

**NÜMERİK KONTROLLÜ ÇOKLU PARALEL
KİNEMATİK MEKANİZMALAR İÇİN ALGORİTMA
GELİŞTİRME**

**2017
DOKTORA TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

ELMAS AŞKAR AYYILDIZ

**NÜMERİK KONTROLLÜ ÇOKLU PARALEL KİNEMATİK
MEKANİZMALAR İÇİN ALGORİTMA GELİŞTİRME**

Elmas AŞKAR AYYILDIZ

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü**

Makine Eğitimi Anabilim Dalında

Doktora Tezi

Olarak Hazırlanmıştır.

KARABÜK

Aralık 2017

Elmas AŞKAR AYYILDIZ tarafından hazırlanan "NÜMERİK KONTROLLÜ ÇOKLU PARALEL KİNEMATİK MEKANİZMALAR İÇİN ALGORİTMA GELİŞTİRME" başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç Dr. Metin KAYA

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir. 05/12/2017

Unvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mustafa YAŞAR (KBÜ)



Üye : Prof. Dr. Hamit SARUHAN (DÜ)



Üye : Doç. Dr. Arif ÖZKAN (KOÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Metin KAYA (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Ali KALYON (KBÜ)



15/12/2017

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.





“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Elmas AŞKAR AYYILDIZ

ÖZET

Doktora Tezi

NÜMERİK KONTROLLÜ ÇOKLU PARALEL KİNEMATİK MEKANİZMALAR İÇİN ALGORİTMA GELİŞTİRME

Elmas AŞKAR AYYILDIZ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Metin KAYA

Aralık 2017, 88 sayfa

Bu tez çalışmasında paralel robot ailesinden biri olan 3 eksenli bir lineer delta robotun tasarımı, prototipi ve nümerik kontrollü algoritma geliştirilmiştir.

Tasarımı yapılan lineer delta robotun kinematik denklemleri çıkarılmış ve lineer delta robotun kontrolünün gerçekleştirilmesi için nümerik kontrollü bir algoritma geliştirilmiştir. Algoritmayla kartezyen yapıdaki G kodları, robotun kinematik denklemleri ile tasarlanan bir arayüz tarafından delta yapısına dönüştürülmüştür. Tasarlanan arayüz G0, G1, G2 ve G3 kodlarının hareket dönüşümleri incelenmiş ve lineer delta robotun hareket yapısına göre programlanmıştır.

Prototipi yapılan lineer delta robotun ISO 9283 standardına göre ortalama doğruluk ve tekrarlanabilirlik parametreleri Microscribe G2X koordinat ölçme cihazı kullanılarak robotun performansı ölçülmüştür. Lineer delta robot için deney tasarımı düzeneği kurulmuş ve robot işleme tezgâhı haline getirilmiştir. Geliştirilen algoritmanın performansı deneysel çalışmalar ile ölçülmüştür.

Performans deneyleri X eksenini, Y eksenini, X ve Y eksenleri için doğrusal hareketin doğrusallığı, X ve Y eksenlerindeki dairesel hareketin doğrusallığı ve Z eksenini için doğrusallığı için deney numunesi ile işleme yapılmıştır. İşlenen deney numuneleri koordinat ölçme cihazı ile ölçülmüş ve hata oranları tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Lineer delta robot, numerik kontrol, robot işleme tezgahı.

Bilim Kodu : 708.3.029

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

ALGORITHM DEVELOPMENT FOR NUMERICAL CONTROLLED MULTI-PARALLEL KINEMATIC MECHANISMS

Elmas AŞKAR AYYILDIZ

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Education

Thesis Advisor:

Asst. Prof. Dr. Metin KAYA

December 2017, 88 pages

In this thesis study, the design, prototype and numerical control algorithm of a 3 axis linear delta robot which is one of the parallel robot families has been developed.

The kinematic equations of the robot design linear delta robot have been removed and a numerically controlled algorithm has been developed to perform the control of the linear delta robot. This algorithm, G codes in Cartesian structure, was transformed delta structure by interface designed with kinematic equations of the robot. Motion conversions of G0, G1, G2 and G3 codes were examined in the designed interface and for motion structure of the linear delta robot were programmed.

According to ISO 9283 standard, performance of the prototyped linear delta robot was measured by Microscribe G2X coordinate measuring device using average accuracy and repeatability parameters. Experimental design was established for linear delta robot and the robot was transformed into a milling machine. The performance of the developed algorithm was measured by experimental studies.

Performance experiments were carried out with test specimens' linearity of linear motion, linearity of circular motion for X and Y axes, and linearity for Z axis. The test specimens were measured with the coordinate measuring device and the error rates were determined.

Key Word : Linear delta robot, numerical control, robot milling machine.

Science Code : 708.3.029

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Metin KAYA'ya ve emeği geçen tüm hocalarıma sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Çalıőmalarım süresi boyunca manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda olan aileme, eőim Mustafa AYYILDIZ'a ve kızım Feyza AYYILDIZ'a tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	2
1.2. ÇALIŞMANIN AMACI.....	15
BÖLÜM 2	16
GENEL BİLGİLER	16
2.1. PARALEL KİNEMATİK MEKANİZMALAR	16
2.2. PARALEL KİNEMATİK MEKANİZMA TÜRLERİ.....	18
2.2.1. Üç Serbestlik Dereceli Triglide Robot	18
2.2.2. Üç Serbestlik Dereceli Lineer Delta Robot	19
2.2.3. Altı Serbestlik Dereceli Hexaglide Robot	20
2.2.4. Altı Serbestlik Dereceli Hexapod Robot	21
2.3. NÜMERİK KONTROL PROGRAMLAMA.....	21
2.3.1. Mutlak ve Artımsal Koordinatlar.....	23
2.3.2. CNC Sıfır ve Referans Noktaları	24
2.3.3. Kontrol Tipleri	24
2.3.3.1. Noktadan Noktaya Kontrol	25
2.3.3.2. Doğrusal Hareket Kontrolü.....	26

	Sayfa
2.3.3.3. Dairesel Hareket Kontrolü	26
2.4. PROGRAM YAPISI VE G KODLARI	27
BÖLÜM 3	30
LİNEER DELTA ROBOTUN PROTOTİPİ VE PERFORMANSI	30
3.1. LİNEER DELTA ROBOT MEKANİZMASININ TASARIMI	30
3.2. LİNEER DELTA ROBOT MEKANİZMASININ KİNEMATİĞİ.....	33
3.3. ROBOTUN ÇALIŞMA ALANI	36
3.4. ROBOTUN DOĞRULUĞU VE TEKRARLANABİLİRLİĞİ	38
3.4.1. Pozisyon Doğruluğunun Hesaplanması	40
3.4.2. Pozisyon Tekrarlanabilirliğinin Hesaplanması.....	40
BÖLÜM 4	43
LİNEER DELTA ROBOT KONTROLÜ İÇİN ALGORİTMA GELİŞTİRME.....	43
4.1. LİNEER DELTA ROBOT KONTROL YAPISI	43
4.2. NÜMERİK KONTROLLÜ ALGORİTMA GELİŞTİRME	44
BÖLÜM 5	49
PERFORMANS DENEYLERİ.....	49
5.1. DENEY DÜZENİĞİ TASARIMI.....	49
5.2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	50
5.2.1. X Eksenindeki Doğrusal Hareketin Performansı.....	50
5.2.2. Y Eksenindeki Doğrusal Hareketin Performansı.....	53
5.2.3. X ve Y Eksenlerinin Doğrusal Hareketin Performansı.....	55
5.2.4. X ve Y Eksenlerdeki Dairesel Hareketin Performansı	58
5.2.5. Deneysel Çalışmaların Değerlendirilmesi	60
BÖLÜM 6	62
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	62
8.1. SONUÇLAR	62
8.2. ÖNERİLER	66

	<u>Sayfa</u>
KAYNAKLAR	67
EK AÇIKLAMALAR A. GELİŞTİRİLEN ARAYÜZ PROGRAM KODLARI.....	73
ÖZGEÇMİŞ	86



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Stewart- Gough platform mekanizması.	17
Şekil 2.2. Üç serbestlik dereceli Triglide parallel robot.....	19
Şekil 2.3. Üç serbestlik dereceli lineer delta robot.....	20
Şekil 2.4. Altı serbestlik dereceli hexaglidle robot.	20
Şekil 2.5. Gough- Stewart platform mekanizması.	21
Şekil 2.6 . Kartezyan koordinat sistemi.	23
Şekil 2.7. Üç eksenli koordinat sistemi.....	23
Şekil 2.8. Mutlak ve artımsal koordinat sistemi.....	24
Şekil 2.9. Noktadan noktaya hareket.....	25
Şekil 2.10. Noktadan noktaya hareket uygulaması.	25
Şekil 2.11. Doğrusal interpolasyon.	26
Şekil 2.12. Doğrusal interpolasyon uygulaması.....	26
Şekil 2.13. Dairesel interpolasyon.	27
Şekil 2.14. Dairesel interpolasyon uygulaması.	27
Şekil 2.15. Program kod satırı.....	28
Şekil 3.1. Tasarlanan lineer delta robot a) katı modeli ve b) prototipi.....	30
Şekil 3.2. Lineer modülün ayrıntılı teknik resmi.	31
Şekil 3.3. Küresel mafsal ve teknik resmi.....	31
Şekil 3.4. Step motor ve step motor sürücüsü.....	32
Şekil 3.5. AKZ250 USB kontrol kartı.....	32
Şekil 3.6. Lineer delta robotun geometrik tanımlaması.	33
Şekil 3.7. Lineer delta robotun bağlantı grafiği.	34
Şekil 3.8. Lineer delta robotun a) çalışma hacmi, b) çalışma alanı.	37
Şekil 3.9. Doğruluk ve tekrarlanabilirlik.....	38
Şekil 3.10. Pozisyon doğruluğu ve pozisyon tekrarlanabilirliği.	39
Şekil 3.11. Microscribe G2X koordinat alma cihazı ve sisteme montajı.....	41
Şekil 3.12. Küpün eğik ölçüm düzlemindeki P1-P5 pozları.	41
Şekil 4.1. Delta robotun kontrol akış diyagramı.	44

Sayfa

Şekil 4.2. CAM ile çıkarılmış kod örneği.	45
Şekil 4.3. Geliştirilen arayüz programı.	46
Şekil 4.4. Geliştirilen arayüz sisteminin akış diyagramı.	47
Şekil 4.5. G2 ve G3 dairesel interpolasyonlarının parametreleri.	47
Şekil 5.1. Deney düzeneği.	49
Şekil 5.2. X eksenini için deneysel çalışma a) deney numunesi, b) veri alma.	51
Şekil 5.3. X eksenini için G kodları a) kartezyen, b) lineer delta.	52
Şekil 5.4. X eksenini doğrusallığının Y eksenini hata grafiği.	52
Şekil 5.5. X eksenini doğrusallığının Z eksenini hata grafiği.	53
Şekil 5.6. Y eksenini için deneysel çalışma.	53
Şekil 5.7. Y eksenini için G kodları a) kartezyen, b) lineer delta.	54
Şekil 5.8. Y eksenini doğrusallığının X eksenini hata grafiği.	54
Şekil 5.9. Y eksenini doğrusallığının Z eksenini hata grafiği.	55
Şekil 5.10. Y eksenini için deneysel çalışma.	56
Şekil 5.11. X ve Y eksenini için G kodları a) kartezyen, b) lineer delta.	56
Şekil 5.12. X ve Y eksenini doğrusallığının hata grafiği.	57
Şekil 5.13. X ve Y eksenini doğrusallığının Z eksenini hata grafiği.	57
Şekil 5.14. Dairesel hareket için deneysel çalışma.	58
Şekil 5.15. Dairesel hareket için G kodları a) kartezyen, b) lineer delta.	59
Şekil 5.16. Dairesel hareketin X ve Y eksenleri için hata grafiği.	59
Şekil 5.17. Dairesel hareketin tüm eksenler için hata grafiği.	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Paralel kinematik mekanizmaların avantaj ve dezavantajları.....	17
Çizelge 2.2. G kod ve fonksiyonları.....	29
Çizelge 3.1. Lineer delta robot için kullanılan parametreler.....	36
Çizelge 3.2. P1-P5 noktaları.....	42
Çizelge 3.3. P1-P5 noktaları için ortalama doğruluk ve tekrarlanabilirlik.	42
Çizelge 5.1. Kesici takımın parametreleri.....	50
Çizelge 5.1. X ve/veya Y eksenlerinin hataları için deneysel veriler.	60
Çizelge 5.2. X ve/veya Y eksenlerinin Z ekseni hataları için deneysel veriler.....	61

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

SD	: Serbestlik Derecesi
L	: Kinematik zincirdeki rot uzunluğu
α_i	: Hareketli platform ile sabit platform arasındaki bağlantı açısı
R_0	: Sabit platformun merkezi
R_p	: Hareketli platformun merkezi
R_b	: Sabit platformun yarıçapı
R_n	: Hareketli platformun yarıçapı
A_i	: Lineer aktuatörle paralel rot bağlantı elemanları
B_i	: Hareketli platform bağlantı elemanları
q_i	: Lineer aktüatör bağlantı değişkenleri
O_0	: Sabit platform referans çerçevesi
P	: Hareketli platform referans çerçevesi
AP_p	: Pozisyon doğruluğu
RP_1	: Pozisyon tekrarlanabilirliği
x_1, y_1, z_1	: radüsün başlangıç koordinatları
x_2, y_2, z_2	: radüsün bitiş koordinatları
x_c, y_c, z_c	: dairesel interpolasyonun merkez koordinatları
r	: dairesel interpolasyonun yarıçapı
α_0	: dairesel interpolasyonun başlangıç açısı
α	: dairesel interpolasyonun açısı
kW	: kilowatt
mm	: milimetre

KISALTMALAR

CNC : Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Nümerik Kontrol)

PKM : Paralel Kinematik Mekanizmalar

CAD : Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)

PC : Personel Computer (Kişisel Bilgisayar)

CAM : Computer Aided Manufacturing (Bilgisayar Destekli İmalat)

NC : Numeric Control (Sayısal Kontrol)

MINT : Basic Tabanlı Programlama Dili

CMM : Coordinate Measuring Machine (Koordinat Ölçüm Cihazı)



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Son yıllarda, paralel kinematik mekanizmalar, yalnızca robot manipulatörleri değil, aynı zamanda tezgâh araçları olarak potansiyel uygulamaları nedeniyle akademik ve endüstriyel topluluklardan büyük ilgi görmektedir. Genel olarak, geleneksel seri robotların ve paralel robotların performansını karşılaştırmak için çalışma alanı, yük ve robot kütlesi arasındaki oran, doğruluk ve dinamik davranışlar kullanılan kriterlerdir. Paralel robotlar, daha yüksek kütle oranları, üstün doğruluk ve daha fazla sertlik ve daha iyi dinamik performans sağlayan niteliklerinin yanısıra temel dezavantajı ise nispeten küçük bir çalışma alanına sahip olmasıdır (Hu, 2008).

Paralel yapılar, robotik toplumunda 80'lerde keşfedildi (Weck and Staimer, 2002). Paralel kinematik mekanizma çeşidi olan Delta robot, sadece endüstride değil üniversite laboratuvarlarında büyük ilgi görmüştür. Endüstriyel robotun tasarım süreci, uygulama ihtiyaçları tarafından talep edilen belirli çalışma özellikleri ile belirlenir. Çalışma özellikleri belirlendiğinde, endüstriyel bir robotun tasarım süreci, kinematik optimizasyonu, yörünge analizi, dinamik optimizasyon ve kontrol sistemi tasarımı gibi aşamalardan oluşmaktadır (Guangfeng vd., 2012).

Nümerik kontrol endüstrideki gelişimini Amerikan Hava Kuvvetlerine ve ilk zamanların havacılık ve uzay endüstrisine borçludur. Takım tezgâhlarının ve diğer ekipmanların mekanik hareketinin alfasayısal veri kodlu programlar tarafından kontrol edildiği bir programlanabilir otomasyon çeşididir. Nümerik kontrolün doğruluk ve tekrarlanabilirlik, işlemsiz geçen tezgâh zamanının azaltılması ve karmaşık geometrili parçaların işlenebilirliği gibi avantajları artarak üretim sektöründe yer edinmiştir (Groover, 2016).

Bu tez çalışmasında, ilk bölümde paralel kinematik mekanizmalardan 3 serbestlik dereceli lineer delta robot, nümerik kontrol ve kalibrasyon hakkında genel bilgi verilerek çalışmanın amacı literatür araştırmasına bağlı olarak belirtilmiştir. İkinci bölümde paralel kinematik mekanizmalar ve çeşitleri, nümerik programlama, G kodları konuları anlatılmıştır. Üçüncü bölümde 3 serbestlik dereceli lineer delta robot tasarımı ve prototipi, kinematiği, çalışma alanı, doğruluk ve tekrarlanabilirlik parametreleri incelenmiştir. Dördüncü bölümde 3 serbestlik dereceli lineer delta robotun nümerik kontrolü, kod çevrimleri ve algoritma çalışmaları yapılmıştır. Beşinci bölümde ise lineer delta robotun doğrusal, açısız, dairesel testleri yapılmıştır. Altıncı bölümde ise çalışmanın amacına uygun bir biçimde bulgular literatüre göre tartışılmıştır.

1.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Paralel kinematik mekanizmalar tıbbi operasyonlarda, gıda sektöründe al-yerleştir robotu olarak, uçuş simülatörlerinde vb. endüstriyel uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Literatürde, paralel kinematik mekanizmaların performansları üzerine yapılmış çalışmalar hibrit paralel robot sistemleri, kinematik denklemleri, modifiye edilmiş CNC işleme tezgâhları, görme tabanlı robot uygulamalarıyla bağlantılı olarak bulunmaktadır.

Fassi and Wiens (2000), yaptıkları çalışmada, üretim için paralel kinematik işleme alanında araştırma konularının gözden geçirilmesini ve geleneksel çok eksenli işleme sanatının durumuna paralel bir bakış sunmaktadır. Paralel kinematik makineler ve geleneksel işleme merkezleri tarafından karşılaşılan sorunların benzerliklerini ve farklılıklarını tartıştıktan sonra, mevcut prototiplerin araştırılması üzerine yoğunlaşmışlardır.

Company and Pierrot (2002), yaptıkları çalışmada, bir sondaj bantlama makinesi aracı olarak kullanılmak üzere tasarlanmış 3 eksenli paralel kinematik mekanizmaya ayrılmış araştırma çalışmalarını sunmaktadır. Yöntem, uygun bir paralel mekanizma seçer. Ardından, pozisyon, kinematik, statik, dinamik ve basitleştirilmiş rijitlik ile doğruluk değerlendirme modelleri de dahil olmak üzere tasarım için gerekli tüm

modelleri türetir. Son olarak etkinliklerini, hesaplama sonuçlarını ve gerçek bir makineye uygulamaları yoluyla deneysel çalışmalar yapmışlardır.

Weck and Staimer (2002), yaptıkları çalışmada, paralel kinematik mekanizmaların, son zamanlarda, kapalı kinematik döngüler nedeniyle yüksek yapısal sertliğe sahip yüksek hareket dinamikleri ve doğruluktaki kavramsal potansiyelleri nedeniyle makine aletleri olarak dikkat çekmiştir. Makine imalatçılarının ve Paralel Kinematik Mekanizmalara (PKM) katılan son kullanıcıların girdileri ile paralel kinematiklerinin gelişimini, pratik uygulamalarını ve klasik takım tezgâhlarına kıyasla performanslarını incelemişlerdir.

Geldart vd.(2003), yaptıkları çalışmada, üç çok farklı makinenin performansını karşılaştırmak için kullanılan bir yaklaşım önermişlerdir. Seri kinematik 5 eksenli işleme merkezini, seri kinematik 3 eksenli işleme merkezini ve paralel kinematik 6 eksenli işleme merkezini karşılaştırmak için yüzey kalitesi ve geometrik doğruluk parametrelerini kullanmışlardır.

Merlet (2006), bu çalışmada paralel robotları, doğruluk, hız, sertlik ve büyük yükleri maniple etme becerisi açısından çok iyi performans gösteren kapalı döngü mekanizmalar olarak tanımlamıştır. Bunlar, astronomiden uçuş simülatörlerine kadar çok sayıda uygulamada kullanılmış ve makine aleti endüstrisi alanında giderek popüler hale gelmiştir. Bu kitapta bu tür mekanizmaların analiz ve sentezi ile ilgili en yeni sonuçların sentezinden bahsedilmiştir.

Stan vd.(2008), yaptıkları bu çalışmada, ISOGLIDE3 medikal paralel robotun modelleme, tasarım ve kontrol benzetimlerini sunmuşlardır. 3 serbestlik dereceli ISOGLIDE3 paralel robot kontrolü için bir Sanal Gerçeklik Arayüzü sunulmuştur. Simülasyon için Matlab / SimMechanics ortamından bir değerlendirme modeli kullanılmıştır. Bu paralel manipülatörün ana avantajları, tüm aktuatörlerin direkt olarak tabana bağlanabilmesi, ileri ve geri hareket kinematığı için kapalı form çözümlerinin mevcut olması ve hareketli platformun çalışma alanının tamamında aynı yönlendirmeyi koruduğu yönünde çalışmışlardır.

Stan vd. (2008), yaptıkları bu çalışmada, dört serbestlik derecesi kriterine göre 3 serbestlik dereceli paralel robotlara çok amaçlı optimum (çalışma alanı sınırı, aktarım kalite endeksi, rijitlik) dizayn prosedürü sunulmuştur. Deneysel sonuçları, 3 serbestlik dereceli paralel robotların, özellikle TRIGLIDE ve DELTA robotlarının tasarımında sunulan sağlamlık, hassaslık ve dinamiklik sınırları içinde çalışma alanını belirlemişlerdir. Bu nedenle, 3 serbestlik dereceli paralel robotların performansları, tıbbi robotlarda, rehabilitasyonda, dış iskeletlerde etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Hu (2008), sistemin sertliği üzerine odaklanan yeni bir paralel kinematik makinenin tasarlanması amaçlanmıştır. Tasarımın CAD modeli, ters kinematik analizi, jakob matrisi ve hız denklemleri, tekillik, çalışma alanı ve sertliği üzerine çalışılmıştır. Üç serbestlik derecesine sahip paralel kinematik makinesinin kinematik parametrelerin ayarlanması ve istenilen rijitliği elde etmek için yolun yeniden planlanması ile nasıl yeniden yapılandırılacağına çözümüne üzerine öneriler verilmiştir.

Yuan vd. (2008), yaptığı bu çalışmada, önerilen dikdörtgen zeki çalışma alanını elde etmek için lineer delta robotunun optimal bir tasarım yöntemini önermişlerdir. Optik algoritmalar performans tablosu kavramına dayandırılmıştır. Performans grafiği bir kriter ve tasarım parametreleri arasındaki grafiksel ve küresel ilişkiyi göstermiştir. Kinematik problem, tasarım parametrelerini ve ilişkilerini belirlemek için kısaca analiz edilmiştir. İki algoritma, O-xy düzlemindeki zeki çalışma alanının maksimum yazı tipi dikdörtgenini belirlemek ve performans grafiğini çizmek için tasarlanmıştır. Uygulanan örnekte, öngörülen bir küp boyutlu çalışma alanına sahip lineer delta robotunun bir tasarım sonucu sunulmuştur. Optik sonuçlar, her verilen maksimum yazı tipi dikdörtgenin, verilen her oran için algoritma ile elde edilebileceğini ve hata oranının 0.05'in altında olduğunu göstermiştir. Bu çalışmanın metodu ve sonuçları, paralel robotun tasarımı ve karşılaştırılması için çok yararlıdır.

Glavonjic vd. (2009), yaptıkları bu çalışmada, paralel kinematik mekanizma alanında temel deneyimleri edinmek için düşük maliyetli ama 3 eksenli paralel kinematik freze makinesinin işlevsel simülasyonunun kullanılmasını önermektedir. Simülasyonun geleneksel 3 eksenli Bilgisayar Sayısal Denetim Takım tezgâhları tarafından sürülebileceği ve kontrol edilebileceği olasılığına dayanır. Paralel mekanizmanın

seçimi, kinematik modelleme ve programlama algoritması gibi bir simülatörün geliştirme prosedürünü açıklamaktadır.

Kanaan vd. (2009) yaptıkları bu çalışmada, bir seri-paralel 5 eksenli takım tezgâhı olan VERNE makinesinin ters ve ileri kinematik analizinden bahsedilmektedir. Bu makine, üç serbestlik dereceli paralel modül ve bir iki-yönlü seri eğilme masasından oluşur. Paralel modül, sabit bir tabana üç benzersiz bacak ile bağlanmış döndürme ve çevirme hareketi yapan platformdan oluşur. Bu makine paralel modülün simetrik olmayan mimarisinden kaynaklanan karmaşık bir harekete sahiptir, burada bacaklardan biri diğer iki ayağa göre farklıdır. Verne makinesi kalıpcılık sektöründe karmaşık parçaların işleminde kullanılmaktadır. Bu sebepten tüm kinematik çözümleri hesaplayabilen ve paralel modülün bacaklarındaki eğilime analitik kısıt koyarak kabul edilebilir sembolik yöntemler önerilmektedir.

Glavonjic vd. (2010) yaptıkları bu çalışmada, PKM alanında temel deneyimleri edinme sürecinde bir masaüstü eğitim amaçlı 3 eksenli paralel kinematik freze makinesinin kullanılması önerilmektedir. Geliştirilmiş masa üstü eğitimi 3 eksenli paralel kinematik freze makinesi yeni geliştirilen bir 3 serbestlik dereceli mekansal paralel mekanizmaya uyarlanmıştır. Gerçek zamanlı uzantıya sahip PC Linux platformuna ve Geliştirilmiş Makine Kontrol Cihazı yazılım sistemine dayalı makine, modelleme yaklaşımı ve kontrol ve programlama sisteminin yapısından bahsedilmektedir.

Stan vd. (2011), yaptıkları bu çalışmada, 3 serbestlik derecesine sahip delta robotun çalışma alanı, kaliteli iletimi, uygulanabilirliği, beceri ve sertliği gibi performans değerlendirilmesi üzerinde durulmuştur. Gelecek çalışmalara temel olması amacıyla çalışma alanı yüksekliğinin artırılması önerilmiştir.

Zhang vd. (2012), yaptıkları bu çalışmada, otomasyon ürün hattında yüksek hızlı al- yerleştir görevlerini yerine getirmeye yönelik bir görme tabanlı kontrol stratejisini önermişler ve ilgili kontrol yazılımı geliştirilmişlerdir. Düzensiz nesnelere hareketli konveyörden almak için delta robot devreye girer ve kamera nesnelere konumunu ve

şeklini görüntü işlemeden sonra elde eder. Delta robot ayırma sistemi üzerine deneysel çalışmalar yapmışlardır.

Guangfeng vd. (2012), yaptıkları bu çalışmada, genellikle bir endüstriyel robotun tasarım süreci, uygulama ihtiyaçları tarafından talep edilen belirli çalışma özellikleri ile belirlenir. Çalışma özellikleri belirlendiğinde, endüstriyel bir robotun tasarım süreci, kinematik optimizasyonu, yörünge analizi, dinamik optimizasyon ve kontrol sistemi tasarımı gibi aşamalardan oluşur. İş parçasını paketleme hattına al ve yerleştir için kullanılan delta robotunun ambalaj hattında doğru pozisyon kontrolü için yörünge planlamasını ele almaktadır.

Kelaiaia vd. (2012) yaptıkları bu çalışmada, boyutsal sentez metodolojisi önerilmiştir. Boyutsal sentez, paralel robotların optimum dizayn edilmesinde önemli bir aşamadır, çünkü belirli bir robot performans kriterleri bunların geometrisine çok duyarlıdır. Önerilen metodolojide; seçilen yapının geometrik, kinematik ve dinamik modellenmesi, performans kriterlerinin değerlendirilmesi (çalışma alanı, sertlik, kinematik ve dinamik performanslar), çalışılan kısıtlamaların tanımlanması, robotun yapısı, çok amaçlı optimizasyon probleminin matematiksel formülü ve SPEA-II genetik algoritmasının problem çözümü için uygulanmasını, üç serbestlik derecesine sahip doğrusal bir delta paralel robot için geliştirilen metodolojinin açıklayıcı bir uygulaması üzerine çalışılmıştır.

Krzic vd. (2013) yaptığı bu çalışmada, endüstri robotunun makine uygulamaları için kinematik kısıtlamalarının, takım eksenini etrafında uç-efektör dönüşünü, parçanın yeniden konumlandırılmasını ve / veya parçanın yönünü değiştirerek önlenebilir olduğunu göstermişlerdir. Bu çözümleri kullanarak geçerli yapılandırmaları hesaplama algoritması Visual C ++ kullanılarak geliştirilmiş ve programlanmıştır. Uygulama başarılı bir şekilde test edilmiş ve sonuçlar RobotmasterTM robot simülasyon yazılımı tarafından doğrulanmıştır. Önerilen yöntemin çevrimdışı programlamayla karşılaştırıldığında en temel avantajı, üç ayrı yöntemin bir algoritmaya sinerjik uygulanmasıdır. Testin sonuçları, algoritmanın manuel deneme yanılma yöntemine kıyasla, robotik işleme için geçerli yapılandırmalar, takım yolunu hesaplama hızını ve kalitesini önemli ölçüde artırabildiğini göstermiştir.

Rakhodaei (2013), dokuz serbestlik derecesine sahip hibrid paralel robotun tasarımı üzerinde durmuştur. Robot, birbirlerine seri olarak bağlı olan bir hexapod ve tripoddan oluşmaktadır. Önerilen hibrid paralel robotun en büyük avantajı, iş hacmini arttırmaktadır. Ters kinematik denklemler açısız ve dönüş matrisleri birleştirilerek hesaplanmıştır. Geliştirilen sertlik formülasyonu bileşenlerin malzemelerine, kuvvet yönüne ve sistemin kinematiğine göre hesaplanmıştır. Sonlu elemanlar analizi ile yer değiştirme ve sertlik değerleri karşılaştırılmıştır. Sistemin doğruluğu ve uygulama değerlendirilmesi statik ve dinamik deneylerle yapılmıştır.

Pauly (2014) bu çalışmada, gerçek bir lineer delta robotun çalışma zarfını doğru bir şekilde tahmin edebilmek için fiziksel kısıtlamaları içeren yeni bir modele ihtiyaç duyulmuşlardır. Bu çalışmada kullanılan model, öncelikle küresel eklemlerin konumunun kısıtlanması üzerine odaklanırken, aynı zamanda uç efektörün montajı ve prizmatik ve küresel eklemlerin bağlantısını da kapsamaktadır. Modelde kartezyen bir koordinat sistemi oluşturulmuş ve lineer delta robotun tabanına uyarlanmıştır. Üç platformlu prizmatik mafsallarla yönlendirilen bu platform, uç efektör plakasının yönünü korumak için diğer delta robotlarında kullanılan aynı 4 çubuklu mekanizmayı kullanırken, yine de üç serbestlik derecesine izin vermiştir. Çalışmada doğrusal bir delta robot için genel ters kinematik türetilmiştir. Bu kinematik daha sonra robotun çalışma alanındaki bir düzlemdeki erişilebilir noktaları belirlemek için kullanılmış ve gerçek bir robot tarafından uygulanan fiziksel kısıtlamalar dâhil edilmiştir.

Pandilov and Dukovski (2014), seri ve paralel robotların konum analizi, jakobiyen ve teklik analizi, katılık analizi, dinamiği ve uygulamaları hakkında bilgi vermişlerdir. Ayrıca, seri ve paralel robotların özelliklerinin ayrıntılı bir karşılaştırması ve bunların avantaj ve dezavantajları sunulmuştur. Paralel robotlar seri ile karşılaştırıldığında daha yüksek toplam sağlamlık, daha hassas, düşük eylemsizlik ve daha yüksek çalışma hızları ve ivmeler ile potansiyel avantajlar sunmuştur. Bununla birlikte, bu avantajlar, çalışma alanının azalması, zor mekanik tasarım ve daha karmaşık kinematik ve kontrol algoritmaları ile kolaylıkla göreceli hale getirilmiştir. Paralel robotlar, hareket simülatörleri, ultra hassas konumlandırma yer robotları ve mikro robotlar gibi uygulamalarda en başarılı seçilmişlerdir. Seri robotlar ise tüm imalat uygulamalarında hemen hemen hâkimdirler. Paralel mekanizmalarda yaklaşık 20 yıllık araştırmayı ve

seri mekanizmalar için mevcut bilginin seviyesine ulaşmak için 200 yıldan fazla araştırmayı karşıladıklarında, paralel robotikte problem çözme sürecinin uzun vadede olacağı sonucuna varmışlardır.

Gharahsofloo and Rahmani (2015), bu çalışmada bir delta robotun çalışma alanının belirlenmesi hedeflenmiştir. Bağlantı uzunluklarının optimizasyonu çok önemlidir ve çalışma alanı analizi için bunun tekrarlanması gerekliliğini savunmuşlardır. Bu çalışmada, manipülatöre ait çalışma alanı oluşturmak için etkin bir algoritma önerilmiştir. Başlangıçta hexapod yapısı için önerilen sayısal arama yöntemine dayalı algoritma kullanılmış olup verimliliği artırmak için yöntem geliştirilmiştir. Metodoloji bir delta manipülatörüne uygulanmış olmasına rağmen, genel bir metodoloji olarak paralel manipülatörlerin çalışma alanı problemi için uygun olmuştur.

Zivanovic vd. (2015) yaptıkları bu çalışmada 3 eksenli paralel kinematik freze makinesini konfigüre etme, tasarlama, kontrol etme, programlama, doğrulama ve kullanma konularındaki pratik deneyimlerin edinilmesine katkıda bulunmak için bir mini laboratuvar ve masaüstü 3 eksenli paralel kinematik freze makinesi geliştirmişlerdir. CAD / CAM sistemini kullanarak takım yolu oluşturmuşlardır. Makine, G kodu kullanılarak programlanmıştır. İşleme programı ve programlama sisteminin doğrulanması yumuşak test parçalarının başarıyla işlenmesiyle doğrulamışlardır.

Lin vd. (2015) yaptığı bu çalışmada, kinematik, kontrol tasarımı ve optimizasyon yöntemlerini içeren tüm mekatronik süreci kapsayan, DELTA paralel robotun tasarımı ve uygulaması üzerine durmuşlardır. Robottun yapımını hızlandırmak ve uç efektör parçalarını imal etmek için 3 boyutlu baskı kullanılmış olup parçalar modüler, düşük maliyetli, yeniden yapılandırılabilir ve klasik olarak imal edilen parçalar için gerekli olandan daha kısa sürede monte edilebilir seçilmiştir. Kontrol algoritması ve insan makine arabirimide dâhil olmak üzere denetleyici, Borland C ++ Builder 6 kişisel yazılım ortamı kullanılarak kodlanmıştır. Görüntü kontrollü hareket kontrolörünün bir opto-mekatronik sisteme entegrasyonu ile sunulmuştur.

Zhang vd. (2015), yapmış olduğu bu çalışmada, modal analiz teorisinin temeline dayanılarak, delta robotun dinamik özelliklerini geliştirme yaklaşımı öne sürülmüştür.

Modal analizin temelinde, robot sisteminin harmonik tepki analizi yapılmış ve üç ana hareket yönünün tepki eğrileri sırasıyla X eksen, Y eksen ve Z eksen boyunca oluşturulmuştur. Delta sisteminin titreşim direnci performansı, MRR sisteminde yapının iyileştirilmesi, optimum tasarımı ve dinamik tasarımı referans alabilecek şekilde test edilmiştir.

Young ve Lin (2016) yaptıkları bu çalışmada, delta tabanlı bir makinenin ekstra modifikasyonu ile küresel hareketi gerçekleştirme için mekanizma önermişler ve uygulamışlardır. Deneysel sonuçlar, bu tasarımın pratik ve kullanım için dengeli olduğunu göstermiştir. Endüstride kullanılan robot kolları, seri robot ve paralel robot da dâhil olmak üzere iki kategori halinde sınıflandırılmıştır. Seri robotlar ile karşılaştırıldığında, paralel robotlar yüksek hassasiyet, yüksek sertlik, yüksek yük, yüksek hız ve düşük atalet gibi avantajlara sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Karabulut (2016), bu çalışmada dokunmatik ekran cihazlar için bir test otomasyon platformu geliştirilmiştir. Geliştirilen platformda kullanılmak üzere bir delta robot tasarlanmıştır. Tasarlanan robota ait fiziksel uzunluklar, robotun hareket uzayının büyüklüğüne göre çıkarılmıştır. Ayrıca robota ait kinematik dönüşümler hesaplanmış ve sistemde kullanılmıştır. Sisteme eklenen kamera aracılığı ile yapılan testlerin doğrulukları daha önceden hazırlanmış şablonlar ile karşılaştırılarak onaylanmıştır. Sistemdeki tüm elemanların kontrolü MATLAB geliştirme ortamında yapılmıştır.

Oberhauser (2016), doğrusal girdi delta robotunun tasarımı, yapımı, kontrolü ve analizi ile ilgili çalışmıştır. Mevcut tasarımları geliştirebilecek yeni tasarım değişiklikleri yapılmıştır. Düşük maliyetli donanımın (Arduino), 5 nci derece polinom yörünge kontrolü kullanılarak yüksek kalitede hareket elde etmesine izin veren yeni bir kontrol yöntemi geliştirilmiştir. Robottaki hız, doğruluk ve hareket analizleri yapılmıştır. Robotun doğruluğu yeterli bulunmuş ve kontrol metodu başarıyla test edilmiş ve onaylanmıştır.

Nümerik programlamanın literatür araştırması yapılırken G kod çevrimi yapabilen, döngü süresini azaltarak optimizasyon işlemini kısaltan ve interpolasyon hareketleri ile ilgili çalışmalar dikkat çekmektedir. Yang and Hong (2001), yaptıkları çalışmada,

eş zamanlı 3 boyutlu işleme senkronize edebilen 3 eksenli bir PC-NC freze sistemi geliştirmişlerdir. Senkron 3 boyutlu doğrusal ve dairesel hareketleri elde etmek için, kesişme kriterlerine dayanan yeni enterpole algoritmasını geliştirmişlerdir. Gerçek zamanlı bir referans darbeli 3 boyutlu doğrusal ve dairesel enterpatör, bu araştırmada yeniden yapılandırılan PC-NC freze makinesi çerçevesinde uygulanmak üzere bir PC kullanılarak geliştirilmiştir. Bilgisayar simülasyonu ve gerçek işleme ile yapılan performans testi, gelişmiş PC-NC freze sisteminin belirlenen çizgilerin ve dairelerin 3 boyutlu alanda işlenmesi için kullanışlı olduğunu göstermiştir.

Erkokmaz ve Altıntaş (2001) yaptıkları çalışmada, sürekli konum, hız ve ivme profilleri üreten beş kenarlı bir spline yörünge oluşturma algoritmasını sunmuşlardır. Referans yörünge üretimi, takım tezgâhlarının bilgisayar kontrolünde önemli bir rol oynamıştır. Spline enterpolasyonu, parametrizasyon hataları nedeniyle ilerleme hızı dalgalanmalarını ortadan kaldıran yeni bir yaklaşımla gerçekleştirilmiştir. İlerleme hızının birinci ve ikinci zaman türevleri üzerine sınırlar koymak, takım yolunda trapez şekilli hızlanma profilleri elde etmek suretiyle pürüzsüz hızlanma ve yavaşlama elde edilmiştir. Son olarak, değişen enterpolasyon periyodu ile üretilen referans yörüngesi, orijinal kinematik profillerin korunmasını sağlayan beşinci derece polinomlarını kullanarak servo döngü kapanış döneminde yeniden örneklenmiştir. Önerilen yörünge oluşturma algoritması, üç eksenli bir freze tezgâhında bir kanat yüzeyinin işlenmesinde test edilmiş olup, evde geliştirilmiş açık mimari CNC ile kontrol edilmiştir.

Yazıcı ve Oysu (2004), yaptıkları bu çalışmada, CNC takım hareket komutları G00, G01, G02, G03 için tasarlanmış bir kontrol kartı sunmuşlardır. Kontrol kartı daha sonra iki eksenli mekanik sistemleri kontrol etmek için de kullanılmıştır. G kodlarından oluşan proses planlama toplu iş dosyası bilgisayar yazılımında hazırlanmış ve daha sonra kontrol kartına aktarılmıştır.

Mitsi vd.(2005) yaptıkları bu çalışmada, imalat operasyonlarında kullanılan robot programlamanın otomatik olarak üretilmesi için bir prosedür sunulmuşlardır. Burada geliştirilen off-line programlama sistemi, robotun ve çalışma hücresinin grafik simülasyonu, robotun kinematik modeli, hareket planlaması ve imalat işlemi için NC

kodunun oluşturulmasını içermektedir. Visual Basic ortamında geliştirilen yol planlama kısmı, Fortran'da çözülen ve SolidWorks tasarım yazılımında oluşturulan CAD modellerine paralel olan ters kinematik problem çözümü ile paralel çalışan manipülatör hareketini simüle etmiştir. Proses parametrelerini göz önüne alarak, yol planlama simülasyonu-yazılımı otomatik olarak imalat için NC kodunu oluşturmuştur. Geliştirilen prosedürle, prosesin teknolojik verileri ve robot kontrolörünün enterpolasyon tesisleri dikkate alınarak, prosesler için NC kodu üretilebilmiştir. Önerilen sistem, çalışma hücresinin döngü süresini azaltarak iş parçalarının proses planlamasının optimizasyonu için daha da kullanılabilir hale getirilmiştir.

Gordon and Hillery (2005) yaptıkları çalışmada, kompozit bir materyal üzerinde işleme testleri yapmak için doğrusal motorları kullanarak düşük maliyetli, yüksek hızlı kesme makinesinin nasıl kurulduğunu sunmuşlardır. Microsoft Windows tabanlı arabirimin C ++ ile yazıldığı bağımsız bir CNC denetleyicisi ile arabirim oluşturulmuştur. Kullanılan programlama dili, hareket kontrolü uygulamaları için tasarlanmış bir BASIC yapısal formu olan MINT'tir. Makineyi test etmek için kullanılan parça programları SmartCAM yazılımı kullanılarak oluşturulmuş ve programın önemli bir özelliği G kod parça programını MINT'e çeviren rutini kullanmışlardır.

Pınar ve Güllü (2006), yaptıkları bu çalışmada, ISO 230-4 "NC Tezgahlar için Dairesel Testler" isimli standarda dayalı yuvarlaklık (dairesellik) hatasının bulunmasına yönelik bir algoritma önermişlerdir. Daireyi, 2 boyutlu düzlemde gerçekleştirilen dairesel interpolasyon hareketine ait konum verisine uydurmak amacıyla en küçük kareler metoduna dayalı Gauss-Newton nümerik çözümleme yöntemini kullanmışlardır. Çok amaçlı ölçüm algoritması Matlab 6.5 yazılımı kullanılarak geliştirilmiş olup, CMM (koordinat ölçüm makinesi), lazerli küresel çubuk, ızgara enkoderi gibi cihazlarda rahatlıkla kullanılabileceğini önermişlerdir.

Pınar ve Güllü (2007) yaptıkları bu çalışmada, CNC işleme merkezlerindeki eğrisel hareketler dairesel interpolasyon hareketleri ile gerçekleştirilmiştir. Bu hareketlerdeki hatalar dairesellik hatası olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmada, dairesellik hatası ölçüm sistemi tanıtılmıştır. Dairesellik hatası tarif edilerek, bu hatanın değerlendirildiği

algoritmalar tanıtılmıştır. Sistemdeki ölçüm cihazları, ayrıntılı yayın taraması ile analiz edilerek tartışılmıştır.

Uyanık vd. (2009) yaptıkları bu çalışmada, yüzey üzerinde istenen şeklin çıkarılmasında doğrusal ve dairesel interpolasyon hareketlerinin gerçekleştirilebilmesi için bir eksen sürücü algoritması geliştirilmiştir. G kodlarını kullanan görsel parça işleme yazılımı geliştirilerek algoritmaya uyarlanmıştır. Doğrusal hareket G01 oluşturulurken işleyici kafanın en son bulunduğu koordinat x ve gideceği hedef koordinat y arasında uygulanan Pisagor bağıntısı ile hesaplanmıştır. Dairesel hareket G02,G03 doğrusal parçalara ayırma yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Shah vd. (2010) yaptığı bu çalışmada, kısıtlı bir paralel manipülatörün çalışma alanının doğru ve hesaplamalı olarak etkili bir şekilde hesaplanması için geometri tabanlı bir yöntem sunmuşlardır. CAD modelleme yazılımı kullanılarak çalışma alanının değerlendirilmesi için alternatif ve esnek bir yöntem incelenmiştir. Bu gibi geometrik programlama yöntemlerinin (kısıt analizi ve boolean hacimsel işlemler), konvansiyonel parametre süpürme yöntemlerinden çok daha anlayışlı, verimli ve doğru olabileceğini ve bunu bir örnekle açıkladığına dikkat çekmişlerdir.

Beudaert vd. (2012) CNC'nin anahtar rolü, bir NC programına dayalı olarak bir takım aracının her eksenine gönderilen istenen değerlerin üretilmesinden oluşan ilerleme hızı enterpolasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Yüksek hızlı işlemede, ilerleme hızı, takım aletinin her ekseninin hız, hızlanma ve sarsıntı ile sınırlandırılmışı tespit etmişlerdir. Önerilen algoritma, makinenin kinematik özelliklerini en iyi şekilde kullanan optimize edilmiş bir ilerleme hızı profilini elde etmeyi amaçlamıştır. Önerilen Hız Profil Optimizasyon yöntemi evrensel olup ve herhangi bir mafsallı mekanik yapıya uygulanabilir düzeyde olduğu görüşünü savunmuşlardır. Algoritma doğrusal enterpolasyon G1, 3 ve 5 eksenli düzensiz rasyonel tabanlı eğriler enterpolasyonu formatları için uygulanmıştır. Algoritmanın etkinliği endüstriyel bir CNC ile yapılan karşılaştırma ile göstermişlerdir.

Chen and Lin (2017) yaptıkları çalışmada, uzun ve karmaşık G kod dosyasını çoklu işleme özellikleri ile değiştirmek için işleme metodu şablonunu kullanan yazılım

tabanlı bir geometrik hata telafi yöntemini önermişlerdir. Hata dağılımını değerlendirmek için bir hata modeli oluşturulmuştur. Ardından doğrusal olmayan etkiyi ortadan kaldırmak için uzun çok eksenli çizgiyi aynı uzunluğa sahip birkaç parçaya bölmek için yeni bir segmentasyon yöntemi önerilmiştir. Önerilen şema, geometrik hatayı hesaplayan hata telafisi işleminin verimliliğini önemli ölçüde artırabilir, telafi vektörünü hesaplar ve daha sonra G kod bölümünü değiştirir ve G kodunun değiştirilmesi sürecinin verimliliğini daha da artırmak amacıyla G kod dosyasını işlemek için bir çerçeve oluşturmuştur. G kodu dosyasındaki komutlar iki tür dosyaya ayrılmış: eksenlerin hareketi ile ilişkili bir hareket komutu dosyası ve değiştirme işlevlerini tanımlayan hareketsiz bir komut dosyası. Ardından, eski dosya işleme metodu şablonunun rehberliğinde geometrik hata telafi modülü tarafından işleme dosyası. G kod parçası, takım tezgâhının hareket vektörünü, komuta göre düzeltmek için değiştirmiştir. Yeni bir G-kodu dosyası oluşturmak için ommands dosyasına birleştirilmiş ve son olarak, takım tezgâhının hatalı olmasından kaynaklanan hatayı telafi etmek için CNC' ye girilmiştir. Önerilen yöntemin etkililiğini ve doğruluğunu doğrulamak için, beş eksenli bir işleme merkezinde çoklu özellik içeren bir test iş parçasına sahip bir işleme deneyi yapılmıştır.

Zivanovic (2017), klasik G kodlarına alternatif olarak, yeni programlama yöntemi olan standart ürün model veri değişimi için sayısal kontrol (STEP-NC) modelini geliştirilmiştir. STEP-NC, CAD / CAM sistemleri ve CNC kontrolörleri arasında çift yönlü bilgi alışverişi için geliştirilen yeni bir arabirimdir. STEP-NC, G kodunun yaptığı gibi spesifik bir CNC takım tezgahının takım hareketlerini tanımlamaz, özellik tabanlı veri modeli sağlamış ve programlama yöntemi çeşitli takım tezgâhlarında önerilmiştir.

Bilinen bir ölçüm sisteminin kullanılarak sistemin doğruluğunun ölçülmesi işlemi olan kalibrasyonun literatür araştırmasında; Daney vd. (2006), yaptıkları bu çalışmada, Gough platformunun vizyon ölçüm yöntemiyle kalibrasyon sorununun teorik yönlerini sunmuşlardır. Sonuçların klasik kalibrasyon yöntemleriyle karşılaştırılması yapılmıştır. Gough manipülatörü taban ve hareketli platform olarak bilinen, fiziki olarak prizmatik aktüatöre sahip, küre veya evrensel eklemler ile tabana ve platforma

bağlanan 6 bacak ile bağlanan iki katı cisimden oluşmuştur. Kalibrasyon denklem sistemleri en küçük kareler algoritması kullanılarak çözümlenmiştir.

Nuno vd. (2006) yaptıkları bu çalışmada, 6 serbestlik dereceli yüksek hassasiyet eğilimli paralel robotun kalibre edilmesi için yeni bir yöntem sunmuşlardır. Bu çalışmanın yenilikçi katkıları, robotun duruş hatalarını düzeltmek ve edinilen verilerin işlenmesinde kullanılan yöntemi açıklamaktadır. Bunun için de yapay sinir ağlarını kullanmışlardır. Özellikle, yapay sinir ağları, robot kullanıcılarına birçok geometrik veya geometrik olmayan hataları önlediğini göstermiştir.

Günay (2011) Koordinat Eksenli Ölçüm Cihazı için günümüz kalite sistemlerinin ayrılmaz bir parçası olan kalibrasyon prosedürünü incelemiş olup, işlem üzerinde yapılabilecek muhtemel iyileştirmeler üzerinde durmuştur. Koordinat Eksenli Ölçüm Cihazı kalibrasyonu için gerekli olan standartlar, gereçler ve kullanılan cihazın türleri anlatılmış olup uygulama kısmında ise bir kalibrasyon firması ile uygulamalı bir kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

Joubair vd. (2012) yaptıkları çalışmada, yeni bir üç serbestlik dereceli düzlemsel paralel robotun kesin doğruluğunu iyileştirmek için kalibrasyon yöntemini geliştirmişlerdir. Robot, yarı iletken kartonların hizalanması için tasarlanmıştır. Kalibrasyon yöntemindeki deneysel veriler, FARO Technologies'ten bir ölçüm kolu ve Mitutoyo koordinat ölçme makinesinden elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Koordinat ölçme makinesi, mutlak doğruluk, maksimum pozisyon ve yönlenme hatalarını 1,432 mm'den ve 0,1078'den azaltarak geliştirilmiş ve 0,044 mm ve 0,0098'e düşürmüştür.

Traslosheros vd. (2013) yaptıkları bu çalışmada, üç serbestlik dereceli paralel robotu kalibre etmek için yeni, ucuz ve harici kalibrasyon yöntemini önermişlerdir. Önerilen yöntem, eklem ve 3boyutlu artımlı konumları elde etmek için, motorların çözünürlükleri ve küresel bir öğeden elde edilen görsel bilgiden konumlar kullanılmıştır. Nominal parametrelere göre kalibre edilen parametrelerle en iyi davranışı kontrol etmek için birkaç test gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım robotun

kalibre edilmesi için düşük maliyetli sensör ve elde edilen sonuçların onaylanması ile kullanılan metodolojinin kullanılmasını önermiştir.

Tian vd. (2016) yaptıkları çalışmada, yüksek hızlı işleme için geliştirilmiş bir 3 serbestlik dereceli iş mili kafasının kinematik kalibrasyonu için basit bir etkili yaklaşım sunmuşlardır. Bu yaklaşım telafi edilebilir ve telafi edilemeyen duruş doğruluğunu etkileyen geometrik hatanın sınıflandırılmasına izin veren hata modelleme ile geometrik hataların kurulumunun belirlenmesi ve gerçek zamanlı hataların uygulanması için doğrusallaştırılmış bir hata telafi edici tasarımı olarak üç adımda uygulanmıştır. Deneysel sonuçlar, telafi edilebilir duruş aralıklarının önerilen yaklaşımla önemli ölçüde iyileştirildiğini göstermiştir.

Coronado vd. (2017) yaptıkları çalışmada, doğrusal kamera-alan manipülasyonuna dayalı delta tipi paralel robotu kontrol etmek için yenilikçi bir görme tabanlı yöntem sunmuşlardır. Robot ya da çevre parametrelerinin kalibrasyonuna dayanmaksızın robotların gerçek zamanlı kontrolünü elde edebilen basit ve sağlam bir teknik önerilmiştir. Clavel delta paralel robotu üzerindeki deney sonuçları, Lineer Kamera-Alan Manipülasyonu ile elde edilen uç nokta konumlandırma hatalarının 1,5 mm'den az olduğunu göstermiştir. Yaklaşımın paralel robotları gerçek zamanlı olarak endüstriyel uygulamalarda kontrol etmek için avantajlı olduğunu ve paralel robotların kontrolü ile ortak olan bir dizi açık sorunu ortadan kaldırdığını göstermiştir.

1.2. ÇALIŞMANIN AMACI

Bu tez çalışmasının amacı, belirlenen paralel kinematik mekanizma (PKM) yapılarının kontrolü için herhangi bir CAM programından oluşturulan NC kodlarını bu yapının sistemine göre dönüştürülerek hazır hale getirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla belirlenen PKM yapılarının ters kinematiği modellenmesi yapılacak, tasarlanan bir ara yüz ile NC kodları bu yapılar için anlamlı bir kod sistemine çevrilecektir. Oluşturulan kodlar ise bir dizi halinde PKM yapısına gönderilerek sistemin kontrolü gerçekleştirilecektir. PKM yapılarından biri olan lineer delta robot mekanizması için prototip olarak tasarımı, imalatı ve kontrolü yapılması amaçlanmaktadır.

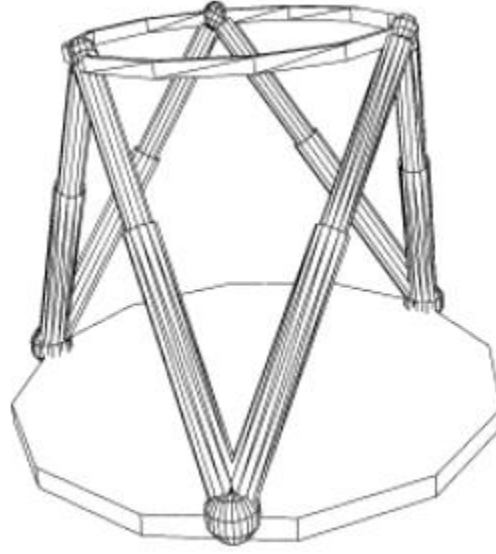
BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

Bu bölümde paralel kinematik mekanizmalar ve türleri hakkında genel bir tanıtım yapılarak nümerik programlamada kullanılan G kodlarından G0, G1, G2 ve G3 kodlarının standartları ile ilgili temel bilgiler verilmiştir.

2.1. PARALEL KİNEMATİK MEKANİZMALAR

Paralel kinematik mekanizmalar, bağların tabana ve hareketli platforma eklemlerle bağlı olduğu robotlardır. Bağlardaki prizmatik aktüatörler bağların boyunu değiştirir. Bir başka tanıma göre paralel mekanizmalar bir veya daha fazla kapalı döngü içeren ve bağlarının yalnızca bir kaçı aktüatörler tarafından hareket ettirilen zincirlerdir. Bu tür kinematik zincirlerin en ünlüsü Stewart'ın geliştirdiği mekanizmanın modifiye edilmiş halidir. Literatürde Stewart Platform Mekanizması (SPM) olarak anılan bu mekanizma, kontrol edilebilir 6 serbestlik derecesine sahiptir. Tipik bir SPM her biri tabana bağlı bir aktüatör ile hareket eden, boyları değişebilen 6 bacak vasıtasıyla birbirine bağlı rijit bir hareketli platform ve bir hareketsiz rijit platformdan oluşmaktadır. Platformları birbirine bağlayan, boyları değişebilen ayaklar bir pistondan oluşabileceği gibi, birbirine mafsallarla bağlanmış bir dizi elemandan da oluşabilir. Alt taraftaki bağlantı noktaları eş düzlemlile olabileceği gibi, farklı düzlemlerde de olabilir (Ku, 1999).



Şekil 2.1. Stewart- Gough platform mekanizması (Hu, 2008).

Paralel kinematik mekanizmaların seri robotlara göre avantaj ve dezavantajları Çizelge 2.1’de verilmiştir (Oberhauser, 2016).

Çizelge 2.1. Paralel kinematik mekanizmaların avantaj ve dezavantajları.

Avantaj ve Dezavantajları	Açıklamalar
Çalışma alanı	Küçük ve karmaşık
İleri kinematik çözümlenmesi	Zor
Ters kinematik çözümlenmesi	Kolay
Pozisyon hatası	Orta
Yük hatası	Arttırabilir
Maksimum yük	Tüm tahrik kuvvetlerinin toplamı
Sertlik	Yüksek
Dinamik karakter	Çok yüksek
Modelleme ve dinamik çözümlenme	Çok karmaşık
Eylemsizlik	Küçük
Uygulama alanları	Şu anda sınırlı, özellikle de endüstride.
Yük / ağırlık oranı	Yüksek
Hız ve ivme	Yüksek
Doğruluk	Yüksek
Bileşenlerin tekdüzeliği	Yüksek
Kalibrasyon	Karmaşık
Çalışma alanı/ robot ölçüm oranı	Düşük

Paralel mekanizmalar tıbbi operasyonlar, talaşlı imalat, robot kol uç organı, oyun similatörleri, uçuş similatörleri, cilalama ve kesme, hafif metal işleme, fotonik/fiberoptik sıralama ve iş süreçleri en çok kullanıldıkları endüstriyel uygulamalardır (Alp, 2007).

Paralel kinematik mekanizmalar, U: Üniversal mafsalsal, P: Prizmatik mafsalsal, R: Dönel mafsalsal, S: Küresel mafsalsal, C: Silindirik mafsalsal sembolleri kullanılarak adlandırılır (Alp, 2007).

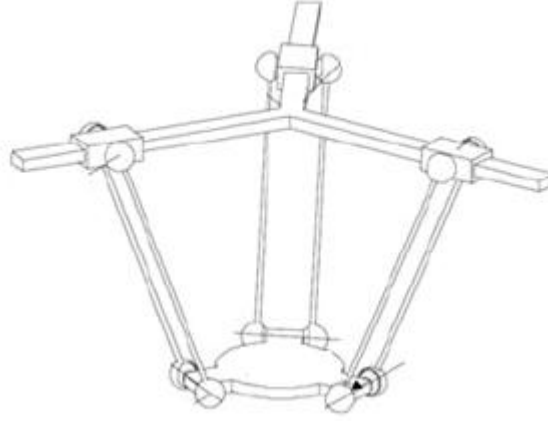
2.2. PARALEL KİNEMATİK MEKANİZMA TÜRLERİ

Paralel kinematik mekanizmalar düzlemsel ve uzaysal mekanizmalara ayrılır ve uç-efektörün serbestlik derecesi ile aktüatör ve eklem düzenlemesi ile sınıflandırılır. Lastik test makinesi olarak 1950'lerde sunulan tam bir paralel mekanizma olan Gough platformunda, uç efektör tabana altı kinematik zincir ile bağlanır, her zincir bir üniversal mafsalsal (U), yönlendirilmiş prizmatik mafsalsal (P), hareketli platformda küresel mafsalsal (S) bulunmaktadır. Böylece kinematik yapı 6-serbestlik dereceli 6- (UPS) olarak gösterilir (Weck and Staimer, 2002).

Serbestlik derecelerine göre sınıflandırılan paralel kinematik mekanizmalar literatürde üç ayak (triglides ve lineer delta) ve altı ayak (hexapod ve hexaglides) olmak üzere iki gruba ayrılırlar (Hu, 2008).

2.2.1. Üç Serbestlik Dereceli Triglides Robot

Triglides paralel robot, üç serbestlik derecesine sahip bir mekansal paralel yapıdan oluşur ve üç doğrusal aktüatör tarafından yönlendirilir. Platform, her bir sürücüyeye, bir paralelkenardan oluşan iki bağlantıyla birleştirilir ve böylece platformun çevrilebilir hareketlerine ve taban düzlemine paralel kalmasına izin verilir. Uç efektörün yönünü ayarlamak için çalışma platformuna ek bir dönme eksenini monte edilebilir. Sürücüler taban düzlemine 120 derece aralıklarla yerleştirilmiştir. Böylece çalışma alanı neredeyse yuvarlak veya üçgen şeklindedir. Şekil 2.2'de üç serbestlik dereceli Triglides paralel robot gösterilmektedir (Stan vd., 2008).

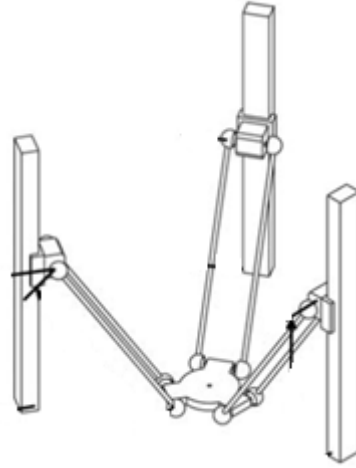


Şekil 2.2. Üç serbestlik dereceli Triglide paralel robot.

2.2.2. Üç Serbestlik Dereceli Lineer Delta Robot

Paralel robotlar içinde en yaygın kullanılan yapılardan biriside linner delta robotlardır. Lineer delta robot, üç adet lineer aktüatör ile tahrik edilen, aktif ve pasif eklemlerden oluşan paralel robot yapısıdır. Kullanılan aktüatörler mekanik, pnömatisik veya hidrolik olabilirler. Pozisyon ve yük dengesinin çok hassas olduğu durumlarda vidalı milli veya kapalı çevrim hidrolik sistem teknolojisi tercih edilir (Yiğit, 2013).

Lineer delta robotlar 3 adet koldan ve 2 adet üçgen platformdan oluşmaktadır. Kollar sabit platforma 120 derecelik açı ile bağlanmış olup kolların diğer uçları sabit platformdan daha küçük hareketli bir platforma bağlanmıştır (Karabulut, 2016). Kollar köşelerinden dört tane küresel mafsalsal ile hareketli platforma ve aktüatörlere bağlanmıştır. Şekil 2.3'te üç serbestlik dereceli lineer delta robot gösterilmektedir (Stan vd., 2008).

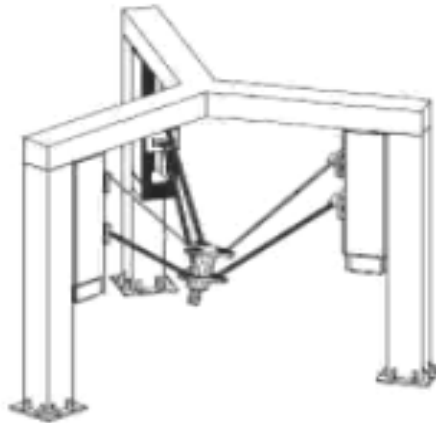


Şekil 2.3. Üç serbestlik dereceli lineer delta robot.

Delta robotlar elektronik sanayi başta olmak üzere tıbbi uygulamalarda, al-yerleştirme sanayisinde, paketleme ve dizme işlemlerinde kullanılmaktadır.

2.2.3. Altı Serbestlik Dereceli Hexaglidle Robot

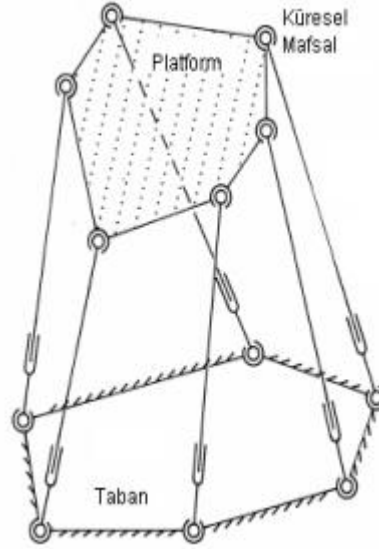
Hexaglidle robotlar, en genel tanımıyla uzuvların herbiri tabana universal mafsallarla, hareketli tablaya ise küresel mafsallarla bağlanmaktadır. Şekil 2.4'te hexaglidle robot gösterilmektedir (<http://littlestworkshop.co.uk/kinematics.htm>). Aynı zamanda eyleyici görevi gören uzuvlar ise kendi içerisinde birer prizmatik mafsala sahip olup, bu mafsallın tahriki ile doğrusal hareketleri gerçekleştirmektedirler (Ulaş, 2009).



Şekil 2.4. Altı serbestlik dereceli hexaglidle robot.

2.2.4. Altı Serbestlik Dereceli Hexapod Robot

Altı serbestlik dereceli paralel kinematik mekanizmalar, Gough tarafından 1949 yılında gerçekleştirilen ilk çalışan prototip ve 1965 yılında Stewart tarafından ilk uçuş simülatorü olarak kullanılmasından dolayı Gough-Stewart platformu ismi ile anılmaktadırlar. Gough-Stewart Platform mekanizması biri hareketli diğeri sabit olmak üzere iki platformdan oluşmakta ve 6 adet prizmatik bağ ile paralel olarak hareket ettirilmektedir. Şekil 2.5'te Gough-Stewart platform mekanizmasının yandan görünüşü gösterilmektedir (Alp, 2007). Hexapod robotun uç efektörü küresel mafsallarla 3 eksende ötelenme ve 3 eksende dönme hareketi ile altı serbestlik derecesi kazandırılmıştır.



Şekil 2.5. Gough- Stewart platform mekanizması.

2.3. NÜMERİK KONTROL PROGRAMLAMA

Günümüzde disiplinler arası çalışmaların önemi her geçen gün artmaktadır. Teknolojik gelişmeler disiplinler arası çalışmaları zorunlu kılmaktadır. Bu zorunluluk hemen hemen tüm disiplinlerde bilgisayar bilimlerine ihtiyaç duyulmasından kaynaklanmaktadır (Dalmış, 2012).

Nümerik Kontrol, bir hareketi sayısal olarak kontrol etmek veya harekete sayısal olarak kumanda etmektir. Belirli bir sayı sistemine göre

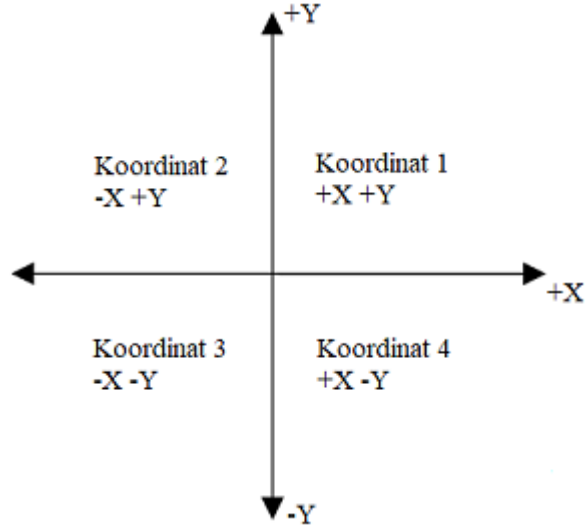
kodlandırılmış giriş işaretlerinin, uygun mantık devrelerine, bir sistemi kontrol etmek amacıyla uygulanması ve verilen komutlara uygun olarak istenilen çıkışın, belirli bir tolerans içerisinde sağlanmasına “Nümerik Kontrol” veya “Sayısal Kontrol” denir (Uyanık, 2006).

Bir takım tezgâhının hareketleri, operatör müdahalesi olmadan özel rakamlar ve kodlarla kontrol edilebiliyorsa, bu tezgah “Sayısal Kontrollü Takım Tezgahı”dır diyebiliriz (Ergün, 2004). Sayısal kontrollü takım tezgâhlarında, harflerden, sayılardan, noktalama işaretlerinden ve diğer sembollerden oluşan komutlar ile tezgâha talimat verilmektedir. Bu komutlar geometrik ve teknolojik bilgileri kapsar ve iş tablasının belirli bir koordinata hareketinden kesicinin seçimine, devir sayısının ve soğutma sıvısının kontrolüne kadar birçok fonksiyonu tanımlar (Uyanık, 2006).

Nümerik kontrolün avantajları;

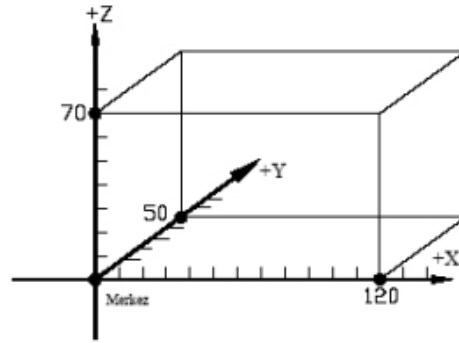
- Üretimin arttırılması,
- Kalitenin ve hassasiyetin geliştirilmesi,
- Üretim giderlerinin stabilize edilmesi,
- Özdeş parçaların aynı tamlıkta üretilmesi,
- Zor, hatta imkansız olan parçaların üretilmesi.

Eksenler birbirine dik olduğu durumda sisteme, kartezyen koordinat sistemi denilir. Şekil 2.6’da kartezyen koordinat sistemi gösterilmektedir (Uyanık, 2006).



Şekil 2.6. Kartezyen koordinat sistemi.

Koordinat sistemi tek bir düzlemi ifade eden iki eksenli veya üç düzlemi gösteren üç eksenli olabilir (Şekil 2.7). İki eksenli koordinat sisteminin eksenleri X,Y ; Y,Z veya X,Z; üç eksenli sisteminin eksenleri X, Y, Z şeklinde ifade edilir (Uyanık, 2006).



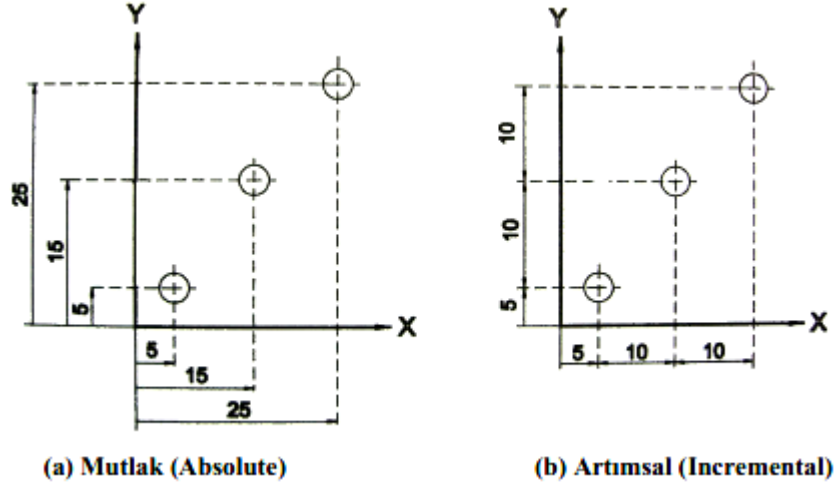
Şekil 2.7. Üç eksenli koordinat sistemi.

Nümerik kontrol sistemlerinde koordinat sisteminin orijinine sıfır noktası da denilir.

2.3.1. Mutlak ve Artımsal Koordinatlar

İş parçasının üretilmesi, kontrol ünitesine girilen geometrik veriler ya mutlak (absolute) ya da artımsal (incremental) koordinat değerlerine göre yapılır. Mutlak ölçümde bütün noktalar, koordinat sisteminde belirlenmiş olan sıfır (zero) noktasına göre alınır. Artımsal ölçümde ise, kesicinin bulunduğu mevcut yeri sıfır noktası olarak kabul edilir ve ölçüm bu noktadan itibaren yapılır. Şekil 2.8' de

mutlak ve artımsal koordinat sistemi gösterilmektedir. Freze tezgahı programlanırken, G90 mutlak koordinat sistemini, G91 artımsal koordinat sistemini belirtir (Uyanık, 2006).



Şekil 2.8. Mutlak ve Artımsal koordinat sistemi.

2.3.2. CNC Sıfır ve Referans Noktaları

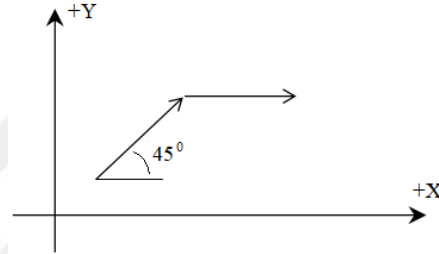
NC tezgâhlarında boyutsal bilgilerin hesaplanmasında sıfır noktaları referans alınır. İş parçasının boyutsal bilgileri de genellikle bu noktalar referans alınarak yapılır. CNC tezgâhlarda 4 adet sıfır (zero) notası vardır. Bunlar; tezgâh sıfır noktası, tezgah referans noktası, program sıfır noktası ve bölgesel sıfır noktasıdır (Uyanık, 2006).

2.3.3. Kontrol Tipleri

Gelişmiş kontrol sistemleri, interpolasyon (ara hesaplama) fonksiyonu sayesinde aynı anda iki ya da daha fazla eksendeki hareketi birbirlerinin konumlarına bağlı olarak gerçekleştirmektedir. Bu ise eğik ve eğrisel yüzey işlemlerinin yüksek tanımlılıkla sağlanması demektir. CNC tezgâhlarda noktaların konumları Kartezyen Koordinat Sistemine göre belirtilir. Programda, bu koordinat sistemine göre tanımlanacak olan noktaya (geometrik bilgi) ve girilecek G koduna (teknolojik bilgi) bağlı olarak kızak hareketleri notadan noktaya, doğrusal, dairesel (eğrisel) üç şekilde gerçekleşir (Uyanık, 2006).

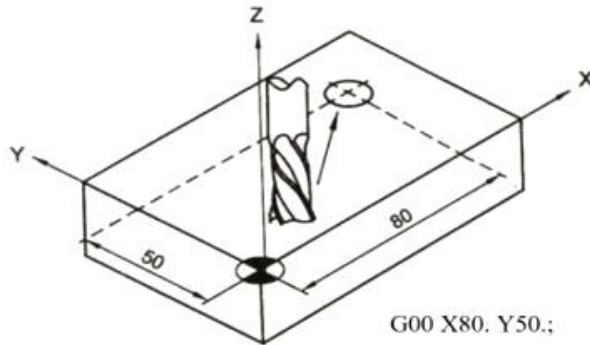
2.3.3.1. Noktadan Noktaya Kontrol

Tezgâh kızaklarının belirli bir koordinat noktasına en kısa zamanda gitmesi için noktadan noktaya kontrol kullanılır. Bu hareket tipi hızlı hareket, boşta hareket ya da pozisyonlama olarak adlandırılır. Noktadan noktaya hızlı hareket esnasında kesinlikle talaş kaldırma işlemi yapılmaz. Hızlı hareket komutu aynı anda iki ya da daha fazla eksenle verilebilir. Bu durumda kızakların yapacağı hareket, tezgâhtan tezgâha farklılık gösterir. Kesici her iki eksenle sırayla doğrusal hareket yaparak hedef noktaya ulaşabilir (Uyanık, 2006).



Şekil 2.9. Noktadan noktaya hareket.

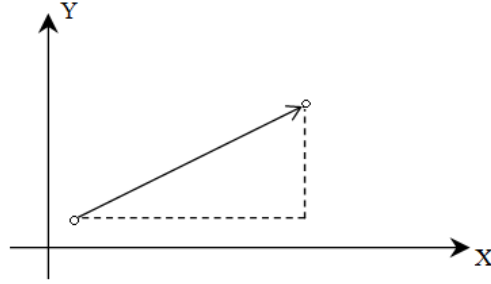
Hedef noktaya en kısa yoldan ulaşabilir ya da her iki eksenle 45 derece açılı hareket ederek hedefe varabilir. Kullanılacak yöntem tezgâhın parametresi ile belirlenebilir. Yaygın olarak kullanılan yöntem, her iki eksenle de aynı anda 45 derece açıda ve maksimum hızda hareketin gerçekleştirilmesidir. Şekil 2.9'da noktadan noktaya hareket gösterilmektedir (Uyanık, 2006). Noktadan noktaya hareket (hızlı hareket) G00 komutuyla tanımlanır. Şekil 2.10'da noktadan noktaya hareket uygulaması gösterilmektedir (Uyanık, 2006).



Şekil 2.10. Noktadan noktaya hareket uygulaması.

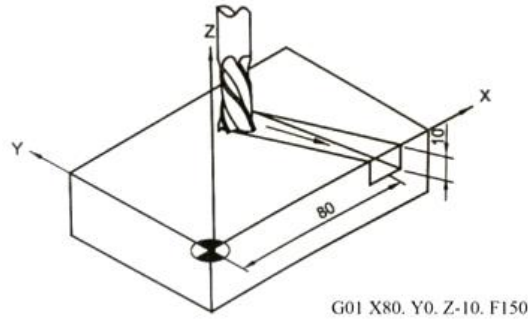
2.3.3.2. Doğrusal Hareket Kontrolü

Hareket bir ya da daha fazla eksende düz bir çizgi üzerinde gerçekleşir. Şekil 2.11’de doğrusal interpolasyon gösterilmektedir. Hareketin başlangıcından bitişine kadar olan sürede kontrol ünitesinin tam kontrolü vardır (Uyanık, 2006).



Şekil 2.11. Doğrusal interpolasyon.

Kontrol ünitesi programlanan doğrusal hareketi gerçekleştirmek için kızak hareket hızlarını sürekli ölçer ve gerekli hız ayarlamasını yapar. Doğrusal interpolasyonda kesici iş parçasından talaş kaldırır. Şekil 2.12’de örnek bir uygulama gösterilmiştir. Doğrusal Hareket G01 komutuyla tanımlanır (Uyanık, 2006).



Şekil 2.12. Doğrusal interpolasyon uygulaması.

2.3.3.3. Dairesel Hareket Kontrolü

Dairesel hareket kontrolünde, hareket her iki ekseninde ve eğrisel bir hat üzerinden gerçekleşir. Kontrol ünitesi, dairesel hareketi sağlamak için kızak hareket hızlarını sürekli ölçer ve gerekli hız ayarlamalarını yapar.

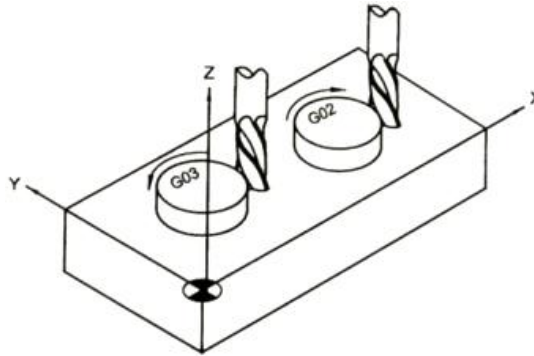
Doğrusal harekette olduğu gibi dairesel harekette de kesici takım F kodu ilerleme değerinde hareket ederek, talaş kaldırılır. Dairesel hareket kontrolü ile daire

ve yayların programlanması basitleştirilmiştir. Dairesel interpolasyon, yay yada eğriyi küçük doğrusal hareket ile oluşturur. Şekil 2. 13 'teki gibi bu doğrusal hareketler ne kadar küçük olursa, daire ve yaylar o kadar hassas çıkar (Uyanık, 2006).



Şekil 2.13. Dairesel interpolasyon.

Eğrisel hareket için iki farklı G kodu kullanılır. G02 kodu ile saat ibresi dönüş yönünde bir dairenel hareket, G03 kodu ile saat ibresinin dönüşünün tersi yönde bir dairenel hareket yapılır. Dairesel harekette kesicinin gideceği hedef noktanın koordinat bilgilerine ek olarak yayın yarıçapı değeri ya da yay merkezinin orijine olan I, J, K değerlerinin bilinmesi gerekir. Şekil 2.14'te dairenel interpolasyon uygulaması gösterilmektedir (Uyanık, 2006).



Şekil 2.14. Dairesel interpolasyon uygulaması.

2.4. PROGRAM YAPISI VE G KODLARI

Bir CNC takım tezgâhını çalıştırmak için kontrol ünitesine verilen komut gurubu program olarak adlandırılır. Programda yer alan komutların sırasına göre takımlar hareket eder ve yardımcı fonksiyonlar çalışır. CNC tezgaha girilen komutlar, Uluslararası Standart Örgütüne göre standartlaştırılmıştır.

Bir programdaki en küçük yapı adres olarak isimlendirilir. N, G, M, X, F kodları adresi oluşturur. Tek başına bir anlam ifade etmeyen adresler kendilerini takip eden sayısal değer ya da kod ile bir komutu oluşturur. Bu form kelime (word) olarak adlandırılır. Örnek olarak; G01, X30, F120 birer kelimedir (Uyanık, 2006).

Parça programı (part program), her biri ayrı fonksiyonu yerine getiren bloklardan oluşur. Bir yada daha fazla kelimedenden oluşan birer satırlık komutlar grubuna blok denir. Bu nedenle bloklar satır olarak da adlandırılır. Her bloğun başında bir blok numarası bulunur; blok numarası N ve ondan sonra bir sayıdır (Uyanık, 2006).

N25 G01 X100. Y70. Z-5. F130.; (Blok)
 └┬┘ └┬┘ └┬┘
 Kelime Değer Adres

Şekil 2.15. Program kod satırı.

Şekil 2.15’te CNC programının 25. satırına (N25) G01 hazırlık fonksiyonu yazılarak, bu fonksiyonla X, Y, Z ve F adresleri kullanılmıştır. X, Y ve Z’den sonra eksen koordinat, F’den sonra ise iş mili sayısal değerleri belirtilmiştir (Uyanık, 2006).

Kesicinin doğrusal hareketini, dairesel hareketini, çevrim uygulamalarını, çalışma düzeni ve ölçü birimi seçimini bekleme süresini vb. kapsayan hazırlık fonksiyonlarına G kodları denir. G kodları modal (kalıcı) ve modal olmayan gibi iki gruba ayrılır. G kodlarının büyük bir kısmı modaldır. Modal G kodları bir bloğa yazıldıktan sonra, iptal edilinceye kadar, ondan sonra gelen bloklarda da geçerli olurlar. İptal işlemi aynı gruptan bir başka G kodun veya o işlemi iptal eden bir kodun yazılması ile gerçekleştirilir. Örneğin G00 kodu G01, G02, G03 veya G33 kodları ile iptal edilir. G41, G42 takım telafisi kodları G40 kodu ile iptal edilir. Modal olmayan G kodları ise

tek satırlık kodlardır, uygulandıkları satırdan sonra iptal olurlar. Çizelge 2.2’ de en çok kullanılan G kodları ve bu kodlara ait fonksiyonlar gösterilmektedir (Uyanık, 2008).

Çizelge 2.2. G kod ve fonksiyonları.

Kod	Fonksiyon
G00	Seri hareketle pozisyonlama
G01	Kesme hızında doğrusal hareket; doğrusal interpolasyon
G02	Kesme hızında, saat ibresi yönünde dairesel hareket
G03	Kesme hızında, saat ibresi ters yönünde dairesel hareket
G04	Duraklatma (Zaman beklemesi)
G05	Tutma, operatör tarafından iptal
G07	Standardizasyon
G08	Programlanmış kızak ivmelenmesi
G09	Programlanmış kızak ivmelenmesinin yavaşlatılması
G10	Doğrusal interpolasyon (Uzun boyutlar)
G11	Doğrusal interpolasyon (Kısa boyutlar)
G12	3D (3 boyutlu) interpolasyon
G13-G16	Eksen seçimi
G17	X-Y Düzlemi
G18	X-Z Düzlemi
G19	X-Z Düzlemi
G20	Ölçülerin “inç” cinsinden girilmesi
G21	Ölçülerin “mm” cinsinden girilmesi
G22-G23	Kullanım alanının sınırlandırılması
G28	Takımı referans noktasına gönderme
G29	Takımı referans noktasından geri gönderme
G30	Dairesel interpolasyon saat ibresine ters yönde (Uzun boyutlar)
G31	Dairesel interpolasyon saat ibresine ters yönde (Kısa boyutlar)
G32	Sabit kesitli diş açma
G33	Diş açma
G34	Artan kesitli diş açma
G35	Azalan kesitli diş açma
G40	Takım telafisi iptali
G41	Takım telafisinin sola ayarlanması
G42	Takım telafisi sağa ayarlanması
G43	Takım telafisi, pozitif
G44	Takım telafisi, negatif
G53	Doğrusal değişimin iptali
G54-G59	İş koordinat sisteminin iptali
G62	Hızlı konumlama
G63	Süratlenme
G64	Oran değişimi
G70-G79	Tornalama için tekrarlanan işlem kodları
G80-G89	Delme için tekrarlanan işlem kodları
G90	Mutlak koordinat sistemi
G91	İzafi koordinat sistemi
G92	Programda sıfır (Park) noktası tanımlama
G98-G99	İlerleme hızı mm/dak (veya G94)-İlerleme hızı mm/dev (veya G95)

X, Y, Z eksen kodları, M kodları yardımcı fonksiyonlar, S kodu iş mili devri, F kodu ilerleme hızı, T kodu takım fonksiyonu, Blok atlama Skip fonksiyonu program yapısının fonksiyonlarıdır (Uyanık, 2006).

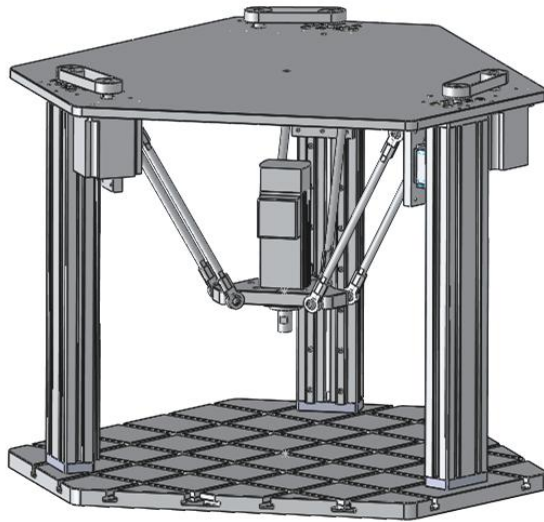
BÖLÜM 3

LİNEER DELTA ROBOTUN PROTOTİPİ VE PERFORMANSI

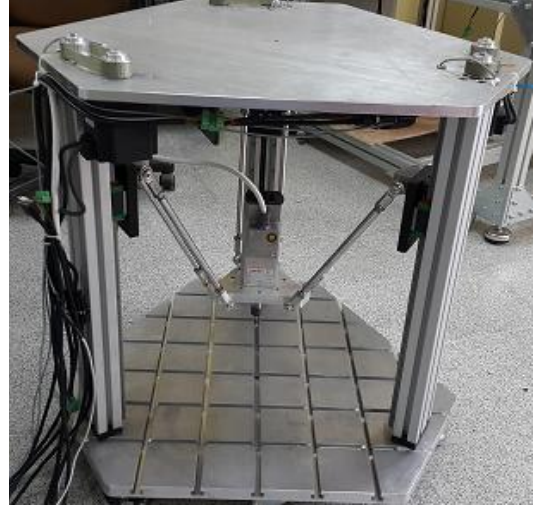
Bu bölümde, lineer delta robot mekanizmasının tasarımı ve prototipi gerçekleştirilmiş ve robotun doğruluk ve tekrarlanabilirlik testleri de yapılmıştır.

3.1. LİNEER DELTA ROBOT MEKANİZMASININ TASARIMI

Şekil 3.1’de tasarlanan lineer delta robot mekanizmasının katı modeli ve prototipi gösterilmektedir.



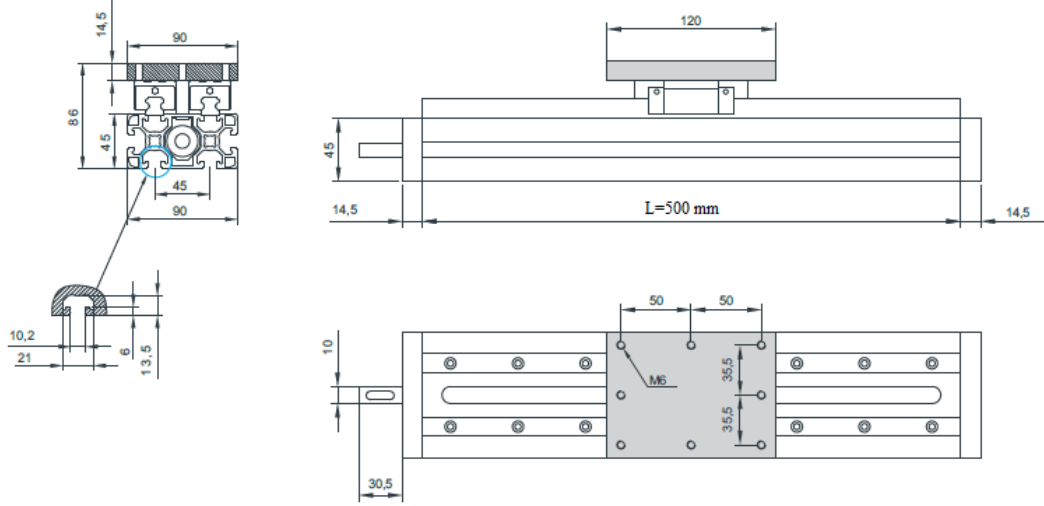
(a)



(b)

Şekil 3.1. Tasarlanan lineer delta robot a) katı modeli ve b) prototipi.

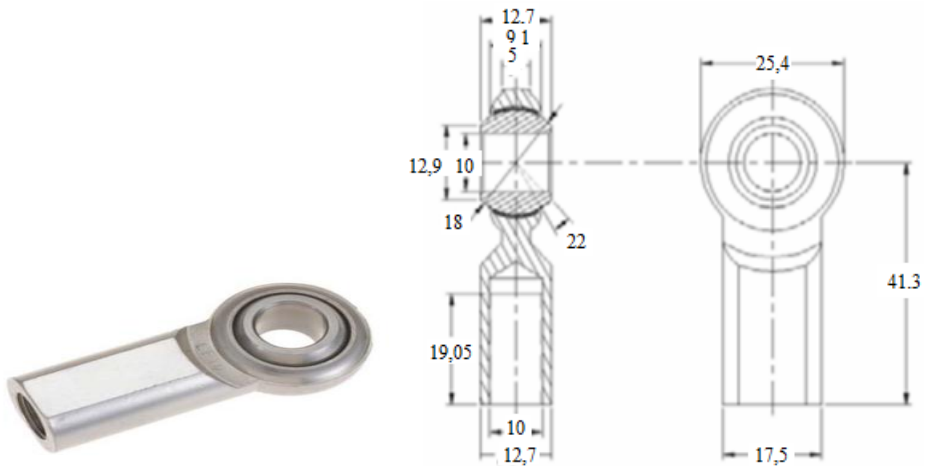
Prototip olarak tasarlanan paralel kinematik mekanizması 3 serbestlik dereceli olup literatürde lineer delta robot olarak geçmektedir. 3 ayrı step motor kullanılarak hareket kontrol kartı ile robot kontrol edilmektedir. Lineer delta robotun, kolları üzerinde doğrusal hareket yapmasını sağlamak için lineer modül kullanılmıştır. Şekil 3.2’de lineer modülün ayrıntılı teknik resmi gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Lineer modülün ayrıntılı teknik resmi.

Lineer modülün gövdesi 45x90 alüminyum 6063 profilden yapılmış olup, hareket hızı 0,1 m/s, 1 turda aldığı yol 5 mm, vidalı mili Ø12 mm çapında, 15'lik lineer ray ve dar lineer araba kullanılmakta ve pozisyon konumlama hassasiyeti 0,01 mm ve 500 mm çalışma alanına sahiptir.

Lineer modülün doğrusal hareketini, hareketli platforma ileten mafsal olarak küresel mafsal kullanılmış olup radyal boşluk 0,035 mm, aksel boşluk ise 0,05 mm'den azdır ve dönme açısı 22°'dir. Şekil 3.3'te küresel mafsal ve teknik resmi gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Küresel mafsal ve teknik resmi.

Lineer delta robotun alt ve üst platform ve hareketli platformunda alüminyum 7075 malzemesi, hareketli platform ile modül arasındaki rot kollarında ise 10 mm krom kaplı indüksiyonlu mil kullanılmıştır.

Lineer modülleri tahrik eden step motorları ise 3,5 Nm tutma torkuna sahip ve 3,8 A akım çekmektedir. Step motorları, 200 KHz pulse üretebilen step motor sürücü ile sürülmektedir. Şekil 3.4'te step motor ve step motor sürücüsü gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Step motor ve step motor sürücüsü.

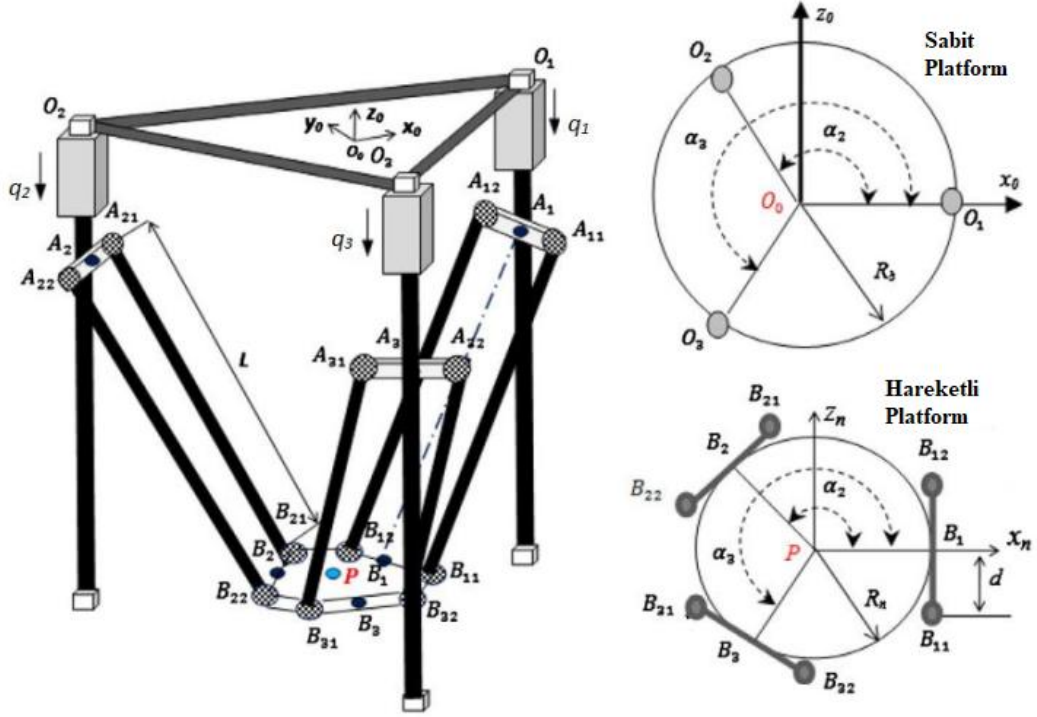
Lineer delta robotun mekanizmasının kontrolü ise AKZ250 USB kontrol kartı ile step motorların yönlendirilmesi yapılmıştır. Bu kontrol kartı 200 KHz puls çıkışı verebilmekte ve USB üzerinde iletişime geçmektedir. Şekil 3.5'te AKZ250 USB kontrol kartı gösterilmektedir.



Şekil 3.5. AKZ250 USB kontrol kartı.

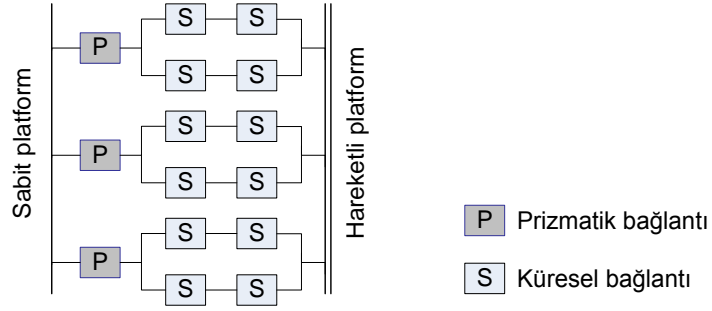
3.2. LİNEER DELTA ROBOT MEKANİZMASININ KİNEMATİĞİ

Şekil 3.6’da lineer delta robotun geometrik tanımlamaları verilmiştir. Şekil 3.7’de görüldüğü üzere 3 serbestlik dereceli (3-SD’li) 3PSS tipi paralel robot yapısındadır. Robot, sabit platforma entegre edilmiş kollar ve hareketli platformdan oluşmaktadır. Hareketli platform ile sabit platform arasındaki bağlantılar α_i açısıyla yerleştirilmiş 3 kinematik zincir ile bağlanmıştır. Her kinematik zincir, L uzunluğunda 2 paralel rot (başında ve sonunda küresel mafsal ile) ve lineer aktüatör ile birleştirilmiştir (Kelaiaia, 2012).



Şekil 3.6. Lineer delta robotun geometrik tanımlaması (Kelaiaia, 2012).

Hareketli platform daima sabit platforma paralel kalmaktadır. Hareketli platform, 3 aktüatörün hep birlikteki hareketinden oluşan hareket ile ötelenmektedir. Literatürde lineer delta robotun kinematik modellemesi için yapılan farklı çalışmalar mevcuttur (Kelaiaia, 2012; Lu vd, 2004; Righettini vd, 2002; Xie vd, 2015; Company ve Pierrot, 2002). Aşağıdaki tanımlamalara bakıldığında:



Şekil 3.7. Lineer delta robotun bağlantı grafiği.

$\{R_0\}$: (O_0-x_0, y_0, z_0) : Sabit platform ile ilgili referans çerçeve olan, “ O_0 ”, $O_1O_2O_3$ eşkenar üçgeninin merkezi ve aynı zamanda R_b yarıçaplı dairenin merkezidir.

$\{R_p\}$: $(P-x_n, y_n, z_n)$: Mobil platform ile ilgili referans çerçeve olan, “ P ”, $B_1B_2B_3$ eşkenar üçgeninin merkezi ve aynı zamanda R_n yarıçaplı dairenin merkezidir.

q_1, q_2, q_3 : 3 lineer aktüatörün strok kontrolü için bağlantı değişkenleri.

R_b : O_0 merkezli dairenin yarıçapı, O_i noktası ile O_0 arasındaki mesafe ve $\|O_0O_i\| = R_b, i = 1,2,3$

R_n : P merkezli dairenin yarıçapı, “ P ”, B_i noktası ve hareketli platformun merkezi arasındaki mesafe ve $\|PB_i\| = R_n, i = 1,2,3$

Lineer delta robotun kinematik modeli, referans çerçeve (R_0) ile ilgili olarak uç işlevcinin (XYZ) konumunu ve yönelimini ifade etmektedir. Aşağıda Eşitliklere bakıldığında:

$$A_i B_i^2 - L^2 = 0, i=1, 2, 3. \quad (3.1)$$

Hareketli platformla ilgili referans çerçevedeki B_i noktasının koordinatları Eşitlik 3.2’de verilmiştir.

$$[B_i]_{sabit} = \begin{bmatrix} x + R_n \cos \alpha_i \\ y + R_n \sin \alpha_i \\ z \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

Sabit platformla ilgili referans çerçevedeki A_i noktasının koordinatları Eşitlik 3.3'de verilmiştir.

$$[A_i]_{sabit} = \begin{bmatrix} R_b \cos \alpha_i \\ R_b \sin \alpha_i \\ q_i \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

$$\alpha_i = \frac{2\pi}{3}(i - 1), \quad i = 1, 2, 3 \quad (3.4)$$

Eşitlik 3.1, ters kinematik modelin ifadesini kurmak için kullanılarak Eşitlik 3.5 elde edilmiştir.

$$q_i = z + \sqrt{L^2 - (x - (R_b - R_n) \cos \alpha_i)^2 - (y - (R_b - R_n) \sin \alpha_i)^2} \quad (3.5)$$

Lineer delta robotun ileri kinematik modelini oluşturmak için x , y , z ile ilgili olarak Eşitlik 3.6'yı çözmek gerekmektedir (Company ve Pierrot, 2002).

$$\begin{cases} Fz^2 + 2Gz + H = 0 \\ y = Az + B \\ x = Cz + D \end{cases} \quad (3.6)$$

Burada:

$$z_{1,2} = \frac{-2G \pm \sqrt{2G^2 - 4FH}}{2F} \quad (3.7)$$

Kabul edilen çözüm ise $z = \min(z_1, z_2)$

$$A = \frac{(q_2 - q_3)}{\sqrt{3}(R_b - R_n)} \quad (3.8)$$

$$B = \frac{q_3^2 - q_2^2}{2\sqrt{3}(R_n - R_b)} \quad (3.9)$$

$$C = \frac{2(q_2 - q_1) - A(R_n - R_b)\sqrt{3}}{3(R_b - R_n)} \quad (3.10)$$

$$D = \frac{q_1^2 - q_2^2 - B\sqrt{3}(R_n - R_b)}{3(R_b - R_n)} \quad (3.11)$$

$$E = (R_n - R_b) + B \quad (3.12)$$

$$F = A^2 + C^2 + 1 \quad (3.13)$$

$$G = AE + CD - q_1 \quad (3.14)$$

$$H = E^2 + D^2 + q_1^2 - L^2 \quad (3.15)$$

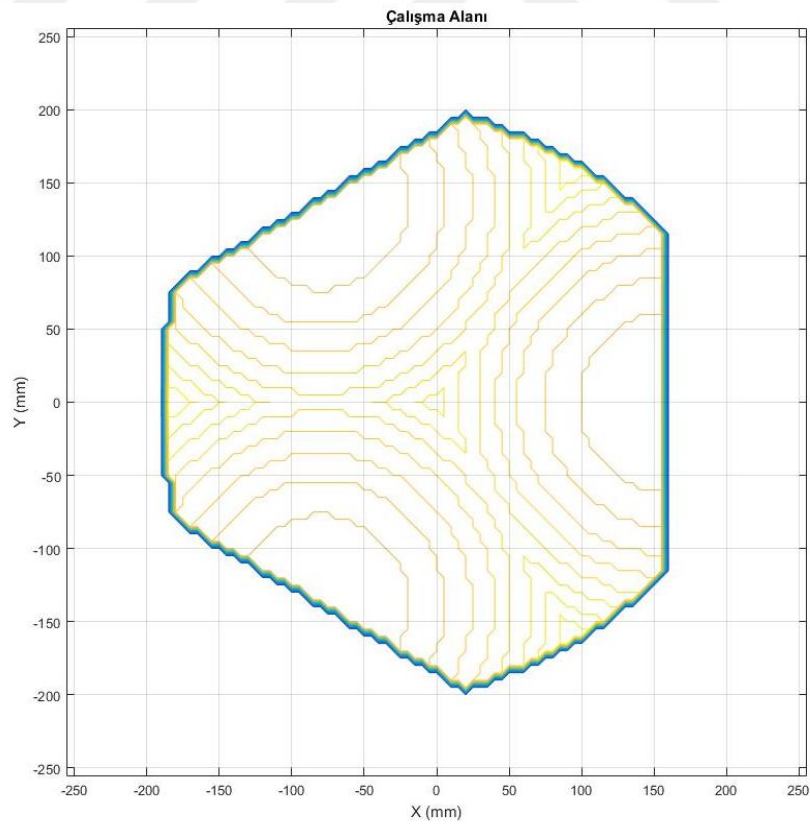
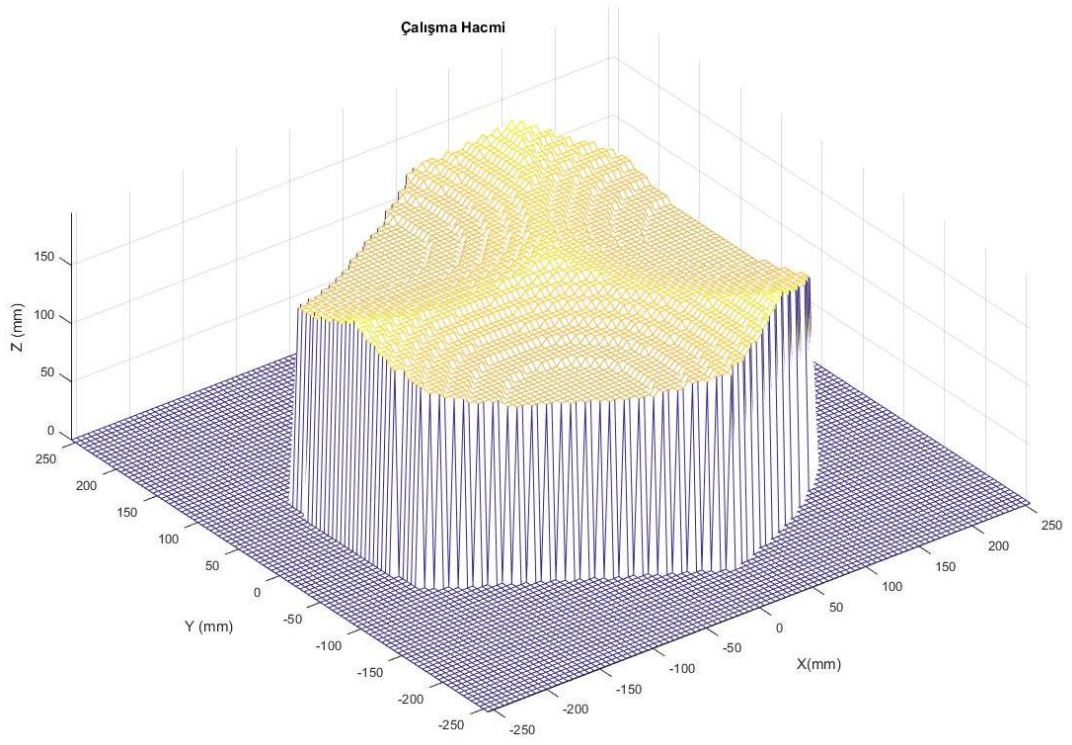
Yukarıdaki Eşitlikler, Eşitlik 3.6'da yerine konulduğunda lineer delta robotun ileri kinematik modeli çıkarılmış olacaktır. Çizelge 3.1'de lineer delta robot için kullanılan parametreler gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Lineer delta robot için kullanılan parametreler.

Açıklama	Değişkenler	Parametreler
Sabit platformun yarıçapı	R_b	250 mm
Hareketli platformun yarıçapı	R_n	90 mm
Kinematik zincirdeki rot uzunluğu	L	350 mm
Sabit platforma yerleştirilen kol açıları	$\alpha_i, i = 1, 2, 3$	0, 120, 240 ⁰

3.3. ROBOTUN ÇALIŞMA ALANI

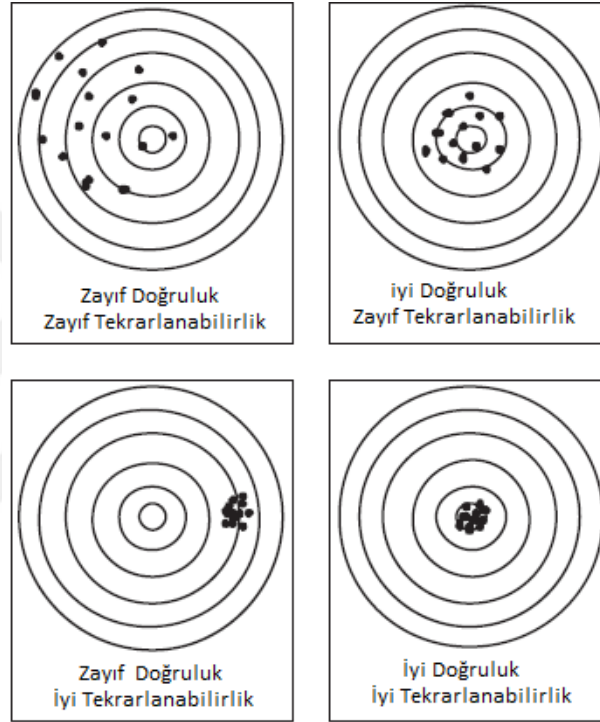
Lineer delta robotun hareketli platformu ile kinematik zincirler arasındaki en küçük açı 5⁰ olacak şekilde çalışma hacmi 18,786 cm³ olarak bulunmuştur. Şekil 3.8'de lineer delta robotun a) çalışma hacmi, b) çalışma alanı gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Lineer delta robotun a) çalışma hacmi, b) çalışma alanı.

3.4. ROBOTUN DOĞRULUĞU VE TEKRARLANABİLİRLİĞİ

Doğruluk ve tekrarlanabilirlik robotun pozisyon performansı ile ilgili parametrelerdir. Doğruluk 3 boyutlu uzayda istenen bir pozisyona hareket etme yeteneği olarak tanımlanır. Tekrarlanabilirlik ise aynı pozisyon ve yönetime tekrarlı olarak robotun gidip gelme hareket yeteneğinin ölçümüdür. Bu parametreler Şekil 3.9’ da verilmektedir (Shiakolas, 2002).



Şekil 3.9. Doğruluk ve tekrarlanabilirlik.

Literatürde açık çevrim metotları ile ilgili görsel sistem olarak kamera (Meng ve Zhuang, 2001), koordinat ölçüm cihazı (Driels vd. 1993; Lightcap vd. 2008) ve lazer takip sistemi (Nubiola, 2011) kullanılmaktadır. Mosqueira vd. (2012) altı serbestlik dereceli bir kuka robotun EN ISO 9283 standardına göre döner-lazer ölçü aleti ile açık çevrim kontrol metodunu kullanarak ortalama doğruluğunu 4,53 mm, kapalı çevrim kontrolünü ise ortalama doğruluğu 0,38 mm bulmuşlardır. Benzer şekilde Ayyıldız (2016), dört serbestlik dereceli bir seri robotun EN ISO 9283 standardına göre koordinat ölçme aleti ile açık çevrim kontrol metodunu kullanarak ortalama doğruluğunu 7,34 mm, ortalama tekrarlanabilirliği ise 4,79 mm bulmuştur.

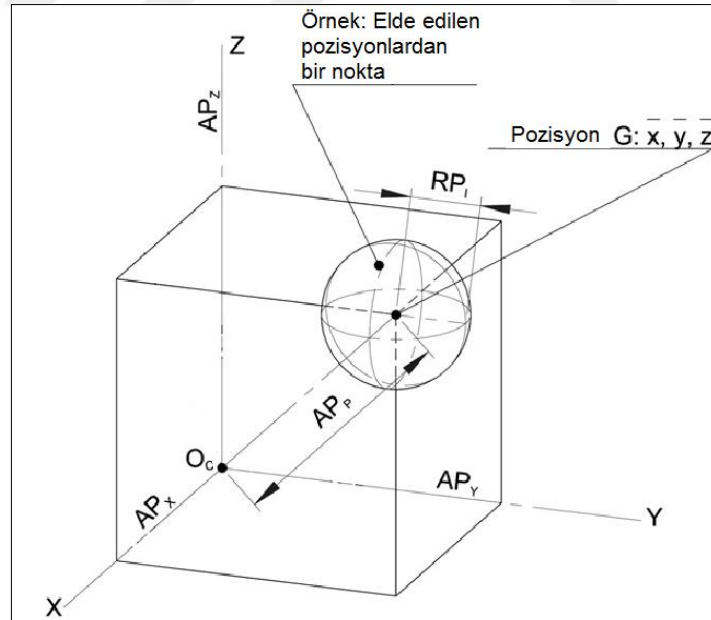
Robot üreticileri, ürettikleri her robotun özelliklerini bir standarda göre belirlemektedir. Bu özellikler ISO 9283 standardına göre gerçekleştirilmektedir (Shiakolas, 2002). ISO 9283 göre poz doğruluğu, aynı yönde gönderilen pozlardan elde edilen ortalama poz ile gönderilen poz arasındaki sapma olarak tanımlanmaktadır (Mosqueira, 2012).

Bu şu şekilde ifade edilir;

Pozisyon Doğruluğu (APP): Elde edilen pozisyonun ağırlık merkezi ile gönderilen pozun pozisyonu arasındaki farktır (Şekil 3.10).

Poz tekrarlanabilirliği: Aynı yönde gönderilen aynı pozların n tekrarlı olarak gidip gelmesi ile elde edilen pozlar arasındaki uyumun yakınlığı olarak ifade edilmektedir.

Yarıçap (RP_i) : Merkezi, ağırlık merkezi olan kürenin yarıçapı olarak tanımlanmaktadır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Pozisyon doğruluğu ve pozisyon tekrarlanabilirliği (Mosqueira, 2012).

3.4.1. Pozisyon Doğruluğunun Hesaplanması

Aynı pozun n defa tekrarlanmasından sonra elde edilen noktalar kümesinin ağırlık merkezinin koordinatları \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} , gönderilen pozun koordinatları x_c , y_c , z_c , elde edilen j'nci pozun koordinatları x_j , y_j , z_j olarak kabul edilmiştir. Sonra Eşitlik 3.16'ya göre pozisyon doğruluğu APP hesaplanmaktadır.

$$AP_p = \sqrt{(\bar{x} - x_c)^2 + (\bar{y} - y_c)^2 + (\bar{z} - z_c)^2} \quad (3.16)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j, \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_j, \bar{z} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n z_j \quad (3.17)$$

Eşitlik 3.17'de \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} koordinatları, n defa tekrarlanan pozun koordinatları olan x_j , y_j , z_j değerlerinin toplamının ortalaması ifade etmektedir.

3.4.2. Pozisyon Tekrarlanabilirliğinin Hesaplanması

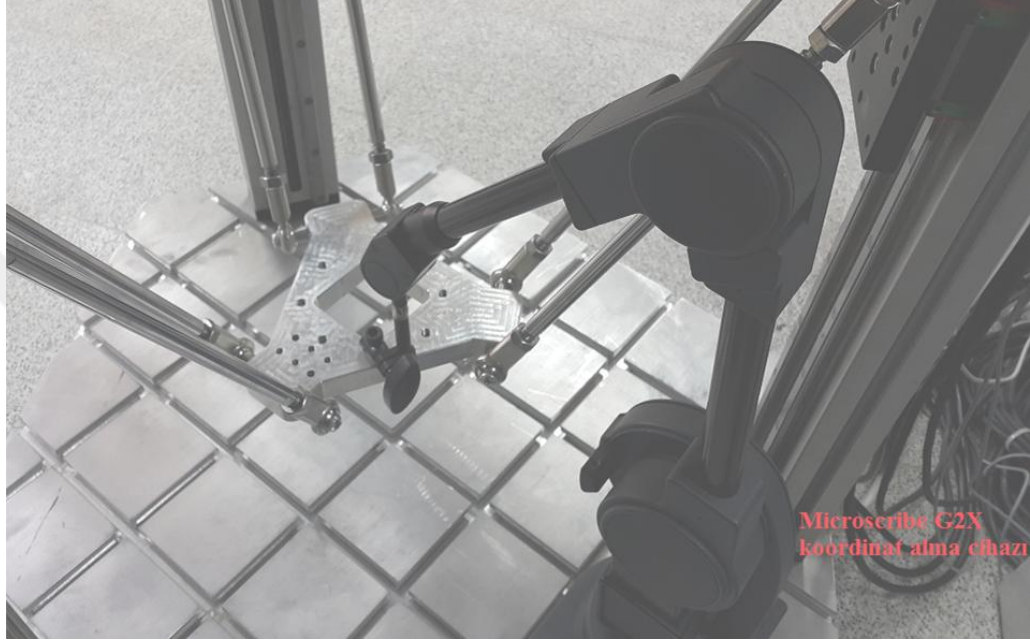
Eşitlik 3.17'de tanımlanan \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} ile x_j , y_j , z_j koordinatları kullanılarak, pozisyon tekrarlanabilirliği RP_1 Eşitlik 3.18'de hesaplanmaktadır.

$$RP_1 = \bar{l} + 3S_l \quad (3.18)$$

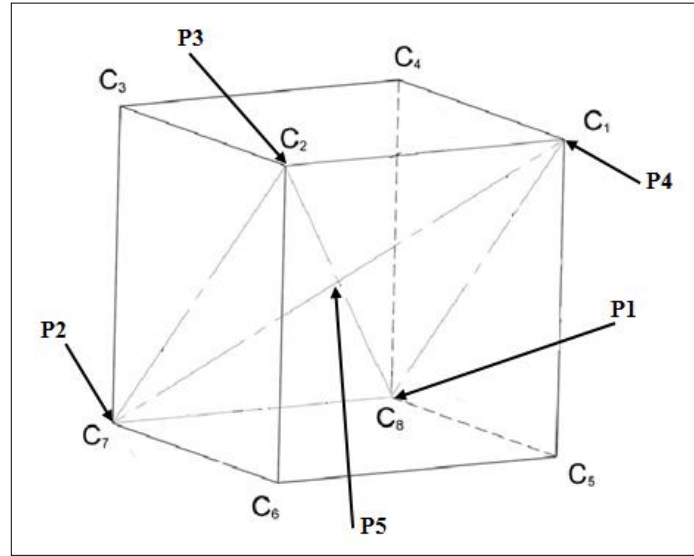
$$\begin{aligned} \bar{l} &= \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n l_j, l_j = \sqrt{(x_j - \bar{x})^2 + (y_j - \bar{y})^2 + (z_j - \bar{z})^2}, S_l \\ &= \sqrt{\sum_{j=1}^n \frac{(l_j - \bar{l})^2}{n-1}} \end{aligned} \quad (3.19)$$

Robotun performansını ölçebilmek için Microscribe G2X koordinat ölçme cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz 0,23 mm hassasiyetinde ölçüm yapabilmektedir (Şekil 3.11).

ISO 9283 standardına göre çalışma uzayına yerleştirilen bir küpün eğik düzlemi içinde test edilen noktaların olması gerekmektedir (Mosqueira, 2012). Küpün bir kenarı 100 mm olarak belirlenmiştir. Beş lm noktası P1-P5 lm düzleminin köşegenlerine yerleştirilmiştir. P5 noktası küpün merkezi ve köşegenlerin kesişimidir. P1-P4 noktaları köşegenler üzerine yerleştirilmiştir (şekil 3.12).



şekil 3.11. Microscribe G2X koordinat alma cihazı ve sisteme montajı.



şekil 3.12. Küpün eğik ölçüm düzlemindeki P1-P5 pozları.

Belirlenen beş noktanın koordinatları Çizelge 3.2’de verilmektedir. Bu koordinatlar robotun merkez noktasına göre alınmıştır.

Çizelge 3.2. P1-P5 noktaları.

Robotun merkezi için pozlar	Pozisyon (mm)		
	X	Y	Z
P1	0	0	0
P2	-100	0	0
P3	-100	100	100
P4	0	100	100
P5	-50	50	50

Tüm programlanan pozlar, P1 noktasından başlayarak lineer olarak poz poz yolları takip etmektedir. Her poz işleminde koordinat ölçme aleti noktaların koordinatları bularak kaydeder. Bu işlem 30 defa tekrarlanarak devam ettirilmiştir. Çizelge 3.3’te doğruluk ve tekrarlanabilirlik değerleri verilmektedir.

Çizelge 3.3. P1-P5 noktaları için ortalama doğruluk ve tekrarlanabilirlik.

ISO 9283’e göre P1-P5 Noktaları için	Pozisyon (mm)	Tekrar sayısı
Ortalama Doğruluk	1,25	30
Ortalama Tekrarlanabilirlik	1.45	30

Çizelge 3.3’de ISO 9283 standardına göre yapılan testlerde robotun ortalama doğruluğu 1,25 mm ve ortalama tekrarlanabilirliği ise 1,45 mm bulunmaktadır. Sonuç olarak yapılan testler açık çevrim kontrol metoduyla yapıldığı için literatürdeki çalışmalara benzerlik göstermektedir (Mosqueira, 2012; Ayyıldız, 2016).

BÖLÜM 4

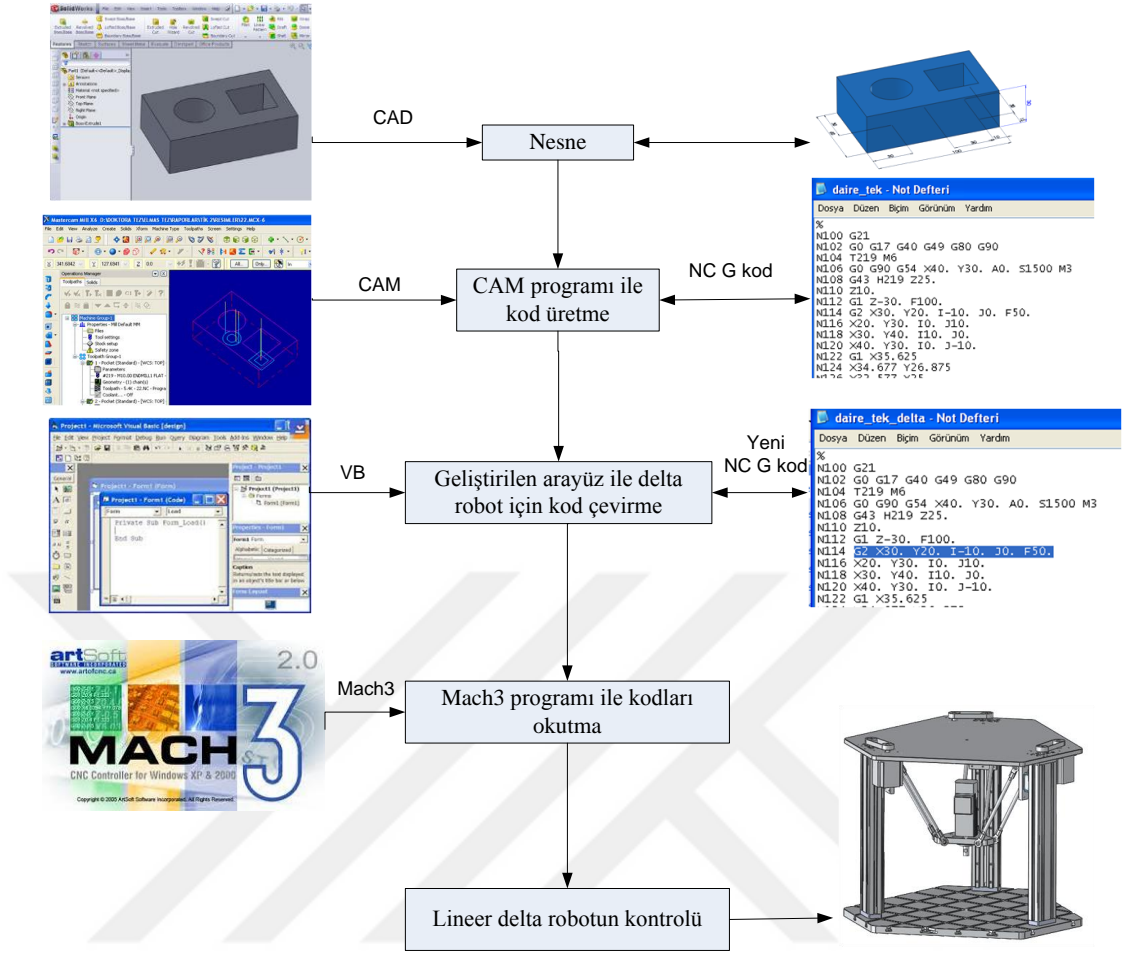
LİNEER DELTA ROBOT KONTROLÜ İÇİN ALGORİTMA GELİŞTİRME

Bu bölümde, lineer delta robot mekanizmasının kontrolü için tasarlanan uygun bir yazılım ile sistemin entegre çalışması anlatılmıştır.

4.1. LİNEER DELTA ROBOT KONTROL YAPISI

Robotun ters kinematik modellenmesi ile tasarlanan ara yüz ve NC kodları bu yapı için anlamlı bir kod sistemine çevrilmiştir. Oluşturulan kodlar ise bir dizi halinde PKM yapısına gönderilerek sistemin kontrolü gerçekleştirilecektir. Şekil 4.1’de lineer delta robotun kontrol yapısı verilmiştir.

Şekil 4.1’deki diyagrama bakıldığında, lineer delta robotun yörünge planlamasını herhangi bir fiziksel nesnenin modelini tasarlayarak, ilgili nesnenin imalat kodlarını CAM programı yardımı ile çıkartılabilmek mümkündür. Burada CAM programıyla çıkarılan imalat kodları kartezyen uzay yapısına göre oluşturulmaktadır. Bu kartezyen uzay yapısındaki kodlar imalat ortamında düşünüldüğünde X, Y, Z eksenlerine bağlı motorlar ile doğrusal hareket ederek işlem yapabilir. Kartezyen yapı için oluşturulan kodlar, tasarlanan lineer delta robot yapısının çalışma uzayındaki hareket yapısına uygun olmamaktadır. Lineer delta robotun A_1 , A_2 , A_3 kollarının doğrusal hareketinin ve bu kolların birleşiminde oluşan öteleme hareketlerinden dolayı, kartezyen yapının anlayabileceği bir kodlama sistemine çevrilmesi gerekmektedir. Bundan dolayı ilgili CAM kodlarının bir arayüz yardımı ile lineer delta robotun A_1 , A_2 , A_3 kollarını öteleme hareketlerine göre ve robotun kinematik denklemlerinden faydalanarak yeni bir kod sistemi oluşturulmaktadır. Oluşturulan yeni kodlar ise lineer delta robotun kontrol edilebilmesi için uygun bir (Mach3) yazılım ile okutulmaktadır. Lineer delta robotun kontrolü bu işlem sırası ile tekrarlanarak gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.1. Delta robotun kontrol akış diyagramı.

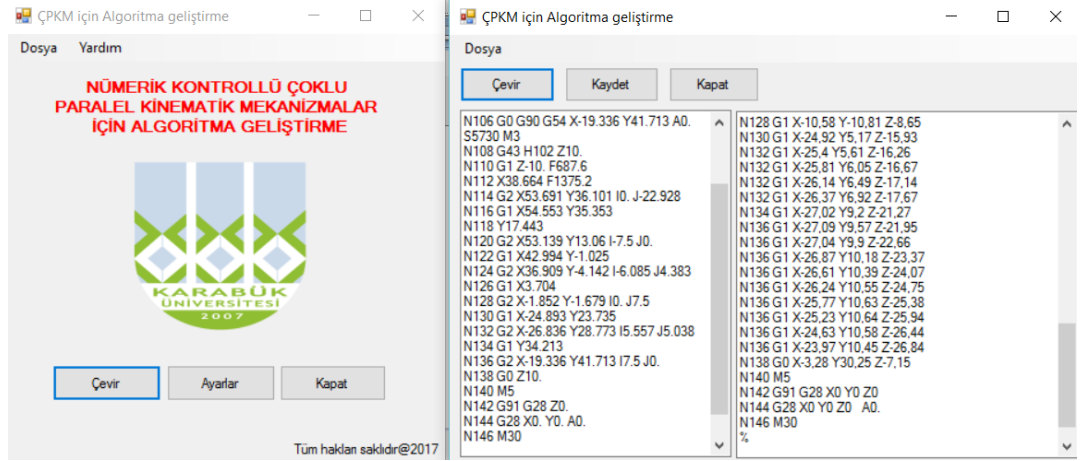
4.2. NÜMERİK KONTROLLÜ ALGORİTMA GELİŞTİRME

Herhangi bir CAM programı kullanılarak bir CAD programında tasarlanan nesnenin imalat kodları çıkarılmakta ve G kodları oluşturulmaktadır. Şekil 4.2’de CAM ile çıkarılmış kod örneği gösterilmektedir.

```
§
O0000 (TUM)
N100 G21
N102 G0 G17 G40 G49 G80 G90
N104 T225 M6
N106 G0 G90 G54 X-62.5 Y2.5 A0. 85730 M3
N108 G43 H225 Z10.
N110 G1 Z-1. F859.5
N112 X2.5 F250.
N114 Y-62.5
N116 X-62.5
N118 Y2.5
N120 G0 Z10.
N122 X-7.5 Y-30.
N124 G1 Z-1. F859.5
N126 G3 X-30. Y-7.5 I-22.5 J0. F250.
N128 X-52.5 Y-30. I0. J-22.5
N130 X-30. Y-52.5 I22.5 J0.
N132 X-7.5 Y-30. I0. J22.5
N134 G0 Z10.
N136 X-46.062 Y-42.33
N138 G1 Z-1. F859.5
N140 X-30. Y-10.543 F250.
N142 X-13.938 Y-42.33
N144 X-46.062
N146 G0 Z10.
N148 M5
N152 G0 X0. Y0. |
N154 M30
§
```

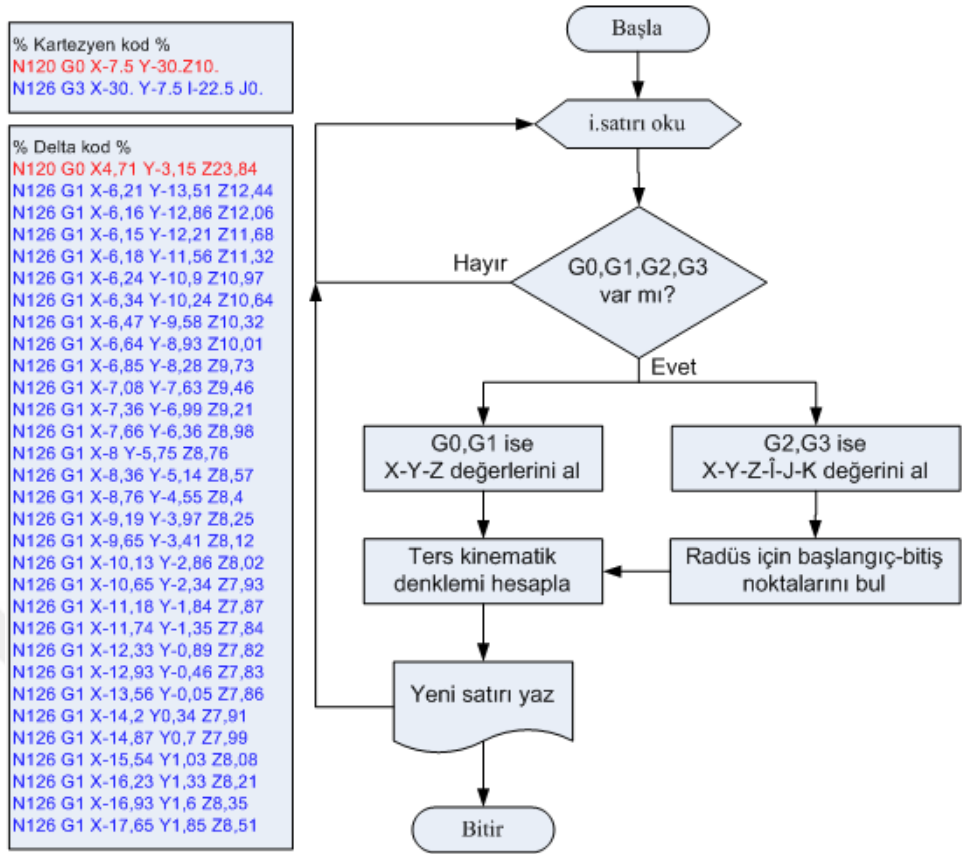
Şekil 4.2. CAM ile çıkarılmış kod örneği.

CAM ile çıkarılmış kodlar kartezyen yapıdaki makine tipleri için uygun olduğundan bu kodların paralel yapıda olan lineer delta robot hareketinin uzayına çevrilmesi gerekmektedir. Bu çevrim için lineer delta robotun kinematik denklemleri kullanılmıştır. Burada lineer delta robotun ters kinematik denklemlerinden faydalanılmıştır (Kelaiaia, 2012; Liu vd, 2004; Righettini vd, 2002; Xie vd, 2015; Company ve Pierrot, 2002). Geliştirilen arayüz, Visual Studio 2015 programının Basic tabanında yazılmıştır. Şekil 4.3'te geliştirilen arayüz programı gösterilmektedir.

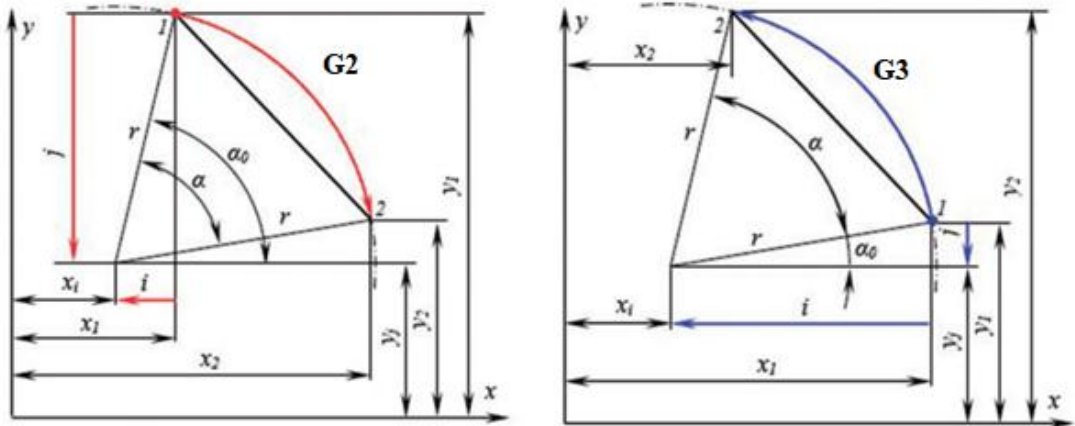


Şekil 4.3. Geliştirilen arayüz programı.

Geliştirilen arayüz sisteminin akış diyagramı Şekil 4.4’te gösterilmektedir. Geliştirilen arayüz de G0, G1, G2, G3 kodları için algoritma geliştirilmiştir. G0 ve G1 kodları için ilgili satırdaki X, Y, Z değerlerini alarak ters kinematik hesaplama yaparak yeni kodu oluşturmaktadır. G2 kod için radüsün başlangıç ve bitiş noktalarını referans alarak, X, Y, Z ve I, J, K değerleri ile saat yönünde doğrusal interpolasyon yapması sağlamak için radüs yolu üzerinde noktalara ayrılmıştır. Bu noktalar radüsün aç ve hipotenüsü bulunarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde G3 kodu içinde geçerlidir. Geliştirilen arayüz G2 ve G3 kodlarını gördüğünde algoritma çalışır ve yeni kodlama ise G1 kodu olarak dönüşür. Şekil 4.5’te G2 ve G3 dairesel interpolasyon parametreleri gösterilmiştir (Petrovic, 2016).



Şekil 4.4. Geliştirilen arayüz sisteminin akış diyagramı.



(a)

(b)

Şekil 4.5. G2 ve G3 dairesel interpolasyonlarının parametreleri.

Şekil 4.5'te gösterilen radüslerin yarıçapı Eşitlik 4.1'de, radüsün açılı ise Eşitlik 4.2 ve 4.3'te verilmiştir (Petrovic, 2016).

$$r = \sqrt{i^2 + j^2} \quad (4.1)$$

$x_c = x_1 + i; \quad y_c = y_1 + j$ için,

$$\alpha_0 = \left| \arctg \left(\frac{y_1 - y_c}{x_1 - x_c} \right) \right|: \alpha_0 = \begin{cases} \alpha_0, y_1 - y_c \geq 0 \wedge x_1 - x_c \geq 0 \\ 180 - \alpha_0, y_1 - y_c \geq 0 \wedge x_1 - x_c < 0 \\ 180 + \alpha_0, y_1 - y_c < 0 \wedge x_1 - x_c < 0 \\ 360 - \alpha_0, y_1 - y_c < 0 \wedge x_1 - x_c \geq 0 \end{cases} \quad (4.2)$$

$$\alpha_1 = \left| \arctg \left(\frac{y_2 - y_c}{x_2 - x_c} \right) \right|: \alpha_1 = \begin{cases} \alpha_1, y_2 - y_c \geq 0 \wedge x_2 - x_c \geq 0 \\ 180 - \alpha_1, y_2 - y_c \geq 0 \wedge x_2 - x_c < 0 \\ 180 + \alpha_1, y_2 - y_c < 0 \wedge x_2 - x_c < 0 \\ 360 - \alpha_1, y_2 - y_c < 0 \wedge x_2 - x_c \geq 0 \end{cases} \quad (4.3)$$

Eşitliklerde x_1, y_1, z_1 radüsün başlangıç koordinatları, x_2, y_2, z_2 radüsün bitiş koordinatları, x_c, y_c, z_c dairesel interpolasyonun merkez koordinatları, r dairesel interpolasyonun yarıçapı, α_0 dairesel interpolasyonun başlangıç açısı, α dairesel interpolasyonun açısını ifade etmektedir. Geliştirilen arayüz program kodları EK A'da verilmiştir.

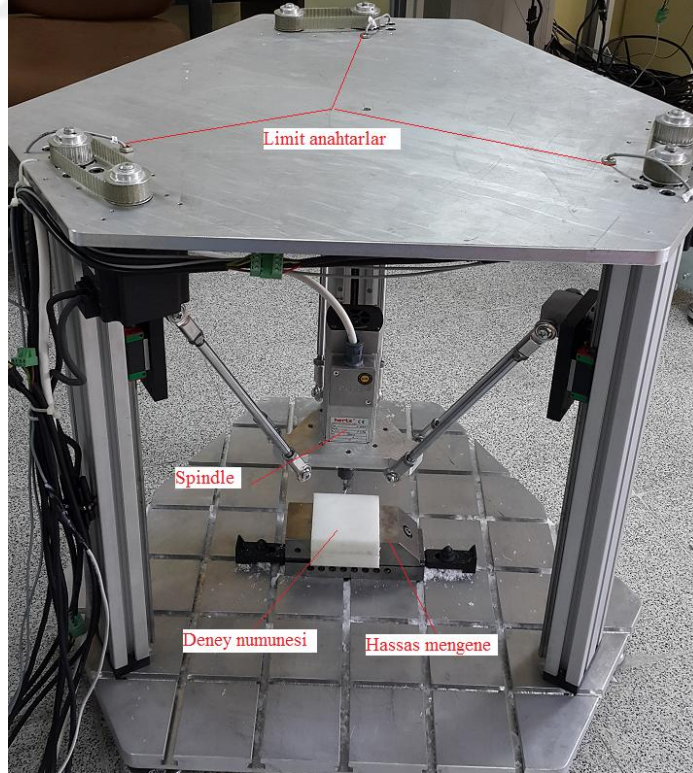
BÖLÜM 5

PERFORMANS DENEYLERİ

Bu bölümde, nümerik kontrollü geliştirilen algoritma ile X, Y, Z ekseni için deneyler yapılarak, geliştirilen algoritmanın performansı değerlendirilmiştir.

5.1. DENEY DÜZENEĞİ TASARIMI

Prototipi yapılan lineer delta robot mekanizması işleme tezgahına dönüştürülerek, 0,75 kW gücünde bir spindle, sabit platform üzerine bir hassas mengene bağlanmış ve lineer delta robotun her koluna limit anahtarlar entegre edilmiştir. Şekil 5.1'de deney düzeneği gösterilmektedir.




Şekil 5.1. Deney düzeneği.

Deneysel testler için kesici takım olarak 5 mm karbür freze, deney numunesi ise 90x90x22 mm boyutlarında polyamid malzeme kullanılmıştır. Çizelge 5.1’de kesici takımın parametreleri verilmiştir.

Çizelge 5.1. Kesici takımın parametreleri.

Parametre	Boyut (mm)
d	5
D	5
l	15
L	50

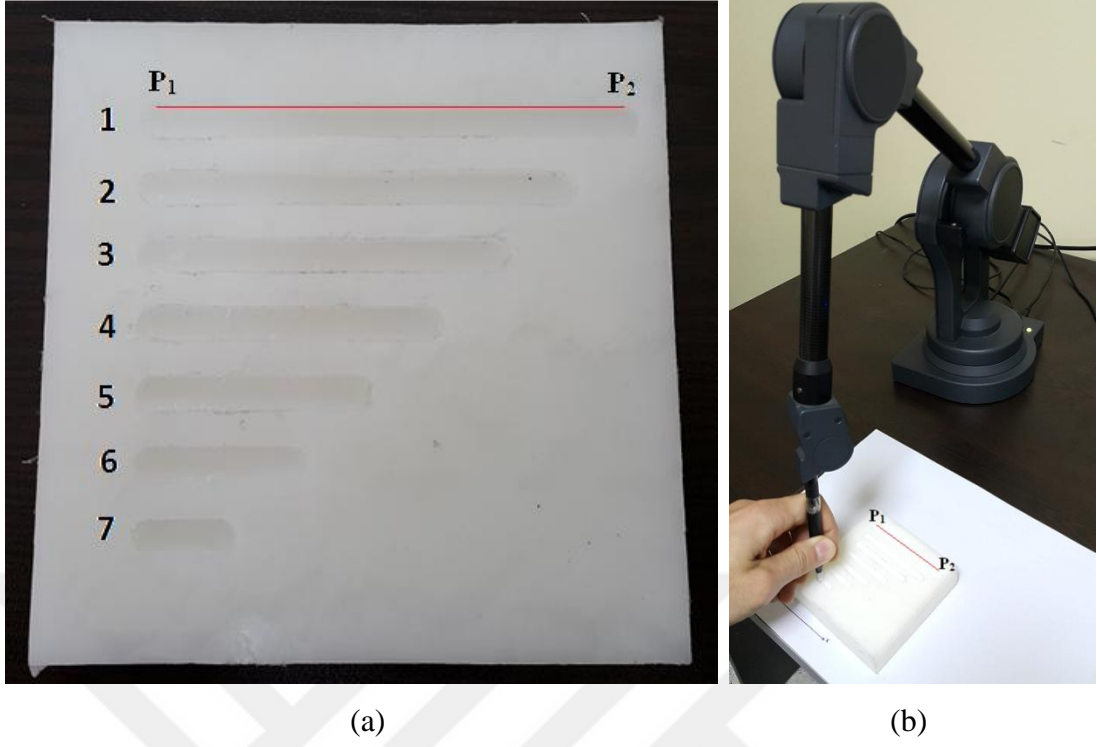


İşleme parametreleri tüm deneyler için dalma derinliği 0,5 mm, ilerleme 150 mm/dak ve iş mili devri 3600 dev/dak olarak belirlenmiştir. Deneylerde soğutucu sıvı kullanılmayıp iş parçası kuru işlenmiştir.

5.2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.2.1. X Eksenindeki Doğrusal Hareketin Performansı

Deneyler X ekseninin performansı için Şekil 5.2a’da gösterilen X eksenini boyunca yedi farklı boyutlarda 3 mm derinliğinde kanallar açılmıştır. CAM programı ile oluşturulan kartezyen yapıdaki G kodlarının bir kısmı Şekil 5.3a’da gösterilmiş olup lineer delta robotun nümerik kontrolü için geliştirilen algoritma ile dönüştürülen yeni G kodları ise Şekil 5.3b’de verilmektedir.



Şekil 5.2. X eksenini için deneysel çalışma a) deney numunesi, b) veri alma.

Şekil 5.2b’de X eksenini boyunca işleme yapılan 1. kanal için koordinat ölçme aleti ile P_1 noktası ile P_2 noktası arasında ölçümler yapılmıştır. Burada 1. kanalın seçilmesinin nedeni kanal boyunun en uzun (70 mm) olması ve hata oranlarının en belirgin olmasından dolayıdır.

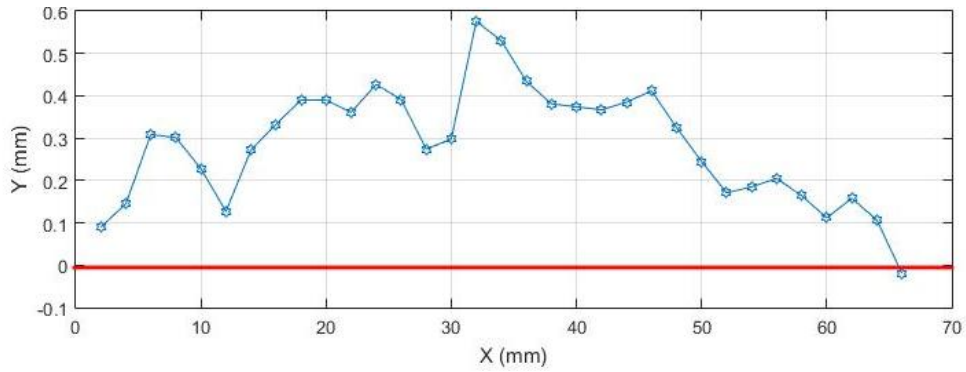
% O0000(X eksen)	% O0000(X eksen)
N102 G0 G17 G40 G49 G80 G90	N102 G0 G17 G40 G49 G80 G90
N104 T120 M6	N104 T120 M6
N106 G0 G90 G54 X-27.426 Y-27.714 A0.	N106 G0 G90 G54 X-17 Y-7,83 Z16,51 A0.
S3600 M3	S3600 M3
N108 G43 H120 Z10.	N108 G43 H120 X-7 Y2,17 Z26,51
N110 G1 Z-.5 F400.	N110 G1 X-17,5 Y-8,33 Z16,01 F400.
N112 X-17.426 F150.	N112 X-11,37 Y-10,23 Z14,24 F150.
N114 G0 Z10.	N114 G0 X-0,87 Y0,27 Z24,74
N116 X-27.426	N116 X-7 Y2,17 Z26,51
N118 G1 Z-1. F400.	N118 G1 X-18 Y-8,83 Z15,51 F400.
N120 X-17.426 F150.	N120 X-11,87 Y-10,73 Z13,74 F150.
N122 G0 Z10.	N122 G0 X-0,87 Y0,27 Z24,74
N124 X-27.426	N124 X-7 Y2,17 Z26,51
N126 G1 Z-1.5 F400.	N126 G1 X-18,5 Y-9,33 Z15,01 F400.
N128 X-17.426 F150.	N128 X-12,37 Y-11,23 Z13,24 F150.
N130 G0 Z10.	N130 G0 X-0,87 Y0,27 Z24,74
N132 X-27.426	N132 X-7 Y2,17 Z26,51
N134 G1 Z-2. F400.	N134 G1 X-19 Y-9,83 Z14,51 F400.
.....

(a)

(b)

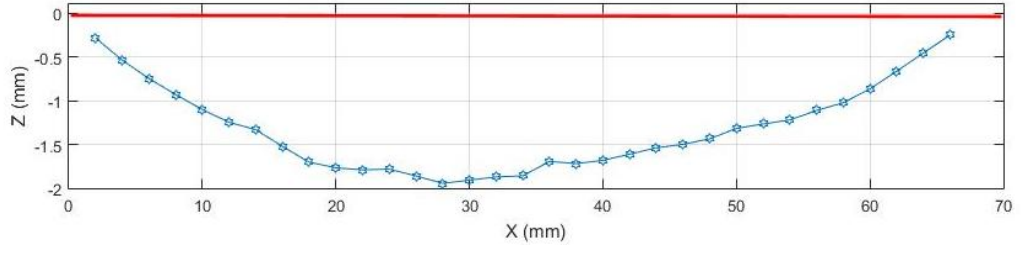
Şekil 5.3. X eksenini için G kodları a) kartezyen, b) lineer delta.

Şekil 5.4'te X eksenini doğrusallığının Y eksenine göre hata grafiği gösterilmektedir. Burada en büyük hata 0,576 mm, en küçük hata ise -0,019 mm olarak bulunmuştur. Standart sapması ise 0,134 mm olarak bulunmuştur.



Şekil 5.4. X eksenini doğrusallığının Y eksenine göre hata grafiği.

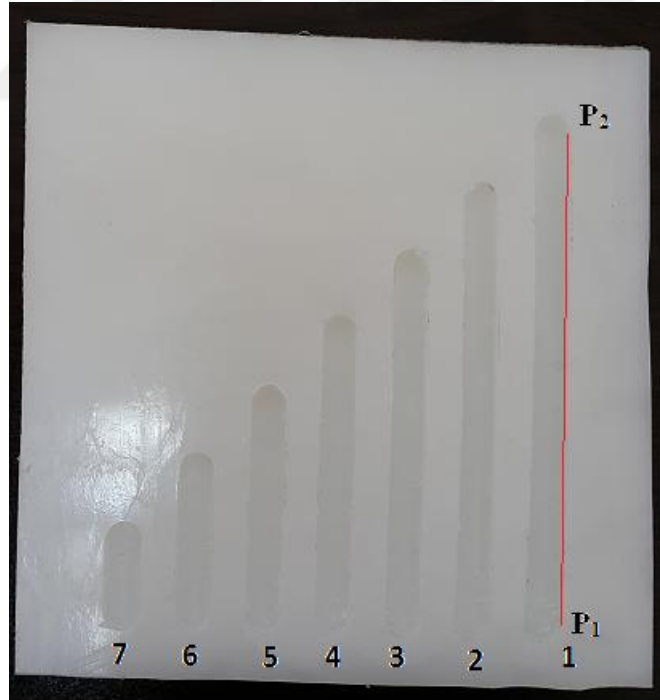
Şekil 5.5'te X eksenini doğrusallığının Z eksenine göre hata grafiği gösterilmektedir. Burada en küçük hata -1,945 mm, en büyük hata ise -0,25 mm olarak bulunmuştur. Standart sapması ise 0,498 mm olarak bulunmuştur.



Şekil 5.5. X eksenini doğrusallığının Z eksenine hata grafiği.

5.2.2. Y Eksenindeki Doğrusal Hareketin Performansı

Y ekseninin performansı için Şekil 5.6'da gösterilen Y eksenine boyunca yedi farklı boyutlarda 3 mm derinliğinde kanallar açılmıştır. CAM programı ile oluşturulan kartezyen yapıdaki G kodlarının bir kısmı Şekil 5.7a'da gösterilmiş olup lineer delta robotun nümerik kontrolü için geliştirilen algoritma ile dönüştürülen yeni G kodları ise Şekil 5.7b'de verilmektedir.



Şekil 5.6. Y eksenine için deneysel çalışma.

Şekil 5.6'da Y eksenine boyunca işleme yapılan 1. kanal için koordinat ölçme aleti ile P₁ noktası ile P₂ noktası arasında ölçümler yapılmıştır.

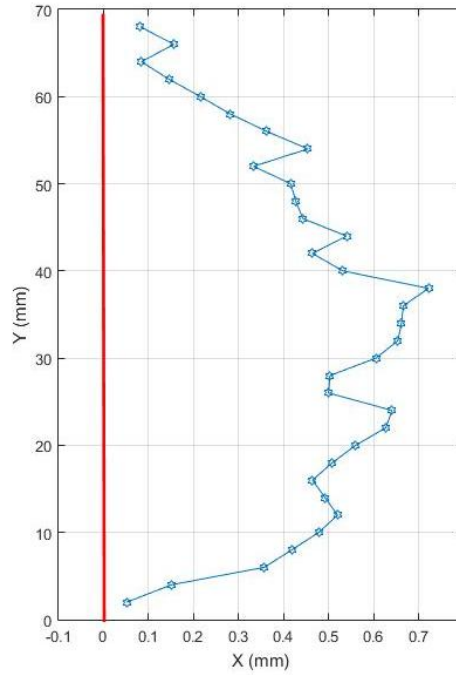
% O0000(Y Ekseni)	% O0000(X ekseni)
N102 G0 G17 G40 G49 G80 G90	N102 G0 G17 G40 G49 G80 G90
N104 T120 M6	N104 T120 M6
N106 G0 G90 G54 X-29.149 Y-35.382	N106 G0 G90 G54 X-20,93 Y-13,86 Z17,27
A0. S1200 M3	A0. S1200 M3
N108 G43 H120 Z10.	N108 G43 H120 X-8,93 Y-1,86 Z29,27
N110 G1 Z-.5 F400.	N110 G1 X-19,43 Y-12,36 Z18,77 F400.
N112 Y-25.382 F150.	N112 X-18,4 Y-6,77 Z15,48 F150.
N114 G0 Z10.	N114 G0 X-7,9 Y3,73 Z25,98
N116 Y-35.382	N116 X-8,93 Y-1,86 Z29,27
N118 G1 Z-1. F400.	N118 G1 X-19,93 Y-12,86 Z18,27 F400.
N120 Y-25.382 F150.	N120 X-18,9 Y-7,27 Z14,98 F150.
N122 G0 Z10.	N122 G0 X-7,9 Y3,73 Z25,98
N124 Y-35.382	N124 X-8,93 Y-1,86 Z29,27
N126 G1 Z-1.5 F400.	N126 G1 X-20,43 Y-13,36 Z17,77 F400.
N128 Y-25.382 F150.	N128 X-19,4 Y-7,77 Z14,48 F150.
N130 G0 Z10.	N130 G0 X-7,9 Y3,73 Z25,98
N132 Y-35.382	N132 X-8,93 Y-1,86 Z29,27
N134 G1 Z-2. F400.	N134 G1 X-20,93 Y-13,86 Z17,27 F400
.....

(a)

(b)

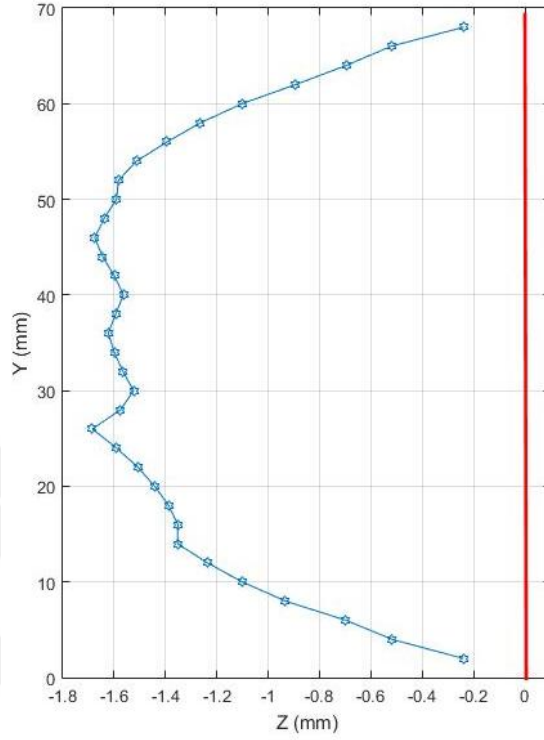
Şekil 5.7. Y ekseni için G kodları a) kartezyen, b) lineer delta.

Şekil 5.8’de Y ekseni doğrusallığının X eksenine göre hata grafiği gösterilmektedir. Burada en büyük hata 0,722 mm, en küçük hata ise 0,051 mm olarak bulunmuştur. Standart sapması ise 0,185 mm olarak bulunmuştur.



Şekil 5.8. Y ekseni doğrusallığının X ekseni hata grafiği.

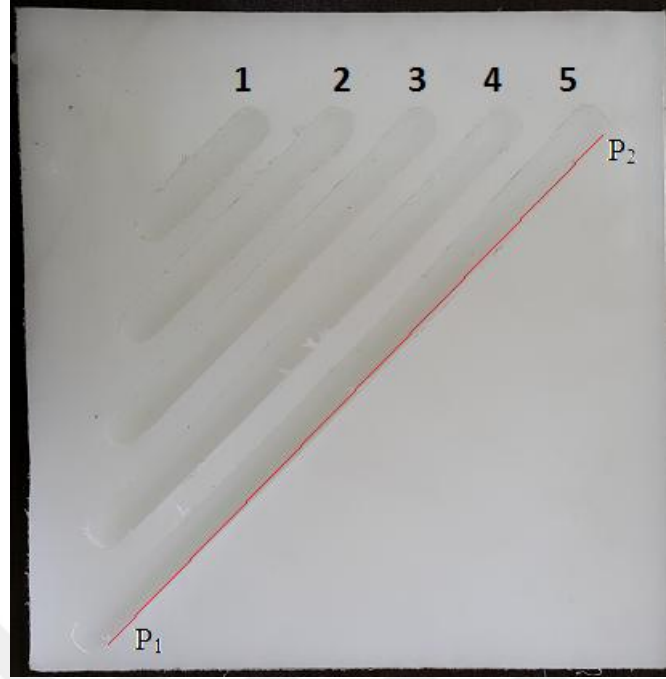
Şekil 5.9'da Y eksenini doğrusallığının Z eksenine göre hata grafiği gösterilmektedir. Burada en küçük hata -1,685 mm, en büyük hata ise -0,239 mm olarak bulunmuştur. Standart sapması ise 0,43 mm olarak bulunmuştur.



Şekil 5.9. Y eksenini doğrusallığının Z eksenine hata grafiği.

5.2.3. X ve Y Eksenlerinin Doğrusal Hareketin Performansı

X ve Y ekseninin performansı için Şekil 5.10'da gösterilen X ve Y eksenini boyunca beş farklı boyutlarda 3 mm derinliğinde kanallar açılmıştır. CAM programı ile oluşturulan kartezyen yapıdaki G kodlarının bir kısmı Şekil 5.11a'da gösterilmiş olup lineer delta robotun nümerik kontrolü için geliştirilen algoritma ile dönüştürülen yeni G kodları ise Şekil 5.12b'de verilmektedir.



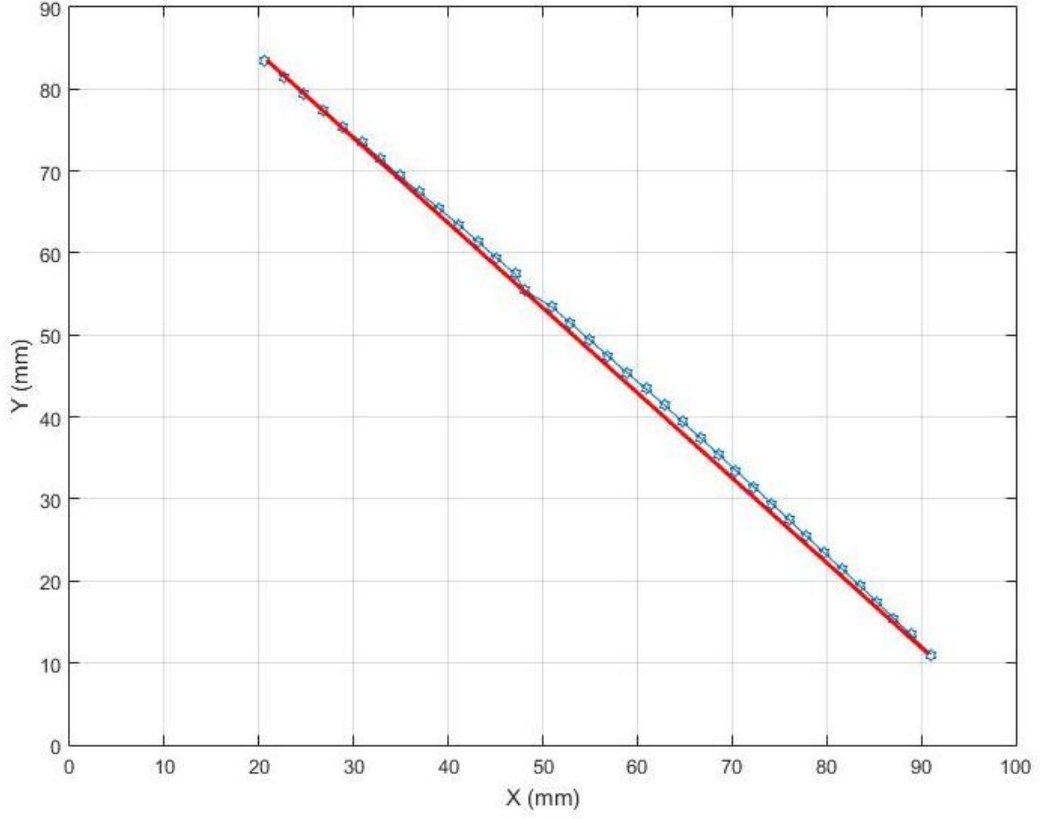
Şekil 5.10. Y eksenini için deneysel çalışma.

Şekil 5.10'da X ve Y eksenini boyunca işleme yapılan 5. kanal için koordinat ölçme aleti ile P₁ noktası ile P₂ noktası arasında ölçümler yapılmıştır.

<pre>% O0000(XY Eksenini) N102 G0 G17 G40 G49 G80 G90 N104 T121 M6 N106 G0 G90 G54 X-31.654 Y-28.911 A0. S3600 M3 N108 G43 H121 Z10. N110 G1 Z-.2 F400. N112 X39.057 Y41.8 F150. N114 G0 Z10. N116 X-31.654 Y-28.911 N118 G1 Z-.4 F400. N120 X39.057 Y41.8 F150. N122 G0 Z10. N124 X-31.654 Y-28.911 N126 G1 Z-.6 F400. N128 X39.057 Y41.8 F150. N130 G0 Z10. N132 X-31.654 Y-28.911 N134 G1 Z-.8 F400.</pre>	<pre>% O0000(X eksenini) N102 G0 G17 G40 G49 G80 G90 N104 T121 M6 N106 G0 G90 G54 X-19,86 Y-7,78 Z17,56 A0. S3600 M3 N108 G43 H121 X-9,86 Y2,22 Z27,56 N110 G1 X-20,06 Y-7,98 Z17,36 F400. N112 X14,28 Y3,09 Z-36,18 F150. N114 G0 X24,48 Y13,29 Z-25,98 N116 X-9,86 Y2,22 Z27,56 N118 G1 X-20,26 Y-8,18 Z17,16 F400. N120 X14,08 Y2,89 Z-36,38 F150. N122 G0 X24,48 Y13,29 Z-25,98 N124 X-9,86 Y2,22 Z27,56 N126 G1 X-20,46 Y-8,38 Z16,96 F400. N128 X13,88 Y2,69 Z-36,58 F150. N130 G0 X24,48 Y13,29 Z-25,98 N132 X-9,86 Y2,22 Z27,56 N134 G1 X-20,66 Y-8,58 Z16,76 F400.</pre>
(a)	(b)

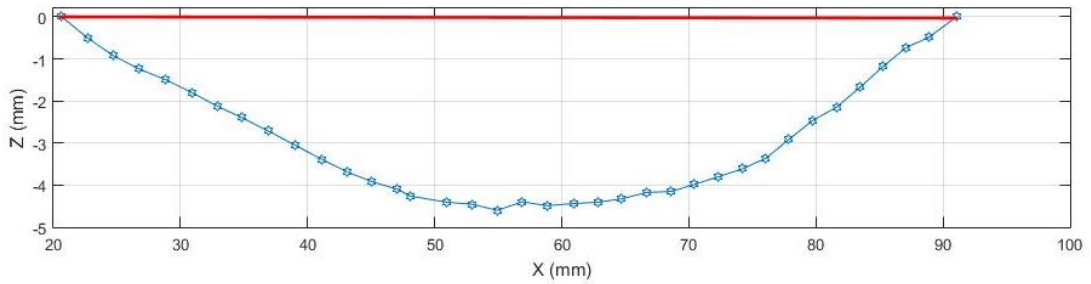
Şekil 5.11. X ve Y eksenini için G kodları a) kartezyen, b) lineer delta.

Şekil 5.12’de X ve Y eksenli doğrusallığın hata grafiği gösterilmektedir. Burada en büyük hata 1,363 mm, en küçük hata ise 0,044 mm olarak bulunmuştur. Standart sapması ise 0,408 mm olarak bulunmuştur.



Şekil 5.12. X ve Y eksenli doğrusallığın hata grafiği.

Şekil 5.13’te X ve Y eksenli doğrusallığın Z eksenine göre hata grafiği gösterilmektedir. Burada en küçük hata -4,599 mm, en büyük hata ise -0,484 mm olarak bulunmuştur. Standart sapması ise 1,482 mm olarak bulunmuştur.



Şekil 5.13. X ve Y eksenli doğrusallığın Z eksenine göre hata grafiği.

5.2.4. X ve Y Eksenlerdeki Dairesel Hareketin Performansı

Dairesel hareket için yapılan performans deneyleri Şekil 5.14'te gösterilen dairesel hareketi için üç farklı boyutlarda 3 mm derinliğinde kanallar açılmıştır. CAM programı ile oluşturulan kartezyen yapıdaki G kodlarının bir kısmı Şekil 5.15a'da gösterilmiş olup lineer delta robotun nümerik kontrolü için geliştirilen algoritma ile dönüştürülen yeni G kodları ise Şekil 5.15b'de verilmektedir.



Şekil 5.14. Dairesel hareket için deneysel çalışma.

Şekil 5.14'te dairesel hareket için X ve Y eksenleri boyunca işleme yapılan 3. kanal için koordinat ölçme aleti ile P_1 noktası ile P_2 noktası arasında ölçümler yapılmıştır.

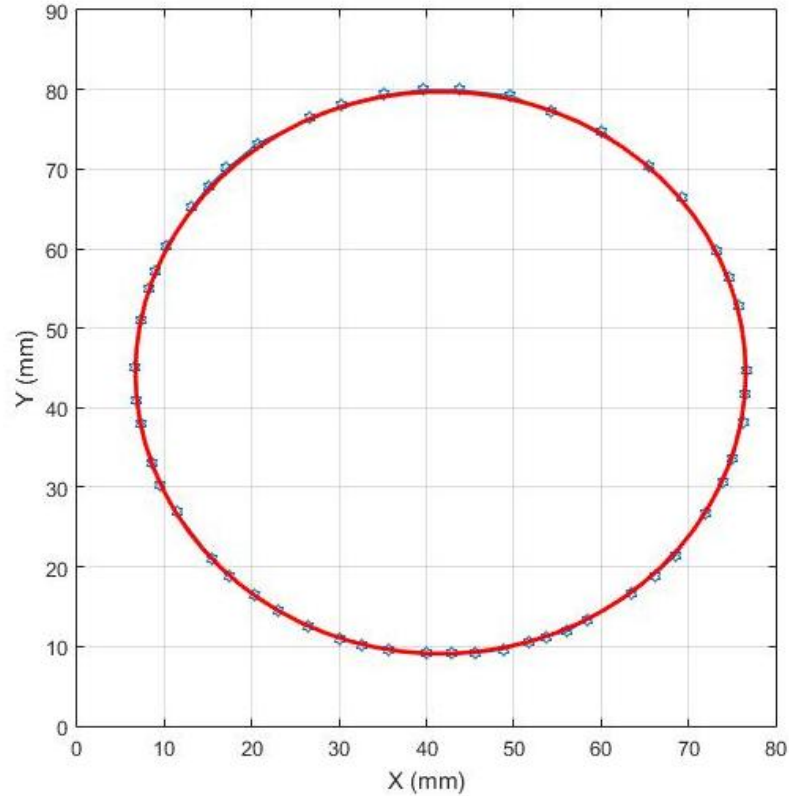
Şekil 5.16'da dairesel hareketin X ve Y eksenleri için hata grafiği gösterilmiş, en küçük hata -0,76 mm, en büyük hata ise 0,245 mm ve standart sapması ise 0,247 mm olarak bulunmuştur. Şekil 5.18 ve Şekil 5.19'da ise dairesel hareketin Z eksenleri için hata grafiği gösterilmektedir. Burada Z eksenleri için en büyük hata 0,38 mm, en küçük hata ise -0,483 mm olarak bulunmuştur. Standart sapması ise 0,173 mm olarak bulunmuştur.

<p>% O0000(Dairesel hareket) N102 G0 G17 G40 G49 G80 G90 N104 T121 M6 N106 G0 G90 G54 X19.515 Y4.704 A0. S3600 M3 N108 G43 H121 Z10. N110 G1 Z-.2 F400. N112 G3 X7.015 Y17.204 I-12.5 J0. F150. </p>	<p>% O0000(Dairesel hareket) N102 G0 G17 G40 G49 G80 G90 N104 T121 M6 N106 G0 G90 G54 X9,25 Y-3,59 Z-7,86 A0. S3600 M3 N108 G43 H121 X19,25 Y6,41 Z2,14 N110 G1 X9,05 Y-3,79 Z-8,06 F400. N112 G1 X9 Y-3,27 Z-8,59 F150. N112 G1 X8,91 Y-2,73 Z-9,08 F150. N112 G1 X8,77 Y-2,17 Z-9,54 F150. N112 G1 X8,58 Y-1,59 Z-9,95 F150. N112 G1 X8,34 Y-1,01 Z-10,32 F150. N112 G1 X8,05 Y-0,42 Z-10,64 F150. N112 G1 X7,73 Y0,18 Z-10,9 F150. N112 G1 X7,36 Y0,76 Z-11,11 F150. N112 G1 X6,96 Y1,34 Z-11,26 F150. N112 G1 X6,52 Y1,9 Z-11,36 F150. N112 G1 X6,05 Y2,44 Z-11,39 F150. N112 G1 X5,56 Y2,96 Z-11,37 F150. N112 G1 X5,04 Y3,45 Z-11,29 F150. N112 G1 X4,5 Y3,91 Z-11,14 F150. N112 G1 X3,96 Y4,33 Z-10,94 F150. N112 G1 X3,4 Y4,72 Z-10,69 F150.</p>
--	---

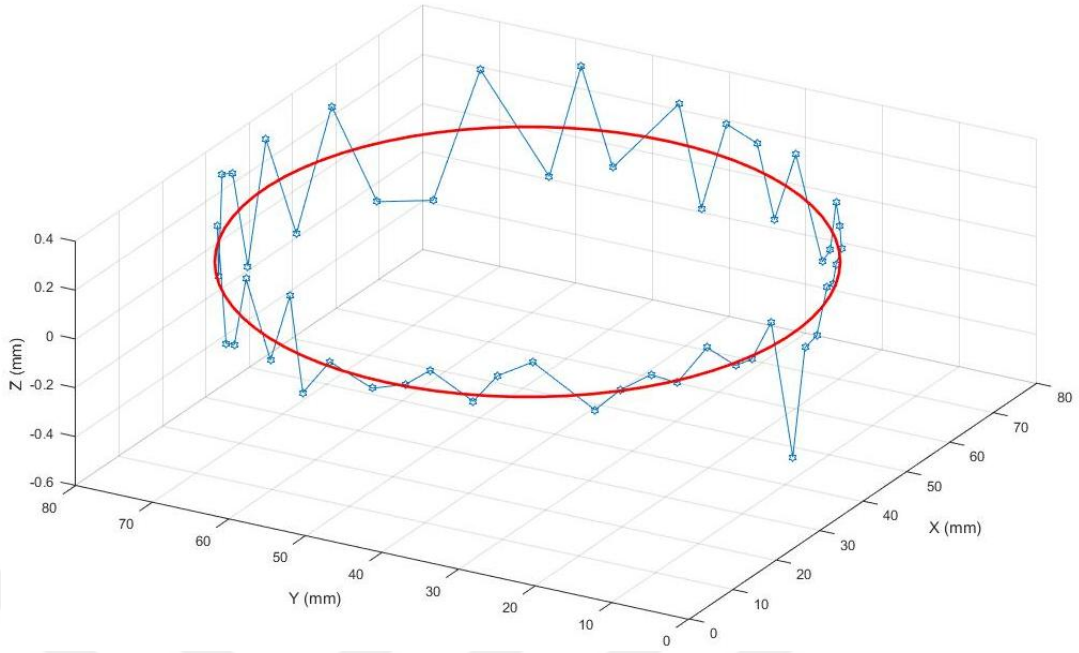
(a)

(b)

Şekil 5.15. Dairesel hareket için G kodları a) kartezyen, b) lineer delta.



Şekil 5.16. Dairesel hareketin X ve Y eksenleri için hata grafiği.



Şekil 5.17. Dairesel hareketin tüm eksenler için hata grafiği.

5.2.5. Deneysel Çalışmaların Değerlendirilmesi

Performans deneyleri aynı şartlar altında yapılmış olup Çizelge 5.1’de X ve/veya Y eksenlerinin hataları için deneysel veriler sunulmuştur. Çizelge 5.2’de X ve/veya Y eksenlerinin Z eksen hataları için deneysel veriler sunulmuştur.

Çizelge 5.1. X ve/veya Y eksenlerinin hataları için deneysel veriler.

Eksenler	Hareket	En büyük hata (mm)	En küçük hata (mm)	Standart sapma (mm)
X	Doğrusal	0,576	-0,019	0,134
Y	Doğrusal	0,722	0,051	0,185
X ve Y	Doğrusal	1,363	0,044	0,408
X ve Y	Dairesel	0,247	-0,76	0,247

Çizelge 5.1’e bakıldığında en büyük hatanın 1,363 mm olup X ve Y eksenlerindeki doğrusal hareketinde oluşmaktadır. Bunun sebebinin lineer delta robotun noktadan noktaya hareket ederek işlem yapmasıdır. Şekil 5.12’de X ve Y eksenlerindeki doğrusal hareket performans grafiklerine de bakıldığında başlangıç ve bitiş noktaları için işlemi gerçekleştirmiş ama başlangıç ve bitiş noktaları arasında kalan bölgedeki

hareketleri içinse belli bir radüs yaparak işlemini tamamlamıştır. En küçük hatanın ise -0,019 mm olup Şekil 5.4'te X ekseninin doğrusal hareketinde oluşmaktadır. En küçük standart sapma ise Şekil 5.4'te X ekseninin doğrusal hareketinde oluşmaktadır.

Çizelge 5.2. X ve/veya Y eksenlerinin Z eksenine hataları için deneysel veriler.

Eksenler	Hareket	En büyük hata (mm)	En küçük hata (mm)	Standart sapma (mm)
X	Doğrusal	-0,25	-1,945	0,498
Y	Doğrusal	-0,239	-1,685	0,43
X ve Y	Doğrusal	-0,484	-4,599	1,482
X ve Y	Dairesel	0,38	-0,483	0,173

Aynı durum Z eksenindeki hata içinde geçerli olup Çizelge 5.2'ye bakıldığında hatanın en büyüğü -4,599 mm olup X ve Y eksenlerindeki doğrusal hareketinde oluşmaktadır. Bunun sebebinin lineer delta robotun noktadan noktaya hareket ederek işlem yapmasıdır. Şekil 5.13'te X ve Y eksenlerindeki doğrusallığının Z eksenindeki hareket performans grafiklerine bakıldığında başlangıç ve bitiş noktaları için işlemi gerçekleştirmiş ama başlangıç ve bitiş noktaları arasında kalan bölgedeki hareketlerini belli bir radüs yaparak işlemini tamamlamıştır. Hatanın en küçüğü ise -0,239 mm olup Şekil 5.9'da Y ekseninin doğrusal hareketinde, en küçük standart sapmanın ise 0,173 mm olarak Şekil 5.17'de X ve Y eksenlerinin dairesel hareketinde oluşmaktadır.

Genel olarak bakıldığında lineer delta robotun nümerik kontrollü kontrolü için geliştirilen algoritmanın çalışma prensibinde doğrusal hareketler için noktadan noktaya hareket ederek işlem yapıldığından bu hata oranları oluşmaktadır.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında disiplinler arası bir çalışma yapılarak örnek bir prototip model oluşturulmuştur. Çalışmada sistemin tasarımı ve prototip modeli yapılmış olup 3 eksenli lineer delta robotun kontrolüne uyumlu kodların, kinematik denklemlerden yararlanılarak nümerik kontrollü algoritması için yazılımı yapılmıştır. Kontrol yazılımı ve tasarımı yapılan 3 eksenli lineer delta robot mekanizması işleme tezgâhına dönüştürülerek deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Prototip olarak tasarlanan lineer delta robot 3 serbestlik dereceli olup literatürde triglide robot olarak geçmektedir. 3 ayrı step motor kullanılarak hareket kontrol kartı ile robot kontrol edilmektedir. Lineer delta robotun, kolları üzerinde doğrusal hareket yapmasını sağlamak için lineer modül kullanılmıştır. Lineer modülün doğrusal hareketini, hareketli platforma ileten mafsal olarak küresel mafsal kullanılmıştır. Lineer delta robotun alt ve üst platform ve hareketli platformu alüminyum malzemedir, hareketli platform ile modül arasındaki rot kollarında ise krom kaplı indüksiyonlu mil kullanılmıştır. Lineer delta robotun mekanizmasının kontrolünde usb kontrol kartı kullanılmış olup step motorların yönlendirilmesi yapılmıştır.

Lineer delta robot, sabit platforma entegre edilmiş kollar ve hareketli platformdan oluşmaktadır. Hareketli platform ile sabit platform arasındaki bağlantılar α_i açısıyla yerleştirilmiş 3 kinematik zincir ile bağlanmıştır. Her kinematik zincir, L uzunluğunda 2 paralel rot (başında ve sonunda küresel bağlantı ile) ve lineer aktüatör ile birleştirilmiştir. Hareketli platform daima sabit platforma paralel kalmaktadır. Hareketli platform, 3 aktüatörün hep birlikteki hareketinden oluşan hareket ile ötelenmektedir. Lineer delta robotun geometrik tanımlamaları kullanılarak ters

kinematik denklemler çıkarılmıştır. Lineer delta robotun hareketli platformu ile kinematik zincirler arasındaki en küçük açı 5^0 olacak şekilde çalışma hacmi $18,786 \text{ cm}^3$ olarak bulunmuştur.

Robot üreticileri, ürettikleri her robotun özelliklerini bir standarda göre belirlemektedir. Bu özellikler ISO 9283 standardına göre gerçekleştirilmektedir. Tasarlanan ve prototipi yapılan lineer delta robotun performansını ölçebilmek için Microscribe G2X koordinat ölçme cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz $0,23 \text{ mm}$ hassasiyetinde ölçüm yapabilmektedir. ISO 9283 standardına göre çalışma uzayına yerleştirilen bir küpün eğik düzlemi içinde test edilen noktaların olması gerekmektedir. Küpün bir kenarı 100 mm olarak belirlenmiştir. Beş ölçüm noktası P1-P5 ölçüm düzleminin köşegenlerine yerleştirilmiştir. P5 noktası küpün merkezi ve köşegenlerin kesişimidir. P1-P4 noktaları köşegenler üzerine yerleştirilmiştir. Robotun doğruluk ve tekrarlanabilirlik deneylerinde;

- Tüm programlanan pozlar, P1 noktasından başlayarak lineer olarak poz poz yolları takip etmektedir. Her poz işleminde koordinat ölçme aleti noktaların koordinatlarını bularak kaydetmiştir.
- Bu işlem 30 defa tekrarlanarak devam ettirilmiştir.
- ISO 9283 göre P1-P5 noktaları için robotun ortalama pozisyon doğruluğu $1,25 \text{ mm}$, ortalama tekrarlanabilirliği ise $1,45 \text{ mm}$ bulunmuştur.
- Sonuç olarak yapılan testler açık çevrim kontrol metoduyla yapıldığı için literatürdeki çalışmalara benzerlik göstermektedir (Mosqueira, 2012; Ayyıldız, 2016).

Lineer delta robotun, ters kinematik modellenmesi ile tasarlanan ara yüz ve NC kodları bu yapı için anlamlı bir kod sistemine çevrilmiştir. Oluşturulan kodlar ise bir dizi halinde PKM yapısına gönderilerek sistemin kontrolü gerçekleştirilmiştir. Lineer delta robotun yörünge planlamasını herhangi bir fiziksel nesnenin modelini tasarlayarak, ilgili nesnenin imalat kodlarını CAM programı yardımı ile çıkartılabilmek

mümkündür. Burada CAM programıyla çıkarılan imalat kodları kartezyen uzay yapısına göre oluşturulmaktadır. Bu kartezyen uzay yapısındaki kodlar imalat ortamında X, Y, Z eksenlerine bağlı motorlar ile doğrusal hareket ederek işlem yapılabilir. Kartezyen yapı için oluşturulan kodlar, tasarlanan lineer delta robot yapısının çalışma uzayındaki hareket yapısına uygun olmamaktadır. Lineer delta robotun A_1 , A_2 , A_3 kollarının doğrusal hareketinin ve bu kolların birleşiminde oluşan öteleme hareketlerinden dolayı, kartezyen yapının anlayabileceği bir kodlama sistemine çevrilmesi gerekmektedir. Bundan dolayı ilgili CAM kodlarının tasarlanan arayüz yardımı ile lineer delta robotun A_1 , A_2 , A_3 kollarını öteleme hareketlerine göre ve robotun kinematik denklemlerinden faydalanarak yeni bir kod sistemi oluşturulmuştur. Oluşturulan yeni kodlar ise lineer delta robotun kontrol edilebilmesi için uygun Mach3 yazılımı ile okutulmuştur. Lineer delta robotun kontrolü bu işlem sırası ile tekrarlanarak gerçekleştirilmiştir. Burada lineer delta robotun ters kinematik denklemlerinden faydalanılmıştır. Geliştirilen arayüz, Visual Studio 2015 programının Basic tabanında yazılmıştır.

Geliştirilen arayüz de G0, G1, G2, G3 kodları için algoritma geliştirilmiştir. G0 ve G1 kodları için ilgili satırdaki X, Y, Z değerlerini alarak ters kinematik hesaplama yaparak yeni kodu oluşturmaktadır. G2 kod için radüsün başlangıç ve bitiş noktalarını referans alarak, X, Y, Z ve I, J, K değerleri ile saat yönünde doğrusal interpolasyon yapmasını sağlamak için radüs yolu üzerinde noktalara ayrılmıştır. Bu noktalar radüsün açısı ve hipotenüsü bulunarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde G3 kodu içinde geçerlidir. Geliştirilen arayüz G2 ve G3 kodlarını gördüğünde algoritma çalışır ve yeni kodlama ise G1 kodu olarak dönüşmektedir. Geliştirilen arayüz program kodları EK A'da verilmiştir.

Prototipi yapılan lineer delta robot mekanizması işleme tezgahına dönüştürülerek, 0,75 kW gücünde bir spindle, sabit platform üzerine bir hassas mengene bağlanmış ve lineer delta robotun her koluna limit anahtarlar entegre edilerek bir deney düzeneği tasarımı yapılmıştır. Deneysel testler için kesici takım olarak 5 mm karbür freze, deney numunesi ise 90x90x22 mm boyutlarında polyamid malzeme kullanılmıştır. İşleme parametreleri tüm deneyler için dalma derinliği 0,5 mm, ilerleme 150 mm/dak ve iş mili devri 3600 dev/dak olarak belirlenmiştir. Deneylerde soğutucu sıvı kullanılmayıp

kuru işleme yapılmıştır. Nümerik kontrollü geliştirilen algoritma ile X, Y, Z eksenleri için deneyler yapılarak, geliştirilen algoritmanın performansı değerlendirilmiştir. Performans deneyleri aynı şartlar altında yapılmış olup;

- Hatanın en büyüğü 1,363 mm olup X ve Y eksenlerindeki doğrusal hareketinde oluşmaktadır. Bunun sebebinin lineer delta robotun noktadan noktaya hareket ederek işlem yapmasıdır.
- X ve Y eksenlerindeki doğrusal hareket performans grafiklerine de bakıldığında başlangıç ve bitiş noktaları için işlem gerçekleştirilmiş ancak başlangıç ve bitiş noktaları arasında kalan bölgedeki hareketleri için ise belli bir radüs yaparak işlemini tamamlamıştır.
- Hatanın en küçüğü ise -0,019 mm olup X ekseninin doğrusal hareketinde oluşmaktadır. En küçük standart sapma ise X ekseninin doğrusal hareketinde oluşmaktadır.
- Aynı durum Z eksenindeki hata içinde geçerli olup hatanın en büyüğü -4,599 mm olup X ve Y eksenlerindeki doğrusal hareketinde oluşmaktadır. Bunun sebebinin lineer delta robotun noktadan noktaya hareket ederek işlem yapmasıdır.
- Z eksenindeki hatanın en küçüğü ise -0,239 mm olup Y eksenini doğrusal hareketinde, en küçük standart sapmanın ise 0,173 mm olarak X ve Y eksenlerinin dairesel hareketinde oluşmaktadır.

Genel olarak bakıldığında lineer delta robotun nümerik kontrollü kontrolü için geliştirilen algoritmanın çalışma prensibinde doğrusal hareketler için noktadan noktaya hareket ederek işlem yapıldığından bu hata oranları oluşmaktadır.

Prototipi yapılan lineer delta robot ahşap, polyamid gibi malzemelerin işlenmesinde kullanılabilir. Paralel robot ailesinden olan prototipi yapılan lineer delta robotun

sürekli olarak araştırma ve geliştirmeye açık olduğu için bu çalışma yeni başlayanlara ışık tutacaktır.

8.2. ÖNERİLER

Kurulan paralel robot sisteminin prototipi ekonomik bir eğitim materyali olarak kullanılabilir yapıdadır. Lineer delta robotta kullanılan motor ve sürücüleri servo sistem seçilerek konumlama ve hız bilgisi hassas bir şekilde alınabilir.

Deney düzeneğinde kullanılan spindle seçiminde profesyonel ekipmanlar kullanılabilir. Robotun kontrolünde kullanılan kontrol kartının işlem hızı artırılarak sistemin hareket performansı yükseltilerek işlem süresi azaltılabilir. Prototipte kullanılan lineer modüllerin çalışma stroğu artırılarak çalışma uzayı genişletilebilir.

Lineer delta robotun alt, üst platformu ve hareketli platform malzemesi çelik seçilerek sistemin stabil çalışması sağlanabilir. Prototipte kullanılan küresel mafsalların, radyal ve eksenel boşluklarına göre daha hassas hareket ileten bağlantı elemanları seçilebilir.

KAYNAKLAR

Alp, H., “Sezgisel yöntemlerle paralel mekanizmaların çalışma uzayı analizi”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2007).

Ayyıldız, M., “Esnek üretim sisteminde zeki yükleme ve depolama otomasyonu”, Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2016).

Beudaert, X., Lavernhe, S., and Tournier, C., “Feedrate interpolation with axis jerk constraints on 5-axis NURBS and G1 tool path”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 57:73–82 (2012).

Chen, J., and Lin, S., “An error compensation scheme for multi-axis machine tool using machining method template”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 90:3013–3023, DOI 10.1007/s00170-016-9636-7 (2017).

Company, O., and Pierrot, F., “Modelling and design issues of a 3-axis parallel machine-tool”, *Mechanism and Machine Theory*, 37:1325–1345 (2002).

Coronado, E., Maya, M., Cardenas, A., Guarneros, O., and Piovesan, D., “Vision-based control of a delta parallel robot via linear camera-space manipulation”, *J Intell Robot Syst*, 85:93–106 DOI 10.1007/s10846-016-0413-5 (2017).

Dalmış, F., “CNC tezgâhlarında işleme esnasındaki titreşimleri analiz ederek CNC operatörüne rehberlik eden bir sistem geliştirilmesi”, Doktora tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne (2012).

Daney, D., Andreff, N., Chabert, G., and Papegay, Y., “Interval method for calibration of parallel robots: Vision-based experiments”, *Mechanism and Machine Theory*, 41:929–944 (2006).

Driels, M. R., Swayze, L. W., and Potter, L. S., “Full-pose calibration of a robot manipulator using a coordinate-measuring machine”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 8 (1): 34-4 (1993).

Ergün, M., “CNC sayısal kontrollü tezgahlar ve programlama prensipleri“, *Mercan Ofset Ambalaj San. Tic.*, 1-3, İzmir (2004).

Erkokmaz, K., ve Altıntaş, Y., “High speed CNC system design. Part I: Jerk limited trajectory generation and quintic spline interpolation”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 41:1323–1345 (2001).

Fassi, İ., and Wiens, G., “Multiaxis machining: PKMs and traditional machining centers”, *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 2/No. 1 (2000).

Geldart, M., Webb, P., Larsson, H., Backstorm, M., Gindy, M., and Rask, K., “A direct comparison of the machining performance of a variax 5 axis parallel kinetic machining centre with conventional 3 and 5 axis machine tools”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 43, 1107–1116 (2003).

Gharahsofloo, A., and Rahmani, A., “An Efficient Algorithm for Workspace Generation of Delta Robot”, *International Journal of Robotics*, Vol. 5, No. 2, pp. 48-53 (2015).

Glavonjic, M., Milutinovic, D., and Zivanovic, S., “Functional simulator of 3-axis parallel kinematic milling machine”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 42:813–821, DOI 10.1007/s00170-008-1643-x (2009).

Glavonjic, M., Milutinovic, D., Zivanovic, S., Dimic, Z., and Kvrjic, V., “Desktop 3-axis parallel kinematic milling machine”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 46:51–60, DOI 10.1007/s00170-009-2070-3 (2010).

Gordon, S., and Hillery, M., “Development of a high-speed CNC cutting machine using linear motors”, *Journal of Materials Processing Technology*, 166, 321–329 (2005).

Groover, M., “Otomasyon, Üretim Sistemleri ve Bilgisayarla Tümlleşik İmalat”, *Nobel Akademik Yayıncılık*, Ankara (2016).

Guangfeng, C., Linlin, Z., Qingqing, H., Lei, L., and Jiawen S., “Trajectory planning of delta robot for fixed point pick and placement”, *Fourth International Symposium on Information Science and Engineering*, USA (2012).

Guangfeng, C., Linlin, Z., Qingqing, H., Lei, L., and Jiawen S., “Trajectory planning of delta robot for fixed point pick and placement”, *Fourth International Symposium on Information Science and Engineering*, USA (2012).

Günay, A., “Lazer interferometre ile koordinat eksenli ölçüm cihazı kalibrasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2011).

Hu, X., “Design and analysis of a three degrees of freedom parallel kinematic machine”, M. Sc. Thesis, *The Faculty of Engineering and Applied Science Mechanical Engineering Program University of Ontario Institute of Technology*, North Oshawa (2008).

İnternet: “Paralel kinematic machines for home CNC”, <http://littlestworkshop.co.uk/kinematics.htm>.

Joubair, A., Slamani, M., and Bonev, I., “Kinematic calibration of a 3-DOF planar parallel robot”, *Industrial Robot:An International Journal*, 39/4:392–400, DOI 10.1108/01439911211227971 (2012).

Kanaan, D., Wenger, P., and Chablat, D., “Kinematic analysis of a serial - parallel machine tool: The VERNE machine”, *Mechanism and Machine Theory, Elsevier*, 44 (2), pp.487-498 (2009).

Karabulut, Y., “Dokunmatik ekranlı cihazlar için görüntü işlemeye dayalı robotik test otomasyon sistemi geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Manisa (2016).

Kelaiaia, R., Company, O., and Zaatri, A., “Multiobjective optimization of a linear Delta parallel robot”, *Elsevier, Mechanism and Machine Theory*, 50, 159–178 (2012).

Krzic, P., Pušavec, F., and Kopač J., “Kinematic constraints and offline programming in robotic machining applications”, *Technical Gazette*, 20, 117-124, 1 (2013).

Ku, D. “Direct Displacement Analysis of a Stewart Platform Mechanism”, *Mechanism and Machine Theory*, 34(3), 453-465 (1999).

Lightcap, C., Hamner, S., Schmitz, T., and Banks, S., “Improved positioning accuracy of the PA10-6CE robot with geometric and flexibility calibration”, *IEEE Transactions on Robotics*, 24 (2): 452-456 (2008).

Lin, J., Luo, C., and Lin, K., “Design and implementation of a new Delta parallel robot in robotics competitions”, *International Journal of Advanced Robotic Systems*, DOI: 10.5772/61744, October (2015).

Liu, X., Wang, J., Oh, K., and Kim, J., “ A New Approach to the Design of a DELTA Robot with a Desired Workspace”, *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 39, 209–225 (2004).

Meng, Y., and Zhuang, Z., "Self-calibration of camera-equipped robot manipulators", *The International Journal of Robotics Research*, 20 (11): 909-921 (2001).

Merlet, J.P., “Parallel Robots”, INRIA, *Sophia-Antipolis*, France, (2006).

Mitsi, S., Bouzakis, K., Mansour, G., Sagris, D., and Maliaris, G., “Off-line programming of an industrial robot for manufacturing”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 26:262–267, DOI 10.1007/s00170-003-1728-5 (2005).

Mosqueira, G., Apetz, J., Santos, K.M., Villani, E., Suterio, R., and Trabasso, L.G., “Analysis of the indoor GPS system as feedback for the robotic alignment of fuselages using laser radar measurements as comparison”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 28: 700–709 (2012).

Nubiola, A., "Calibration of a serial robot using a laser tracker", PhD Thesis, *École De Technologie Supérieure*, Kanada (2011).

Nuno, F., Emanuele, L., Stephane, R; and Reymond, C., "Calibration of the 6 DOF high-precision flexure parallel robot "Sigma 6"", *Parallel Kinematic Machines in Research and Practice*, p. 379-398, Fraunhofer, (2006).

Oberhauser, Q, J., "Design, construction, control, and analysis of linear Delta robot", M. Sc. Thesis, *The Russ College of Engineering and Technology of Ohio University*, Ohio, April (2016).

Pandilov, Z., and Dukovski, V., "Comparison of the characteristics between serial and parallel robots", *Acta Tehnica Corviniensis- Bulletin of Engineering Fascicule 1*, January- March, pp. 143-160, ISSN:2067-3809, TomeVII (2014).

Pauly, M, L., "Workspace analysis of a Linear Delta Robot: Calculating the Inscribed Radius", M. Sc. Thesis, *Rose-Hulman Institute of Technology*, Indiana, November (2014).

Petrovic, A., Lukic, L., Ivanovic, S., and Pavlovic, A. "Optimisation of tool path for wood machining on CNC machines", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, DOI: 10.1177/0954406216648715 (2016).

Pınar, A., ve Güllü, A., "CNC kontrollü dairesel interpolasyon hareketlerindeki yuvarlaklık hatasının en küçük kareler metodu ile değerlendirilmesi", *Politeknik Dergisi*, Cilt: 9 Sayı: 1 s. 27-33 (2006).

Pınar, A., ve Güllü, A., "Dairesellik hatası ölçümünde kullanılan yöntemlerin incelenmesi", *Politeknik Dergisi*, Cilt: 10 Sayı: 2 s.137-144 (2007).

Rakhodaei, H., "Design and analysis of a 9 dof hybrid parallel robot", Ph. D. Thesis, *School of Mechanical Engineering University of Birmingham*, United Kingdom (2013).

Righettini, P., Tasora, A., and Giberti, H., "Mechatronic design of a 3-DOF parallel translational manipulator", *RAAD* (2002).

Shah, H., Narayanan, S, M., and Krovi, N, V., "CAD-Enhanced Workspace Optimization for Parallel Manipulators: A Case Study", *6th annual IEEE Conference on Automation Science and Engineering*, Ontario, Canada, August 21-24 (2010).

Shiakolas, P. S., S., Conrad, K. L., and Yih, T.C., "On the accuracy, repeatability, and degree of influence of kinematics parameters for industrial robots", *International Journal of Modelling and Simulation*, 22 (3): 1-10 (2002).

Stan, S., Balan, R., and Matieş, V., "Modelling, design and control of 3DOF medical parallel robot", *Mechanika*, 6(74): (2008).

Stan, S., Manic, M., Matieu, V., B and Lan, R., “Evolutionary approach to optimal design of 3 dof translation exoskeleton and medical parallel robots”, *Human System Interactions, 2008 Conference on. IEEE*, Krakow, Poland, May 25-27 (2008).

Stan, S., Manic, M., Szep, C., and Balan, R., “Performance analysis of 3 DOF Delta paralel robot”, *4th International Conference on , In Human System Interactions (HSI)*, Japan, May 19-21, pp. 215-220 (2011).

Tian, W., Yin, F., Liu, H., Li, J., Li, Q., Huang, T, and Chetwyd, D., “Kinematic calibration of a 3-DOF spindle head using double ball bar”, *Mechanism and Machine Theory*, 102:167- 178 (2016).

Traslosheros, A., Sebastián, J., Torrijos, J., Carelli R., and Castillo, E., “An inexpensive method for kinematic calibration of a parallel robot by using one hand-held camera as main sensor”, *Sensors*, 13, 9941-9965; DOI:10.3390/s130809941 (2013).

Ulaş, B., “Stewart Platformu Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi*, İstanbul (2009).

Uyanık, A., Şimşek, İ., Aytan, İ., Onat, M., ve Erdal, H., “3 eksenli yüzey işleme tezgahının bilgisayar ile kontrolü”, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09)*, Karabük, 13-15 Mayıs (2009).

Uyanık, S., “Üç eksenli Terco yüzey işleme tezgahının bilgisayar ile kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi*, İstanbul (2006).

Weck, M., and Staimer, D., “Parallel kinematic machine tools – current state and future potentials”, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 51(2): 671-683 (2002).

Xie, F., Liu,X., and Wang, J., “Conceptual design and optimization of a 3-DoF parallel mechanism for a turbine blade grinding machine, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers”, *Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, DOI: 10.1177/0954406215589122 (2015).

Yang, M., and Hong, W., “A PC–NC milling machine with new simultaneous 3-axis control algorithm”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 41:555–566 (2001).

Yazıcı, Ş., ve Oysu, C., “İki eksenli dairesel enterpolasyon yapabilen CNC kontrol kartı tasarımı”, *Elektrik Mühendisi Odası Dergisi*, Ankara (2004).

Yiğit, S., “Paralel manipulatörlerin uzaysal vektör cebri yöntemiyle kinematik modellemesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2013).

Young, C., and Lin, Y., “The spherical motion based on the inverse kinematics for a delta robot”, *The 2nd International Conference on Control, Automation and Robotics*, Hong Kong (2016).

Yuan, Q., Ji, S., Wang, Z., Wang, G., Wan, Y., and Zhan, L., “Optimal design of the linear delta robot for prescribed cuboid dexterous workspace based on performance chart”, *8th WSEAS Int. Conf. on Robotics, Control and Manufacturing Technology*, Hangzhou, China, April 6-8 (2008).

Zhang, Q., Li, R., and Tian, Y., “Dynamic performance analysis of 3-Delta type parallel robot”, *The 14th IFToMM World Congress*, Taiwan, October 25-30 (2015).

Zhang, W., Mei, J., and Ding, Y., “Design and development of a high speed sorting system based on machine vision guiding”, *Physics Procedia*, 25: 1955-1965 (2012).

Zivanovic, S., and Vasilic, G., “A new CNC programming method using STEP-NC Protocol”, *FME Transactions*, 45: 149-158 (2017).

Zivanovic, S., Glavonjic, M., and Milutinovic, D., “Configuring a mini-laboratory and desktop 3-axis parallel kinematic milling machine”, *Strojniski vestnik - Journal of Mechanical Engineering*, 61,1, 33-42, DOI:10.5545/sv-jme.2013.1619 (2015).



EK AÇIKLAMALAR A.

GELİŞTİRİLEN ARAYÜZ PROGRAM KODLARI

```
‘ Çevir butonu için program kodları
Imports System
Imports System.IO
```

```
Public Class Form1
```

```
    Dim Rn As Integer = 90      'Hareketli platform yarıcapı
    Dim Rb As Double = 250     'Sabit platform yarıcapı
    Dim Le As Double = 350     'Kol uzunluğu
    Dim Re As Double = Rb - Rn
    Private Property ksayi As Integer
    Dim satir As String
    Dim karakno, karaknoX, karaknoY, karaknoZ, karaknoA, satirx, satiry, satirz,
satira, iter As Integer
    Dim kx, ky, kz, ka, ii, G0Y, G1Y, G2Y, G3Y, G90, G91 As Integer
    Dim X1, Y1, Z1 As Integer 'XYZ değerlerinin karakter sayısı
    Dim Xchar, Ychar, Zchar, Xde, Yde, Zde, Fde, Nde, Rde, Ide, Kde, Jde, dizi(),
satiryeni As String 'XYZ değerlerinin stringi
    Dim yr, xr, zr, topar, artis As Double
    Dim satiruz, i, X, Y, Z, R, ijk, J, K, A, Xy, Yy, Zy, Ay, RR, RR1, RR2, Rx, Ry,
Rz, hip, AK, BK, CK, AKs, BKs, CKs, ALFA, ALFA1, ALFA2, OX, OY, sina,
cosa, yari, tana, aci, ilerleme, caci, saci As Double
    Dim Gx, Gy, Gz As Double
```

```
Private Sub Button1_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
Button1.Click
    TextBox1.Text = Nothing
    TextBox2.Text = Nothing
End Sub
```

```
Sub G0()      'G0 alt program
    For ii = 0 To UBound(dizi)
        If dizi(ii).Contains("X") Then
            Xde = dizi(ii)
            satir = satir.Replace(dizi(ii), "")
            X = Val(dizi(ii).Substring(1, Len(dizi(ii)) - 1))
        Exit For
        Else
            X = X
        End If
    Next
    For ii = 0 To UBound(dizi)
        If dizi(ii).Contains("Y") Then
            Yde = dizi(ii)
            satir = satir.Replace(dizi(ii), "")
            Y = Val(dizi(ii).Substring(1, Len(dizi(ii)) - 1))
        Exit For
        Else
            Y = Y
        End If
```

```

Next
For ii = 0 To UBound(dizi)
    If dizi(ii).Contains("Z") Then
        Zde = dizi(ii)
        satir = satir.Replace(dizi(ii), "")
        Z = Val(dizi(ii).Substring(1, Len(dizi(ii)) - 1))
    Exit For
Else
    Z = Z
End If
Next
End Sub

```

```

Sub G0_G91()          'G0_G91 alt program
For ii = 0 To UBound(dizi)
    If dizi(ii).Contains("X") Then
        Xde = dizi(ii)
        satir = satir.Replace(dizi(ii), "")
        X = Val(dizi(ii).Substring(1, Len(dizi(ii)) - 1))
    Exit For
Else
    X = 0
End If
Next
For ii = 0 To UBound(dizi)
    If dizi(ii).Contains("Y") Then
        Yde = dizi(ii)
        satir = satir.Replace(dizi(ii), "")
        Y = Val(dizi(ii).Substring(1, Len(dizi(ii)) - 1))
    Exit For
Else
    Y = 0
End If
Next
For ii = 0 To UBound(dizi)
    If dizi(ii).Contains("Z") Then
        Zde = dizi(ii)
        satir = satir.Replace(dizi(ii), "")
        Z = Val(dizi(ii).Substring(1, Len(dizi(ii)) - 1))
    Exit For
Else
    Z = 0
End If
Next
End Sub

```

```

Sub G1()              'G1 alt program
For ii = 0 To UBound(dizi)
    If dizi(ii).IndexOf("X") > -1 Then

```

```

        Xde = dizi(ii)
        satir = satir.Replace(dizi(ii), "")
        X = Val(dizi(ii).Substring(1, Len(dizi(ii)) - 1))
        Exit For
    Else
        X = X
    End If
Next
For ii = 0 To UBound(dizi)
    If dizi(ii).IndexOf("Y") > -1 Then
        Yde = dizi(ii)
        satir = satir.Replace(dizi(ii), "")
        Y = Val(dizi(ii).Substring(1, Len(dizi(ii)) - 1))
    Exit For
    Else
        Y = Y
    End If
Next
For ii = 0 To UBound(dizi)
    If dizi(ii).IndexOf("Z") > -1 Then
        Zde = dizi(ii)
        satir = satir.Replace(dizi(ii), "")
        Z = Val(dizi(ii).Substring(1, Len(dizi(ii)) - 1))
    Exit For
    Else
        Z = Z
    End If
Next
End Sub

```

```

Sub G1_G91()
    For ii = 0 To UBound(dizi)
        If dizi(ii).IndexOf("X") > -1 Then
            Xde = dizi(ii)
            satir = satir.Replace(dizi(ii), "")
            X = Val(dizi(ii).Substring(1, Len(dizi(ii)) - 1))
            Exit For
        Else
            X = 0
        End If
    Next
    For ii = 0 To UBound(dizi)
        If dizi(ii).IndexOf("Y") > -1 Then
            Yde = dizi(ii)
            satir = satir.Replace(dizi(ii), "")
            Y = Val(dizi(ii).Substring(1, Len(dizi(ii)) - 1))
        Exit For
        Else
            Y = 0
        End If
    Next
End Sub

```

```

    End If
Next

For ii = 0 To UBound(dizi)
    If dizi(ii).IndexOf("Z") > -1 Then
        Zde = dizi(ii)
        satir = satir.Replace(dizi(ii), "")
        Z = Val(dizi(ii).Substring(1, Len(dizi(ii)) - 1))
        Exit For
    Else
        Z = 0
    End If
Next
End Sub

Sub G2_IJ()      'G2_Ij alt program
    For ii = 0 To UBound(dizi)
        If dizi(ii).IndexOf("X") > -1 Then
            satir = satir.Replace(dizi(ii), "")
            X = Val(dizi(ii).Substring(1, Len(dizi(ii)) - 1))
            Exit For
        Else
            X = X
        End If
    Next
    For ii = 0 To UBound(dizi)
        If dizi(ii).IndexOf("Y") > -1 Then
            Yde = dizi(ii)
            satir = satir.Replace(dizi(ii), "")
            Y = Val(dizi(ii).Substring(1, Len(dizi(ii)) - 1))
            Exit For
        Else
            Y = Y
        End If
    Next
    For ii = 0 To UBound(dizi)
        If dizi(ii).IndexOf("Z") > -1 Then
            Zde = dizi(ii)
            satir = satir.Replace(dizi(ii), "")
            Z = Val(dizi(ii).Substring(1, Len(dizi(ii)) - 1))
            Exit For
        Else
            Z = Z
        End If
    Next
    For ii = 0 To UBound(dizi)
        If dizi(ii).IndexOf("I") > -1 Then
            Ide = dizi(ii)
            satir = satir.Replace(dizi(ii), "")

```

```

        ijk = Val(dizi(ii).Substring(1, Len(dizi(ii)) - 1))
    Exit For
Else
    ijk = 0
End If
Next
For ii = 0 To UBound(dizi)
    If dizi(ii).IndexOf("J") > -1 Then
        Jde = dizi(ii)
        satir = satir.Replace(dizi(ii), "")
        J = Val(dizi(ii).Substring(1, Len(dizi(ii)) - 1))
        Exit For
    Else
        J = 0
    End If
Next
Gx = X : Gy = Y : Gz = Z
'1.bölgede_ 1 ETAP g2 radüs
Rx = Xy + ijk
Ry = Yy + J

RR = Math.Sqrt(Math.Pow(ijk, 2) + Math.Pow(J, 2)) 'Yarıçap
ALFA1 = Math.Abs((180 / Math.PI) * Math.Atan((Yy - Ry) / (Xy - Rx)))
'başlangıç açısının bulunması
ALFA2 = Math.Abs((180 / Math.PI) * Math.Atan((Y - Ry) / (X - Rx)))
'bitiş açısının bulunması
ALFA = Math.Abs(ALFA1 - ALFA2) 'Açının bulunması
hip = Math.Floor(Math.Sqrt(Math.Pow((X - Xy), 2) + Math.Pow((Yy - Y), 2)))
'radüslerin hipotenüsü
topar = 0
artis = (ALFA / hip) 'açının hip bölümü ve hassasiyetin ayarlanması
For ii = 0 To UBound(dizi)
    If dizi(ii).IndexOf("N") > -1 Then Nde = dizi(ii)
    If dizi(ii).IndexOf("F") > -1 Then Fde = dizi(ii)
Next
xr = 0 : yr = 0
For ii = 1 To hip - 1
    topar = topar + artis
    '1.bölge -ijk -j
    If ijk <= 0 And J < 0 Then
        xr = RR * Math.Cos((ALFA1 - topar) * (Math.PI / 180)) + Rx
        yr = (RR * Math.Sin((ALFA1 - topar) * (Math.PI / 180))) + Ry
    End If
    '2.bölge -ijk +j
    If ijk < 0 And J >= 0 Then
        xr = Rx + (RR * Math.Cos((ALFA1 + topar) * (Math.PI / 180)))
        yr = Ry - (RR * Math.Sin((ALFA1 + topar) * (Math.PI / 180)))
    End If
    '3.bölge +ijk +j

```

```

If ijk >= 0 And J > 0 Then
    xr = Rx - (RR * Math.Cos((ALFA1 - topar) * (Math.PI / 180)))
    yr = Ry - (RR * Math.Sin((ALFA1 - topar) * (Math.PI / 180)))
End If
'4.bölge +ijk -j
If ijk > 0 And J <= 0 Then
    yr = Ry + (RR * Math.Sin((ALFA1 + topar) * (Math.PI / 180)))
    xr = Rx - (RR * Math.Cos((ALFA1 + topar) * (Math.PI / 180)))
End If
X = xr : Y = yr : Z = Z
Call kinematik()
TextBox2.AppendText(Nde & " G1 X" & AK & " " & "Y" & BK & " " & "Z" & CK
& " " & Fde & " " & vbCrLf)
Next
X = Gx : Y = Gy : Z = Gz
If hip = 1 Then
    Call kinematik()
    TextBox2.AppendText(Nde & " G1 X" & AK & " " & "Y" & BK & " " &
"Z" & CK & " " & Fde & " " & vbCrLf)
End If
End Sub

Sub G3_IJ()      'G3_Ij alt program
For ii = 0 To UBound(dizi)
    If dizi(ii).IndexOf("X") > -1 Then
        Xde = dizi(ii)
        satir = satir.Replace(dizi(ii), "")
        X = Val(dizi(ii).Substring(1, Len(dizi(ii)) - 1))
        Exit For
    Else
        X = X
    End If
Next
For ii = 0 To UBound(dizi)
    If dizi(ii).IndexOf("Y") > -1 Then
        Yde = dizi(ii)
        satir = satir.Replace(dizi(ii), "")
        Y = Val(dizi(ii).Substring(1, Len(dizi(ii)) - 1))
        Exit For
    Else
        Y = Y
    End If
Next
For ii = 0 To UBound(dizi)
    If dizi(ii).IndexOf("Z") > -1 Then
        Zde = dizi(ii)
        satir = satir.Replace(dizi(ii), "")
        Z = Val(dizi(ii).Substring(1, Len(dizi(ii)) - 1))
        Exit For
    End If
Next

```



```

Else
    Z = Z
End If
Next
For ii = 0 To UBound(dizi)
    If dizi(ii).IndexOf("I") > -1 Then
        Ide = dizi(ii)
        satir = satir.Replace(dizi(ii), "")
        ijk = Val(dizi(ii).Substring(1, Len(dizi(ii)) - 1))
        Exit For
    Else
        ijk = 0
    End If
Next
For ii = 0 To UBound(dizi)
    If dizi(ii).IndexOf("J") > -1 Then
        Jde = dizi(ii)
        satir = satir.Replace(dizi(ii), "")
        J = Val(dizi(ii).Substring(1, Len(dizi(ii)) - 1))
        Exit For
    Else
        J = 0
    End If
Next
Gx = X : Gy = Y : Gz = Z
' g3 radüs
Rx = Xy + ijk
Ry = Yy + J

```

```

RR = Math.Sqrt(Math.Pow(ijk, 2) + Math.Pow(J, 2))      'YARICAP
ALFA1 = Math.Abs((180 / Math.PI) * Math.Atan((Yy - Ry) / (Xy - Rx)))
'başlangıç açısının bulunması
ALFA2 = Math.Abs((180 / Math.PI) * Math.Atan((Y - Ry) / (X - Rx)))      ' bitiş
açısının bulunması
ALFA = Math.Abs(ALFA1 - ALFA2)                        'Açının bulunması
hip = Math.Floor(Math.Sqrt(Math.Pow((X - Xy), 2) + Math.Pow((Yy - Y), 2)))
'radüslerin hipotenüsü
topar = 0
artis = (ALFA / hip) 'açının hip bölümü ve hassasiyetin ayarlanması
For ii = 0 To UBound(dizi)
    If dizi(ii).IndexOf("N") > -1 Then Nde = dizi(ii)
    If dizi(ii).IndexOf("F") > -1 Then Fde = dizi(ii)
Next
xr = 0 : yr = 0
For ii = 1 To hip - 1
    topar = topar + artis
    '1.bölge -ijk -j
    If ijk < 0 And J <= 0 Then
        xr = (RR * Math.Cos((ALFA1 + topar) * (Math.PI / 180))) + Rx

```

```

        yr = (RR * Math.Sin((ALFA1 + topar) * (Math.PI / 180))) + Ry
    End If
    '2.bölge -ijk +j
    If ijk <= 0 And J > 0 Then
        xr = Rx + (RR * Math.Cos((ALFA1 - topar) * (Math.PI / 180)))
        yr = Ry - (RR * Math.Sin((ALFA1 - topar) * (Math.PI / 180)))
    End If
    '3.bölge +ijk +j
    If ijk > 0 And J >= 0 Then
        xr = Rx - (RR * Math.Cos((ALFA1 + topar) * (Math.PI / 180)))
        yr = Ry - (RR * Math.Sin((ALFA1 + topar) * (Math.PI / 180)))
    End If
    '4.bölge +ijk -j
    If ijk >= 0 And J < 0 Then
        yr = Ry + (RR * Math.Sin((ALFA1 - topar) * (Math.PI / 180)))
        xr = Rx - (RR * Math.Cos((ALFA1 - topar) * (Math.PI / 180)))
    End If
    X = xr : Y = yr : Z = Z
    Call kinematik()
    TextBox2.AppendText(Nde & " G1 X" & AK & " " & "Y" & BK & " " &
    "Z" & CK & " " & Fde & " " & vbCrLf)
Next
X = Gx : Y = Gy : Z = Gz
If hip = 1 Then
    Call kinematik()
    TextBox2.AppendText(Nde & " G1 X" & AK & " " & "Y" & BK & " " &
    "Z" & CK & " " & Fde & " " & vbCrLf)
End If
End Sub

Sub kinematik()    'Ters kinematik
AK = Z + Math.Abs((Le ^ 2 - (X - Re * Math.Cos(0 * (Math.PI / 180))) ^ 2 - (Y - Re
* Math.Sin(0 * (Math.PI / 180))) ^ 2)) ^ (1 / 2) - 311.28765
BK = Z + Math.Abs((Le ^ 2 - (X - Re * Math.Cos(120 * (Math.PI / 180))) ^ 2 - (Y -
Re * Math.Sin(120 * (Math.PI / 180))) ^ 2)) ^ (1 / 2) - 311.28765
CK = Z + Math.Abs((Le ^ 2 - (X - Re * Math.Cos(240 * (Math.PI / 180))) ^ 2 - (Y -
Re * Math.Sin(240 * (Math.PI / 180))) ^ 2)) ^ (1 / 2) - 311.28765
AK = Math.Round(AK, 2)
BK = Math.Round(BK, 2)
CK = Math.Round(CK, 2)
Xy = X : Yy = Y : Zy = Z
End Sub

Private Sub Button3_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
Button3.Click
    Dim Baslamat As DateTime = Now
    TextBox2.Clear()
    TextBox5.Clear()
    kx = ky = kz = ka = i = 0

```

```

G0Y = G1Y = G2Y = G3Y = 0
X = Y = Z = 0
AK = BK = CK = 0
satiruz = TextBox1.Lines.Length
For i = 0 To satiruz - 1
    X1 = Y1 = Z1 = 0
    A = karaknoX = karaknoY = karaknoZ = karaknoA = 0
    satir = TextBox1.Lines(i)
    dizi = satir.Split(" ")
    'G90 İŞLEMİ
    If satir.IndexOf("G90 ") > -1 Then
        G90 = 1 : G91 = 0
    End If
    If satir.IndexOf("G91 ") > -1 Then
        G90 = 0 : G91 = 1
    End If
    'G0 İŞLEMİ
    If satir.IndexOf("G0 ") > -1 Then
        G0Y = 1 : G1Y = 0
        If G90 = 1 Then Call G0()
        If G91 = 1 Then Call G0_G91()
    End If
    'G1 İŞLEMİ
    If satir.IndexOf("G1 ") > -1 Then
        G1Y = 1 : G0Y = 0
        If G90 = 1 Then Call G1()
        If G91 = 1 Then Call G1_G91()
    End If
    If satir.IndexOf("G2 ") > -1 And satir.IndexOf("I") > -1 And
satir.IndexOf("J") > -1 Then
        G2Y = 1 : G3Y = 0
        If G90 = 1 Then Call G2_IJ()
        If G91 = 1 Then Call G2_IJ_G91()
    End If
    If satir.IndexOf("G3 ") > -1 And satir.IndexOf("I") > -1 And
satir.IndexOf("J") > -1 Then
        G3Y = 1 : G2Y = 0
        If G90 = 1 Then Call G3_IJ()
        If G91 = 1 Then Call G3_IJ_G91()
    End If
    'G0 işlemi ama satırda go ve r yoksa==> G0 işlemi yap
    If satir.IndexOf("G0 ") < 0 And satir.IndexOf("R") < 0 Then
        If G0Y = 1 And G1Y = 0 Then
            If G90 = 1 Then Call G0()
            If G91 = 1 Then Call G0_G91()
        End If
    End If
    'G1 işlemi ama satırda G1 ve R yoksa==> G0 işlemi yap
    If satir.IndexOf("G1 ") < 0 And satir.IndexOf("R") < 0 Then

```

```

    If G1Y = 1 And G0Y = 0 Then
        If G90 = 1 Then Call G1()
        If G91 = 1 Then Call G1_G91()
    End If
End If
'G2 işlemi ama satırda G2, I,J,K varsa==> G2 işlemi yap
If satir.IndexOf("G2 ") < 0 And satir.IndexOf("I") > -1 And
satir.IndexOf("J") > -1 Then
    If G2Y = 1 And G3Y = 0 Then
        If G90 = 1 Then Call G2_IJ()
        If G91 = 1 Then Call G2_IJ_G91()
    End If
End If
'G3 işlemi ama satırda G3, I,J,K varsa==> G3 işlemi yap
If satir.IndexOf("G3 ") < 0 And satir.IndexOf("I") > -1 And
satir.IndexOf("J") > -1 Then
    If G3Y = 1 And G2Y = 0 Then
        If G90 = 1 Then Call G3_IJ()
        If G91 = 1 Then Call G3_IJ_G91()
    End If
End If
'TERS KİNEMATİK HESAPLAMA
AK = Z + Math.Abs((Le ^ 2 - (X - Re * Math.Cos(0 * (Math.PI / 180))) ^ 2 - (Y - Re
* Math.Sin(0 * (Math.PI / 180))) ^ 2)) ^ (1 / 2) - 311.28765
BK = Z + Math.Abs((Le ^ 2 - (X - Re * Math.Cos(120 * (Math.PI / 180))) ^ 2 - (Y -
Re * Math.Sin(120 * (Math.PI / 180))) ^ 2)) ^ (1 / 2) - 311.28765
CK = Z + Math.Abs((Le ^ 2 - (X - Re * Math.Cos(240 * (Math.PI / 180))) ^ 2 - (Y -
Re * Math.Sin(240 * (Math.PI / 180))) ^ 2)) ^ (1 / 2) - 311.28765
AK = Math.Round(AK, 2)          BK = Math.Round(BK, 2)
CK = Math.Round(CK, 2)
Xy = X : Yy = Y : Zy = Z
'G0 veya G1 satırda varsa satırın yazılması
If satir.IndexOf("G0 ") > -1 Or satir.IndexOf("G1 ") > -1 Then
    If TextBox1.Lines(i).IndexOf("X") > -1 Then
        satir = satir.Insert(TextBox1.Lines(i).IndexOf("X"), "X" & AK & " " &
"Y" & BK & " " & "Z" & CK & " ")
        TextBox2.AppendText(satir & vbCrLf)
    End If
    If TextBox1.Lines(i).IndexOf("Y") < 0 And
TextBox1.Lines(i).IndexOf("Y") > -1 Then
        satir = satir.Insert(TextBox1.Lines(i).IndexOf("Y"), "X" & AK & " " &
"Y" & BK & " " & "Z" & CK & " ")
        TextBox2.AppendText(satir & vbCrLf)
    End If
    If TextBox1.Lines(i).IndexOf("Z") > -1 And
TextBox1.Lines(i).IndexOf("Y") < 0 And TextBox1.Lines(i).IndexOf("X") < 0 Then
        satir = satir.Insert(TextBox1.Lines(i).IndexOf("Z"), "X" & AK & " " &
"Y" & BK & " " & "Z" & CK & " ")
        TextBox2.AppendText(satir & vbCrLf)

```

```

End If
If TextBox1.Lines(i).IndexOf("X") < 0 And
TextBox1.Lines(i).IndexOf("Y") < 0 And TextBox1.Lines(i).IndexOf("Z") < 0 Then
    TextBox2.AppendText(satir & vbCrLf)
End If
End If
End If
'G0veya G1 satırda yoksa ve Ijkr yoksa : satırın yazılması
If satir.IndexOf("G3 ") < 0 And satir.IndexOf("G2 ") < 0 And
satir.IndexOf("G1 ") < 0 And satir.IndexOf("G0 ") < 0 And satir.IndexOf("R") < 0
And satir.IndexOf("I") < 0 And satir.IndexOf("J") < 0 And satir.IndexOf("K") < 0
Then
    If TextBox1.Lines(i).IndexOf("X") > -1 Or
    TextBox1.Lines(i).IndexOf("Y") > -1 Or TextBox1.Lines(i).IndexOf("Z") > -1 And
    (G0Y = 1 Or G1Y = 1) And (G90 = 1 Or G91 = 1) Then
        If TextBox1.Lines(i).IndexOf("X") > -1 Then
            satir = satir.Insert(TextBox1.Lines(i).IndexOf("X"), "X" & AK & " "
& "Y" & BK & " " & "Z" & CK & " ")
            TextBox2.AppendText(satir & vbCrLf)
        End If
        If TextBox1.Lines(i).IndexOf("X") < 0 And
        TextBox1.Lines(i).IndexOf("Y") > -1 Then
            satir = satir.Insert(TextBox1.Lines(i).IndexOf("Y"), "X" & AK & " "
& "Y" & BK & " " & "Z" & CK & " ")
            TextBox2.AppendText(satir & vbCrLf)
        End If
        If TextBox1.Lines(i).IndexOf("Z") > -1 And
        TextBox1.Lines(i).IndexOf("Y") < 0 And TextBox1.Lines(i).IndexOf("X") < 0 Then
            satir = satir.Insert(TextBox1.Lines(i).IndexOf("Z"), "X" & AK & " "
& "Y" & BK & " " & "Z" & CK & " ")
            TextBox2.AppendText(satir & vbCrLf)
        End If
    End If
End If
End If
'Normal Satırın Yazılması
If satir.IndexOf("(") > -1 Then
    TextBox2.AppendText(satir & vbCrLf)
End If
If satir.IndexOf("G21") < 0 And satir.IndexOf("(") < 0 And
satir.IndexOf("G3 ") < 0 And satir.IndexOf("G2 ") < 0 And satir.IndexOf("G1 ") < 0
And satir.IndexOf("G0 ") < 0 And
    satir.IndexOf("R") < 0 And satir.IndexOf("I") < 0 And satir.IndexOf("J") <
0 And satir.IndexOf("K") < 0 And satir.IndexOf("X") < 0 And satir.IndexOf("Y") <
0 And satir.IndexOf("Z") < 0 Then
    TextBox2.AppendText(satir & vbCrLf)
End If
AKs = AK : BKs = BK : CKs = CK
Next
Label1.Text = "İşlem " & (Now - Baslamat).TotalMilliseconds & " milisaniye
sürdü."

```

```

End Sub

Private Sub KaydetToolStripMenuItem_Click(ByVal sender As System.Object,
ByVal e As System.EventArgs) Handles KaydetToolStripMenuItem.Click
    SaveFileDialog1.ShowDialog()
    If SaveFileDialog1.FileName = "" Then
        Exit Sub
    End If
    ' this part saves the file
    FileSystem.FileOpen(1, SaveFileDialog1.FileName, OpenMode.Output)
    FileSystem.Print(1, TextBox2.Text)
    FileSystem.FileClose(1)
End Sub

Private Sub KapatToolStripMenuItem_Click(sender As Object, e As EventArgs)
Handles KapatToolStripMenuItem.Click
    End
End Sub

Private Sub AçToolStripMenuItem_Click_1(sender As Object, e As EventArgs)
Handles AçToolStripMenuItem.Click
    OpenFileDialog1.ShowDialog()
    If OpenFileDialog1.FileName = "" Then
        Exit Sub
    End If
    ' this part loads the file
    Dim Tmp As String
    Tmp = ""
    FileSystem.FileOpen(1, OpenFileDialog1.FileName, OpenMode.Input)
    Do While Not FileSystem.EOF(1)
        Tmp = Tmp & FileSystem.LineInput(1)
        If Not FileSystem.EOF(1) Then
            Tmp = Tmp & Chr(13) & Chr(10)
        End If
    Loop
    FileSystem.FileClose(1)
    TextBox1.Text = Tmp
End Sub

End Class

```

ÖZGEÇMİŞ

Elmas AŞKAR AYYILDIZ, 1985'te Zonguldak'ta doğdu. İlk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. 2002 yılında ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümüne girdi ve 2006'da mezun oldu. 2010 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında yüksek lisans programını tamamladı. 2015 yılında EFMA Makina Mühendislik San. ve Tic. Ltd. Şti. firmasını kurdu ve genel müdür olarak çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk annesidir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Düzce
Tel :
E-posta : aksar_elmas@hotmail.com