 X55 Y-100  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X60 Y-100  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
```

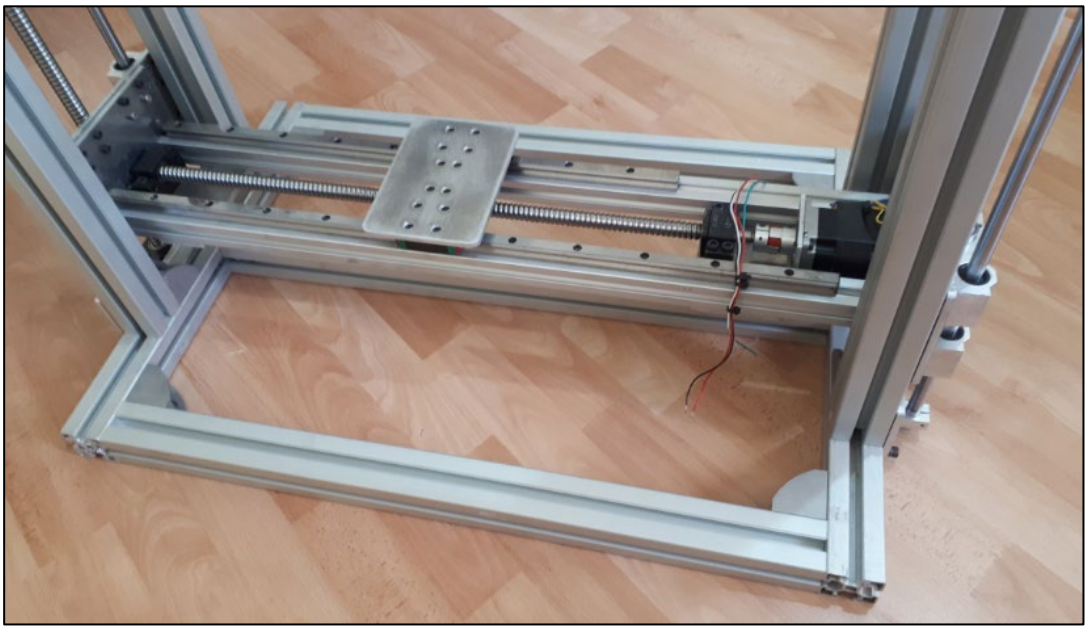
```
G1 X65 Y-100  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X70 Y-100  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X75 Y-100  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X80 Y-100  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X85 Y-100  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X90 Y-100  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X95 Y-100  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
G1 X100 Y-100  F1000;
G1 M05 A0.6 F1000;
G1 A0 F10000;
M03;
```

Şekil 5.22. Uygulama 4 M-G kodları 6.

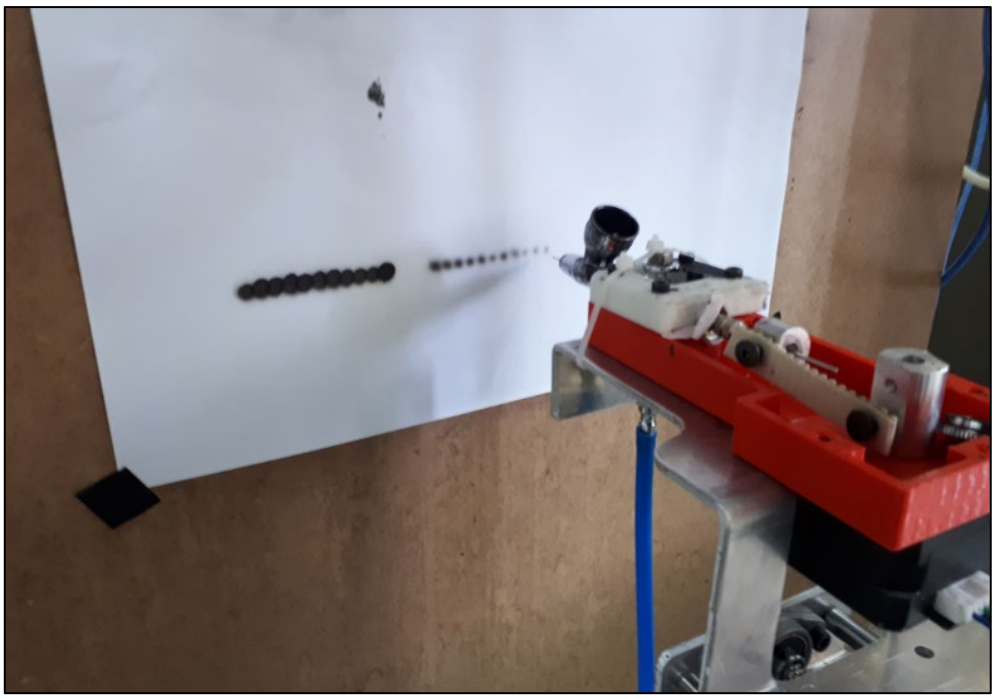
5.4. CNC HAVA FIRÇASI PROTOTİPİ



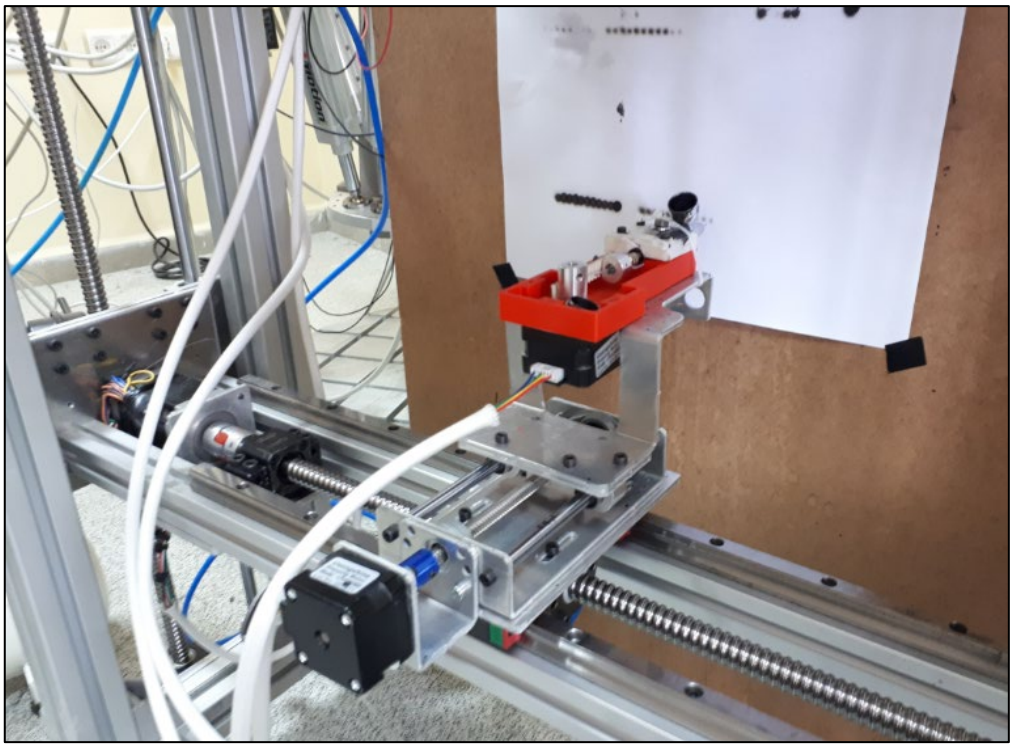
Şekil 5.23. Taşıyıcı gövde montaj görüntüsü.



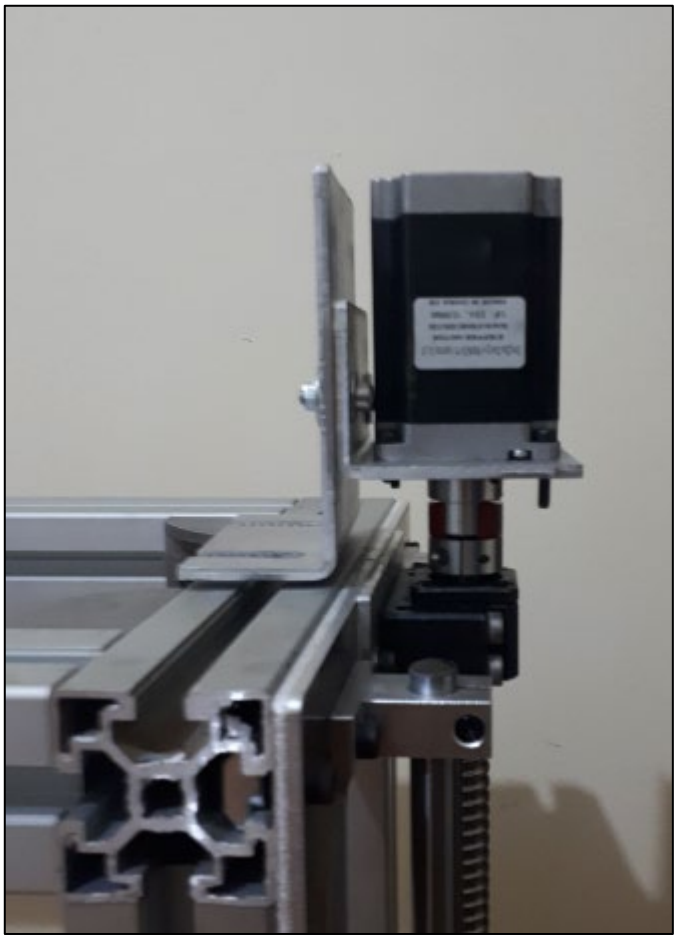
Şekil 5.24. X ekseni step motor bağlantısı.



Şekil 5.25. Tetikleme ekseni step motor bağlantısı.



Şekil 5.26. Tetikleme ekseni ve X ekseni bağlantısı.



Şekil 5.27. Y ekseni step motor bağlantısı.



Şekil 5.28. CNC hava fırçası ön görünüş.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında CNC hava fırçası tasarımı ve prototip çalışması gerçekleştirilmiştir. Hava fırçası boya tabancası ile 3 eksenli bir kartezyen mekanik bir sistem yazılım ve donanımsal olarak entegre edilerek bir prototip ortaya çıkarılmıştır. İmalat için gerekli tasarım kriterleri belirlenmiş ve bu tasarım kriterleri mekanik, elektronik ve yazılım ana başlıklarıyla irdelenmiştir.

Tezgâh tasarımı Solidworks adlı tasarım programıyla mekanik olarak modellenmiş olup, gerekli malzeme seçimleri de yine aynı program üzerinden yapılmıştır. Seçilen malzemelerin mühendislik yaklaşımları içinde bu programdan yararlanılmıştır. Sistem için gerekli elektronik parçalar seçilmiş ve mekanik ile birleştirilerek bir bütün haline gelmiştir. Step motorlar, sürücüler ve kontrol kartı haberleşmeleri sağlanmıştır.

Yazdırılacak olan resimler için ise özel bir yazılım programı tasarlamıştır. Bu yazılım programı, seçilen resimlerin önce gri seviyede noktasal piksellere ayrılması ve ardından karakteristik özelliklerine göre CNC programların oluşturulmasını sağlamıştır.

Oluşturulan CNC programları Mach3 adlı CNC kontrol programı yardımı ile düzenlenip, mekanik kısma eksen hareketleri olarak aktarılmasını sağlamıştır. Step motor ve sürücü hareketleri, swich kontrolleri, ilerleme hızları vb. aşamalar da Mach3 programından kontrol edilmiştir.

Makinenin teorik hassasiyeti 0.00625 mm'dir. Tezgâhı kontrol eden programın hassasiyeti ise 0.001 mm'dir. X ekseni standart sapması 0,4202 mm, Y ekseni standart sapması 0,4033 mm ve tetikleme ekseni standart sapması 0,2749 mm'dir. Makine tasarımda planlanan şekilde üretilmiş ve sorunsuz olarak çalışmıştır, daha iyi olabileceği yanlar vardır. Bunlar şunlardır:

- Tetikleme ekseninde oluşabilecek kaçıklıkları daha rijit bir sistem ile önlenebilir.
- Y eksenlerinin yataklamalarında X ekseninde olduğu gibi lineer arabalar kullanılabilir. Sistem daha rijit ve sessiz çalışmasına neden olacaktır.
- Uygulama esnasında seçilen boya için daha profesyonel bir seçim yapılabilir.
- Eksen hareket kartı daha profesyonel seçilip, eksen hızları arttırılabilir.

- Hava tabancası daha hassas ve kaliteli seçilerek, tıkanmaların önüne geçilebilir.
- Tabla üzerine yapıştırılan kağıt ve kumaş gibi malzemelerin daha kolay tutturulabilmesi için özel bir aparat tasarlanabilir.

Sonuç olarak sanal olarak tasarlanmış bir sistem, imalat ile gerçeğe dönüştürülmüştür.

7. KAYNAKLAR

[1] Ö. Karabey, "Prototip 3 eksenli cnc freze tasarımı ve uygulaması," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye, 2016.

[2] S. Öngir, "Bilgisayar kontrollü kartezyen robot," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2011.

[3] O. Akpınar, "Görüntü denetimli üç eksen kartezyen robot," Yüksek lisans tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2007.

[4] M. Yanıkören, "Programlanabilir mantıksal kontrollü kartezyen robot eğitim seti," Yüksek lisans tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2010.

[5] M. Emin Aktan, "Çok amaçlı 3 eksen kartezyen robot sisteminin tasarımı ve imalatı," Yüksek lisans tezi, Mekatronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2012.

[6] R. Kurşun, "Bresenham çizgi algoritması ile üç eksenli kartezyen robot tasarım ve uygulaması," Yüksek lisans tezi, Bilgisayar Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, Türkiye, 2013.

[7] N. Akçura,"Eğitim amaçlı kullanılacak bir üç eksenli dik işlem cnc makinası dizaynı ve imalatı," Yüksek lisans tezi, Mekatronik Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2015.

[8] İ. Pınar,"Lazer kesim makineleri için görüntü işleme uygulamaları," Yüksek lisans tezi, Elektrik-Elektronik, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2014.

[9] T. Bozkurt,"Üç eksenli cnc takım tezgâh tasarımı ve imalatı," Yüksek lisans tezi, Mekatronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat Bozok Üniversitesi, Yozgat, Türkiye, 2019.

[10] A. Gümülcine, "Airbrush tekniği ve fotorealizm'de kullanımı," Yüksek lisans tezi, Resim-İş Eğitimi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Trakya Üniversitesi, Edirne, Türkiye, 2013.

[11] M. Adeldayem Ahmed Sultan, "An investigation into the history of the airbrush and the impact of the conservation treatment of airbrushed canvas paintings," Doctoral thesis, School of Arts and Social Sciences, Northumbria University, Newcastle, England, 2015.

[12] N. Kemal Sarıkaval, "Airbrush tekniği ile afiş çalışmaları," Yüksek lisans tezi, Güzel Sanatlar Eğitimi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 1988.

[13] J. Eoff, "Paint with air," Master thesis, In the College of the Fine Applied Arts, Rochester, Instute of Technology, Rochester, USA, 1977.

[14] J. Konieczny, “Airbrush simulation for artwork and computer modeling,” Doctoral thesis, Digital Technology Center, Department of Computer Science and Engineering, University of Minnesota, Minnesota, USA, 2010.

[15] A. Canko, “Airbrushing and texture,” Master thesis, Department of Graphic Design, Instute of Fine Arts, Bilkent University, Ankara,Turkey, 1994.

[16] J. Konieczny, “Application, rendering and display of atomotive paint,” Doctoral thesis, Department of Computer and Information Science, University of Minnesota, Minnesota, USA, 2009.

[17] J. Luk, “Computer-controlled airbrush with motion tracking,” Doctoral thesis, Department of Computer Science, University of British Columbia, Vancouver, Canada, 2010.

[18] T. Achituv,“Computer mediated expression in paint,” Master thesis, Media Arts and Sciences Shool of Architecture and Planning, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA, 2016.

[19] E. Erpolat, “Robotik sistemlerde görüntü işleme,” Yüksek lisans tezi, Mekatronik Programı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2008.

[20] F. Arslan, “İmalat endüstrisine yönelik görüntü işleme ile robotkol oryantasyon yazılımı geliştirme,” Yüksek lisans tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, Türkiye, 2015.

[21] Ö. Demir, “Matlab gereçleri ile görüntü işleme uygulamaları,” Yüksek lisans tezi, Bilgisayar ve Kontrol Eğitim Programı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2006.

[22] A. Kulaksız, “Görüntü işleme destekli paralel robot kontrolü,” Yüksek lisans tezi, Mekatronik Programı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.

[23] H. Çevikelli, “Makine imalatında görüntü işleme teknolojisi kullanarak kalitenin kontrol edilmesi için prototip bir eğitim setinin geliştirilmesi,” Yüksek lisans tezi, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye, 2010.

[24] F. Ahmet Şenel, “Görüntü işleme ve beş eksenli robot kol ile üretim bandında nesne denetimi,” Yüksek lisans tezi, Bilgisayar Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2013.

[25] S. Culha,“CNC torna tezgâhları için kamera görüntüsü ile otomatik parça programlarının oluşturulması,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2012.

[26]Anonim, (2019, 1 Nisan). [Online]. Erişim: http://www.airbrusmuseum.com

[27] E. Lacasa, J. L. Santolaya, L. Fuentes, A. C. Majarena, “Implementing Sustainability Criteria in Product Development, ” *Procedia Engineering*, c.1, s. 132, ss. 1029-1036, 2015.

[28] M. Dinçel. (2019, 1 Haziran). [Online]. Erişim: http://www.turkcadcam.net

[29] D. Kavala Şen, “Beş eksenli CNC freze tasarımı ve kontrolü,” Yüksek lisans tezi, Mekatronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2010.

[30] F. Yılmaz,“ AC ve DC Servo Sistem Eğitim Setinin Gerçekleştirilmesi,” Yüksek lisans tezi, Elektrik- Elektronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2008.

[31]Anonim, (2019, 15 Mayıs). [Online]. Erişim: http://www.robolinkmarket.com

[32] İ.Çayıroğlu, Görüntü İşleme, *Ders Notları*, Karabük, 2019.

[33] F. Esmeray, “Açık kaynak kodlu görüntü işleme uygulamaları,” Yüksek lisans tezi, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2014.

[34] Anonim, (2019, 1 Mart). [Online]. Erişim: http://www.cncmakinatezgahblog.com

[35] Anonim, (2018, 1 Ocak). [Online]. Erişim: http://www.wikipedia.org

[36] Anonim, (2019, 10 Mayıs). [Online]. Erişim: http://www.designworldonline.org

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Emir BAL

Doğum Tarihi ve Yeri :09.04.1992 / ŞİŞLİ

Yabancı Dili :İngilizce

E-posta :emirbal0681@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	İmalat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2019
Lisans	İmalat Mühendisliği	Gazi Üniversitesi	2015
Lise	Makine Teknolojisi	Düzce Anadolu Teknik Lisesi	2010