

İZMİR KÂTİP ÇELEBİ ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İKİ SERBESTLİK DERECELİ PROTOTİP PARALEL MEKANİZMANIN
TASARIMI ve İMALATI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ünsal DİNCER

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet ÇEVİK

HAZİRAN-2017

İZMİR KÂTİP ÇELEBİ ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İKİ SERBESTLİK DERECELİ PROTOTİP PARALEL MEKANİZMANIN
TASARIMI ve İMALATI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ünsal DİNCER
(600915002)**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet ÇEVİK

HAZİRAN-2017

İKÇÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün **600915002** numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Ünsal DİNCER**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**İKİ SERBESTLİK DERECELİ PROTOTİP PARALEL MEKANİZMANIN TASARIMI ve İMALATI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Mehmet ÇEVİK**
İzmir Katip Çelebi Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Yrd. Doç. Dr. Fatih Cemal CAN**
İzmir Katip Çelebi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Süleyman Murat BAĞDATLI
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Teslim Tarihi : **29 Mayıs 2017**
Savunma Tarihi : **19 Haziran 2017**

Özgür ve Zeynebime,

ÖNSÖZ

Bu tezde, sanayide ürün toplama ve yerleştirme (pick and place) işlerinde kullanılabilen iki serbestlik dereceli prototip paralel mekanizmanın, hızlı üretim metotları kullanılarak bilgisayar programı yardımıyla tasarımı ve imalatı yer almaktadır.

Tez konusunda ve araştırmalarımnda her türlü desteğini esirgemeyen Değerli Hocam Doç. Dr. Mehmet ÇEVİK'e, Dalan Kimya Yönetim Kurulu Başkanımız sayın Akın DALAN'a, tasarım ve imalat konularında yardımcı olan makine mühendisi Arif Hakan YILDIZ, Gökhan BULUNUR ve İlker BAŞARAN'a, Dalan Kimya çalışma arkadaşlarıma, Anova firmasının kıdemli uzman mühendisi Sayın Sinan Nuri NANE'ye, teşekkür ederim.

Haziran-2017

Ünsal DİNCER

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Mekanizma Nedir?	1
1.2 Kinematik Zincir	2
1.3 Seri ve Paralel Mekanizmalar	3
1.4 Serbestlik Derecesi	4
1.5 Kinematik Denklem	4
1.6 Paralel Mekanizmalar ve Uygulamaları	10
2. MEKANİK TASARIM	15
2.1 İhtiyacının Belirlenmesi	15
2.2 Bilgisayar Destekli Tasarım	17
2.3 Serbestlik Derecesinin Hesaplanması	19
2.4 Kinematik Denklemlerin Çıkarılması	20
2.5 Ters Kinematik Çözüm	30
2.6 İleri Kinematik Çözüm.....	37
2.7 Çalışma Uzayının Bulunması.....	40
2.8 Yörünge Planlama	44
2.8.1 Kübik polinomlar ile yörünge planlama	44
2.8.2 Kübik polinomlar ile ara noktalı yörünge planlama	47
2.8.3 Bernstein-Bézier eğrileri ile yörünge planlama	49
3. ANALİZ	53
3.1 Solidworks Hareket Analiz	53
3.2 Ansys Statik Yapısal Analiz.....	55
3.3 Ansys Transient Yapısal Analiz	56
4. ÜRETİM VE MONTAJ	61
4.1 Mekanizmada Kullanılan Malzemeler	61
4.2 Üretim ve İmalat Yöntemleri	65
4.3 Montaj	66
5. MEKANİZMANIN OTOMASYONU VE MİMARİSİ	69
5.1 Hareket Kontrol Sistemi Ekipmanları ve Panosu.....	69
5.2 Otomasyon Sistemi Mimarisi.....	71
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	77
KAYNAKLAR	81
EKLER	83
ÖZGEÇMİŞ	139

SEMBOLLER

θ	: Açısal konum
$\dot{\theta}$: Açısal hız
$\ddot{\theta}$: Açısal ivme
R	: Dönel mafsal
2-RRR	: Birbirine paralel iki kinematik zincirdeki üç dönel eklem.
m	: Düzlemsel mekanizmanın serbestlik derecesi.
l	: Uzunluk sayısı
n	: Mafsal sayısı
d_i	: Mafsal serbestlik derecesi
${}^A P_B$: Öteleme vektörü
${}^A R_B$: Dönme matrisi
${}^A T_B$: Homojen dönüşüm matrisi
$\sum_{i=1}^j (d_i)$: Toplam mafsal serbestlik derecesi
l_{AB}	: Uzunluk1-B uzunluğu (mm)
l_{FG}	: Uzunluk1-A uzunluğu (mm)
l_{FE}	: Uzunluk2-B uzunluğu (mm)
l_{BC}	: Uzunluk2-A uzunluğu (mm)
r_{G0}	: G ve 0 noktaları arası mesafe (mm)
r_{0A}	: 0 ve A noktaları arası mesafe (mm)
r_{ED}	: E ve D noktaları arası mesafe (mm)
r_{DC}	: D ve C noktaları arası mesafe (mm)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Matlab ve Solidworks ile hesaplanan açıların karşılaştırılması	34
Çizelge 2.2 : Matlab ile ileri kinematik denklemlerin doğrulanması	40
Çizelge 2.3 : Seçilen çalışma alanında açı analizi	44
Çizelge 2.4 : Yörünge planlama için seçilen konumlar ve hedef süreler	47
Çizelge 4.1 : İmalatı gerçekleştirilen parçaların malzemeleri	61
Çizelge 4.2 : Piyasadan temin edilen mekanik bileşenler	63
Çizelge 4.3 : Piyasadan temin edilen otomasyon malzemeleri.....	65

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Uzuvarlar (solda), uzuvarlar ve mafsal (ortada), Mekanizma (sağda)	2
Şekil 1.2 : Mafsal çeşitleri	2
Şekil 1.3 : Kinematik zincir örnekleri.....	2
Şekil 1.4 : Kuka-KR360 (solda), Omron-X series SCARA (sağda).....	3
Şekil 1.5 : Penta Robotics-Veloce (solda), ABB-IRB 340 FlexPicker (sağda).....	3
Şekil 1.6 : İleri ve ters kinematik analiz	5
Şekil 1.7 : Mekanizmanın katı ve kinematik zincir yapısal modeli.....	6
Şekil 1.8 : 0 ve 1 noktası koordinat sistemlerinin yerleşimi.....	7
Şekil 1.9 : 1 ve 2 noktası koordinat sistemlerinin yerleşimi.....	7
Şekil 1.10 : 2 ve 3 noktası koordinat sistemlerinin yerleşimi.....	8
Şekil 1.11 : Probleme geometrik yaklaşım	9
Şekil 2.1 : Damga makinası çıkışı, hatalı sabun gösterimi	15
Şekil 2.2 : Sıvı sabun hatları dispenser kapak takılması.....	16
Şekil 2.3 : 20ml Dalan marka kremi, kutuya koyma	16
Şekil 2.4 : Elau PackDrive-D2 modeli (solda), Codian D2-800 modeli (sağda).....	17
Şekil 2.5 : Standart parçaların 3D çizimleri.....	17
Şekil 2.6 : Özdeş uzuvarların çizimi	18
Şekil 2.7 : Parallelogram mekanizması	18
Şekil 2.8 : Platformun, X eksenine paralel hareket etiğinin ispatı.....	19
Şekil 2.9 : Solidworks’de nihai tasarım	19
Şekil 2.10 : Mekanizmanın kinematik zinciri.....	20
Şekil 2.11 : Kinematik zincir elemanlarının notasyonu.....	21
Şekil 2.12 : 0, A ve G koordinat sistemlerinin yerleşimi.....	22
Şekil 2.13 : 0, A ve B koordinat sistemlerinin yerleşimi.....	23
Şekil 2.14 : 0, G ve F koordinat sistemlerinin yerleşimi	24
Şekil 2.15 : E, D ve C koordinat sistemlerinin yerleşimi	25
Şekil 2.16 : 0 ve D koordinat sistemlerinin ve konum vektörünün gösterimi	26
Şekil 2.17 : Kinematik alt zincirleri, konum vektörlerinin gösterimi.....	27
Şekil 2.18 : Solidworks hareket analizi ile açıların incelenmesi	33
Şekil 2.19 : Matlab ile denklemlerin kontrolü	34
Şekil 2.20 : θ_3 ve θ_4 açıları için ${}^A P_C$ ve ${}^G P_E$ konum vektörlerinin gösterimi.....	34
Şekil 2.21 : θ_5 açısının elde edilmesi.....	36
Şekil 2.22 : θ_3 , θ_4 , θ_5 ve θ_6 açılarının Solidworks programında gösterimi.....	36
Şekil 2.23 : θ_3 , θ_4 , θ_5 ve θ_6 açı değerlerinin Matlab sonuçları	37
Şekil 2.24 : Matlab ileri kinematik kök analizi örneği	40
Şekil 2.25 : V Plakası ve Paralel 1 uzuv temasının gösterimi	41
Şekil 2.26 : Platform ve Uzuvar2-A uzuv temasının gösterimi.....	41
Şekil 2.27 : Platform ve Uzuvar2-A uzuv temasının yakın gösterimi.....	41
Şekil 2.28 : θ_3 , θ_4 ve θ_7 açılarının 180° ’yi aşması.....	42
Şekil 2.29 : Matlab programıyla mekanik sınırların çizdirilmesi	42

Şekil 2.30 : θ_1 ve θ_2 açılarının işaret analizi	43
Şekil 2.31 : +Z bölgesinde maksimum çalışma alanı	43
Şekil 2.32 : Maksimum çalışma alanı ve fiziksel sınırlamalar	43
Şekil 2.33 : Seçilen çalışma alanı	44
Şekil 2.34 : Matlab ile çizdirilen, θ_1 ve θ_2 yer değiştirme, hız ve ivme grafiği	46
Şekil 2.35 : Solidworks ile θ_2 yer değiştirme, hız ve ivme grafiği	46
Şekil 2.36 : Matlab ve Solidworks ile hareket profili karşılaştırması.....	47
Şekil 2.37 : Ara noktalı kübik polinom kullanılarak yörünge planlaması	48
Şekil 2.38 : θ_1 ve θ_2 'nin yer değiştirme profili	48
Şekil 2.39 : θ_1 ve θ_2 'nin hız profili	48
Şekil 2.40 : θ_1 ve θ_2 'nin ivme profili	49
Şekil 2.41 : Bézier eğrileri ile yörünge planlama	50
Şekil 2.42 : Bézier eğrisi ile yörünge planının konum profili	50
Şekil 2.43 : Bézier eğrisi ile yörünge planının pozisyon profili	50
Şekil 2.44 : Bézier eğrisi ile yörünge planının hız profili.....	51
Şekil 2.45 : Bézier eğrisi ile yörünge planının ivme profili.....	51
Şekil 3.1 : Solidworks hareket analizde uygulanan kuvvet ve hareket planı.....	53
Şekil 3.2 : Solidworks hareket analizi aktüatör girdileri	54
Şekil 3.3 : Solidworks hareket analizi sağ aktüatör tork eğrisi.....	54
Şekil 3.4 : Solidworks hareket analizi sol aktüatör tork eğrisi	55
Şekil 3.5 : Mekanizmanın meshli ve yük eklenmiş gösterimi	55
Şekil 3.6 : Statik yapısal analiz ile gerilmelerin gösterimi	56
Şekil 3.7 : Transient yapısal analiz ile elde edilen eşdeğer gerilmeler	57
Şekil 3.8 : UzuV1-B ile redüktör mil bağlantısındaki eşdeğer gerilmeler	57
Şekil 3.9 : UzuV1-B ile redüktör mil bağlantısındaki asal gerilmeler	58
Şekil 3.10 : UzuV1-A ile 2-A arası mafsal pimindeki eşdeğer gerilmeler	58
Şekil 3.11 : UzuV1-A ile 2-A arası mafsal pimindeki asal gerilmeler	58
Şekil 3.12 : UzuV1-B ile 2-B arası mafsal pimindeki eşdeğer gerilmeler	59
Şekil 3.13 : UzuV1-B ile 2-B arası mafsal pimindeki asal gerilmeler	59
Şekil 3.14 : Güvenlik faktörü gösterimi.....	59
Şekil 4.1 : Mekanizma parçalarının, malzeme çeşidi kodlaması.....	61
Şekil 4.2 : Paralel mekanizma malzemeleri.....	62
Şekil 4.3 : 7075 T651 Alüminyum kullanarak talaşlı imalat.....	62
Şekil 4.4 : 16MnCr5 Sementasyon Çeliği kullanarak talaşlı imalat	62
Şekil 4.5 : 3K Karbon Fiber parçalar	63
Şekil 4.6 : KARM-08 mafsal (solda), NEUGARD-Planet redüktör (sağda).....	64
Şekil 4.7 : Schneider BSH servo motor	64
Şekil 4.8 : Su jeti imalatı.....	65
Şekil 4.9 : Freze, Torna ve CNC imalatı.....	65
Şekil 4.10 : Fikstür ve parçaları	66
Şekil 4.11 : Nihai montajın yapılacağı çerçeve	66
Şekil 4.12 : İmalatı gerçekleştirilen malzemelerin montajı	67
Şekil 4.13 : Nihai mekanik montaj	67
Şekil 5.1 : Schneider marka Lexium32A sürücü ve Canbus haberleşme	69
Şekil 5.2 : LMC58 hareket kontrolleri	70
Şekil 5.3 : Codesys otomasyon platformu	70
Şekil 5.4 : Otomasyon panosu	71
Şekil 5.5 : Paralel mekanizmanın otomasyon mimarisi.....	71
Şekil 5.6 : Mekanizma servo programının ekran görüntüsü	72
Şekil 5.7 : Programın akış şeması.....	73

Şekil 5.8 : Simülasyon için hazırlanan ekran görüntüsü	73
Şekil 5.9 : Montaj öncesi hazırlanan, program test düzeneği	74
Şekil 5.10 : Paralel mekanizmanın montajı ve çalıştırılması.....	74
Şekil 5.11 : Operatör paneli görüntüsü	75
Şekil 5.12 : Hareket verilen mekanizmada servo pozisyonlarının gösterimi	76
Şekil 5.13 : Hareket verilen mekanizmada servo hız profillerinin gösterimi	76

İKİ SERBESTLİK DERECELİ PROTOTİP PARALEL MEKANİZMANIN TASARIMI ve İMALATI

ÖZET

Dalan Kimya sabun üretim tesislerinde, ürünlerin kalite kontrolü, dizme, pozisyon değiştirme ve sıralama işlerinde kullanılmak üzere, işe özel boyutlandırılabilen iki ve üç serbestlik dereceli mekanizmalara ihtiyaç duyulmuştur. Bu ihtiyaç doğrultusunda iki serbestlik dereceli bir prototip mekanizma yapılmasına karar verilmiştir. İki serbestlik dereceli prototip mekanizma üzerinde yapılacak çalışmalar sayesinde konu hakkında ayrıntılı bilgi sahibi olmak, çalışma uzayından hareket planına kadar optimum çözüme ulaşmak ve ileride prototipin geliştirilmesi ile farklı boyutlarda mekanizmaların üretimleri hedeflenmiştir.

Üretim hatlarında yapılan ön çalışmada, ürünlerin alma ve bırakma işlemleri için gerekli olan çalışma uzayı belirlenmiş, mevcut iki serbestlik dereceli paralel mekanizmalardan esinlenerek Solidworks programında yeni bir mekanizmanın katı modellenmesi yapılmıştır.

Kinematik modeli oluşturulan mekanizmanın genel serbestlik derecesi formülü kullanılarak serbestlik derecesinin iki olduğu gösterilmiş ve kinematik denklemleri çıkarılmıştır. Matlab programı kullanılarak denklemlerin ileri kinematik çözümü, ters kinematik çözümü ve işaret analizi yapılmış, ardından mekanizmanın maksimum çalışma alanı çıkarılmıştır. Matlab ve Solidworks programlarıyla elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak denklemlerin doğruluğu gösterilmiştir. Fiziksel sınırlamalar dikkate alınarak çıkarılan maksimum çalışma alanı içinde, ihtiyaca ve hareket planlarına uygun bir çalışma alanı seçilmiştir. Seçilen çalışma alanının içinde, mafsal açılarının alabileceği maksimum ve minimum değerler hesaplanmıştır. Bu değerler servo program yazılımına değerler olarak girilmiştir.

Yörünge planlaması için Bézier eğrilerinin matematiksel ifadesi olan Bernstein polinomları kullanılmıştır. Seçilen çalışma alanı içinde hareket planı oluşturulmuş, Matlab ve Solidworks programlarında hareketin analizi yapılmıştır. Pozisyon, hız ve ivme profilleri incelenmiştir. Solidworks hareket analizi ile tahrik mafsallarında

gerekli tork değerleri hesap edilerek motor seçimi yapılmıştır. Ansys sonlu eleman yazılımı kullanılarak statik ve transient yapısal analizler yapılmış ve mekanizmanın yük altındaki gerilmeleri incelenmiştir.

İmalat aşamasında, kesilerek üretilecek parçalar ısı işleme maruz kalmamaları için su jeti ile kesilmiş, diğer parçalar ise belirlenen toleransları sağlamak için torna, freze ve CNC talaşlı imalat yöntemlerinden faydalanılarak üretilmiştir.

Malzeme olarak, yüksek mukavemetli ve hafif alüminyum alaşımı 7075 T651, yüzey sertleşmesi yapılmış 16MnCr5 sementasyon çeliği, yüksek mukavemetli ve hafif karbon fiber örgülü kompozit ve 1050 imalat çeliği kullanılmıştır. Tüm parçalar, Solidworks programında tasarlanmış ve profilden üretilmiş çerçeveye monte edilmiştir.

İleri ve ters kinematik çözümler ve yörünge planlama kodları Matlab programından servo programına (Codesys) aktarılmıştır. Kinematik denklemlerin ve pozisyon profilinin mekanizma üzerinde doğrulanması için, asıl mekanizma yerine önce beş bar mekanizması kullanılmış, istenen neticenin elde edilmesi üzerine asıl mekanizma çerçeveye monte edilmiştir. Kinematik denklemlerinin ve hareket planındaki pozisyon ve hız profillerinin doğruluklarını asıl mekanizma üzerinde de göstermek için, Codesys platformunu kullanan hareket kontrol ünitesine yüklenen programdan alınan servo pozisyon ve hız aktüel verileri Matlab programıyla karşılaştırılmıştır. Sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada üretilen paralel mekanizma prototipi sayesinde, sanayinin ihtiyacı olan bir ürünün hızlı ve düşük maliyetle, tamamen yerli imalatla karşılanmasının ilk adımı atılmış olmaktadır. Üretilen mekanizma sabun sektöründe kullanılmak üzere tasarlanmış olmakla birlikte, çok farklı sektörlerde ve farklı boyutlarda kullanılabilecek şekilde geliştirilmesi kolaylıkla mümkündür. Kullanılan yazılımın marka bağımsız IEC61131-3 standardında olması ve Codesys platformu kullanan tüm hareket kontrol üniteleriyle uyumlu olması ise diğer bir avantajıdır. Ayrıca, hazırlanan tüm kodlar, teknik resimler ve tüm teknik bilgiler açık olarak verilmiş ve araştırmacılarımızın istifadesine sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Paralel Mekanizma, Kinematik, Servo, Codesys

DESIGN AND MANUFACTURE OF A TWO DEGREES-OF-FREEDOM PROTOTYPE PARALLEL MECHANISM

SUMMARY

In Dalan Kimya Soap Manufacturing Plant, 2 and 3 degrees-of-freedom mechanisms, dimensions of which can be arranged regarding to requirements, to be used for quality control, and pick and place of soaps have been demanded. In accordance with this demand, the design and production of a 2 degrees-of-freedom prototype mechanism was decided. The aim of this study is to obtain general knowledge about two degrees-of-freedom mechanisms, to achieve the optimal solutions from the workspace to path planning and to be able to produce mechanisms of different sizes by modifying the prototype.

According to preliminary inspections of manufacturing lines, the workspace required for pick and place process was determined. Then, the solid model of a new mechanism was designed via Solidworks software through inspiration of existing two degrees-of-freedom parallel mechanisms.

It was shown by using the general degree of freedom formula that the degree of freedom of the kinematic model is two and the kinematic equations were derived. Forward and inverse kinematics solutions were obtained using Matlab software, the sign analysis was performed; then the maximum available workspace of the mechanism was drawn. The equations were verified by comparing the results obtained by Solidworks and Matlab programs. An optimum working area, based on trajectory and general requirements, was determined within the maximum workspace that was determined considering the physical constraints. The maximum and minimum values of joint angles, within the specified workspace, were calculated. These values were input in the servo program software.

Bernstein polynomials that are mathematical expressions of Bézier curves, were used for trajectory generation. Trajectories were generated within the specified workspace and motion analysis was carried out by Matlab and Solidworks software. Position, velocity and acceleration profiles are analyzed. The required torque value in the

rotary actuators were determined and an appropriate servo motor was selected accordingly. The static and transient structural analyses were performed via finite elements analysis software Ansys to assess the mechanical stresses of mechanism under load condition. In prototype manufacturing, some parts of mechanism were manufactured by waterjet cutting process to prevent the heating. Other parts were machined on lathe, milling and CNC within defined tolerances.

The materials used in the mechanism consist of high strength light aluminum alloy 7075 T651, carburized steel 16MnCr5, high strength light carbon fiber woven composite and 1050 carbon steel. All the parts of the mechanism have been designed in Solidworks. Finally, the mechanism was fixed on the chassis that was constructed with steel profiles.

The forward and inverse kinematic solutions and trajectory planning codes derived from Matlab, were transferred to the servo software (Codesys). Verification of motion planning has been done by simple five-bar mechanism instead of actual prototype. After the verification process, original prototype has been assembled on the chassis.

In order to show the validity of kinematic equations and position and velocity profiles in trajectories on the actual mechanism, actual servo position and velocity data from the software loaded on the control unit which uses Codesys platform, were compared with those obtained from Matlab. It was observed that both results are consistent with each other.

As a result of this study, a low-cost parallel mechanism that meets with the expectations of industry was designed and prototyped rapidly within domestic manufacturing capabilities. While the parallel mechanism is designed for soap industry, it can be modified easily to be utilized in other industries and with different dimensions. The software used is compatible with brand independent IEC 61131-3 standard and Codesys platform, and adaptable with all motion control units using Codesys. These are other main advantages of our mechanism. Furthermore, all the source codes, technical drawings and essential technical details are presented in favor of researchers.

Keywords: Parallel Mechanism, Kinematic, Servo, Codesys

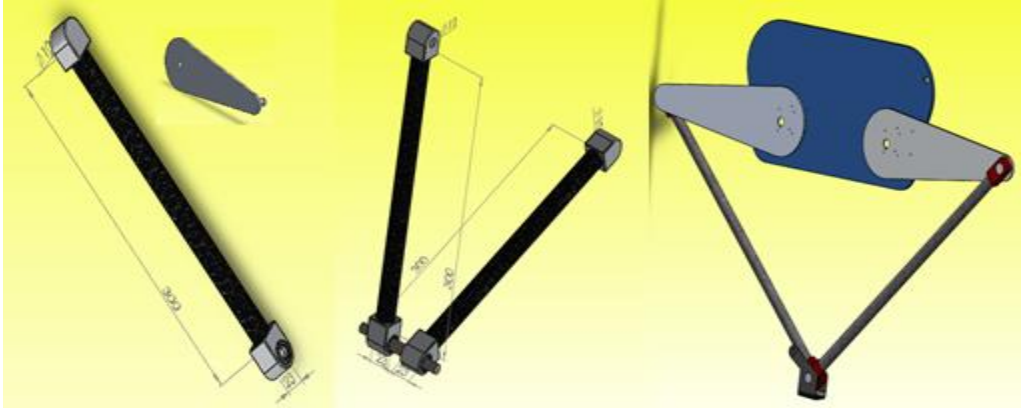
1. GİRİŞ

Şirketlerin varlıklarını sürdürebilmeleri ve hayatta kalabilmeleri için teknolojik yeniliklere ayak uydurmaları gerekmektedir. 18. ve 19. yüzyıllarda buharla çalışan makinelerin icadıyla başlayan sanayi devrimi, günümüzde teknolojik yeniliklerin, üretim aşamalarının her noktasında uygulanması, dijitalleştirilmesi, haberleştirilmesi, insan gücüyle çalışan tüm üretim aşamalarında robotik uygulamaların kullanılmasını hedefleyen dördüncü sanayi devrimi (Endüstri 4.0) ile devam etmektedir. Ülkemizde de dördüncü nesil sanayi devrimi için farklı dallarda uzmanlıklar bir araya gelmekte, çok disiplinli yaklaşımlarla dünyadaki teknolojik gelişmeler incelenmekte, kamu, özel sektör ve üniversiteler bir araya gelerek bu teknolojilerin ülkemize uygulanması için araştırma ve geliştirme çalışmalarına hız vermektedirler.

Bu bölümde, mekanizmaları oluşturan elemanlardan, kinematik zincirden, seri ve paralel mekanizma çeşitlerinden, serbestlik derecesinden ve kinematik denklemlerin çıkarılma yöntemlerinden bahsedilmiştir. Örnek bir kinematik yapısal model oluşturulmuş, bu mekanizmanın homojen dönüşüm matrisleri ve son işlemcinin konum denklemleri bulunmuştur. Son olarak, paralel mekanizmalar hakkında yapılan araştırmalara yer verilmiştir.

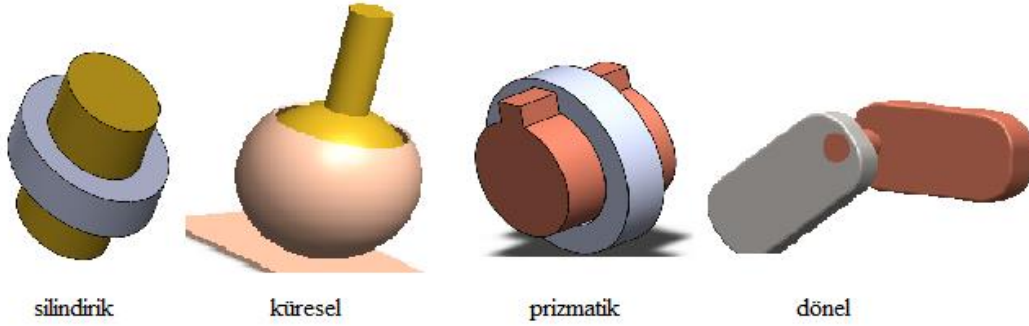
1.1 Mekanizma Nedir?

Söylemez [1] mekanizmayı, kuvvet ve hareket iletimi için kullanılabilen rijit cisimlerin rijit mafsallarla birleştirildiği sistem olarak tanımlamaktadır. Diğer bir deyişle, bir fonksiyonu yerine getiren eleman çiftlerinin meydana getirdiği katı cisimler zinciridir. Mekanizmayı meydana getiren elemanlara “uzuv”, uzuvları birbirine bağlayan bağlantılara da “mafsal” adı verilmektedir. Mekanizmalar, uzuvlardan ve mafsallardan oluşur. Tüm parçalar farklı şekillerde hareket edebilmektedir. Şekil 1.1’de bir mekanizmanın bazı uzuvlarının ve mafsallarının üç boyutlu resimleri görülmektedir.



Şekil 1.1 Uzunluklar (solda), uzunluk ve mafsalları (ortada), mekanizma (sağda).

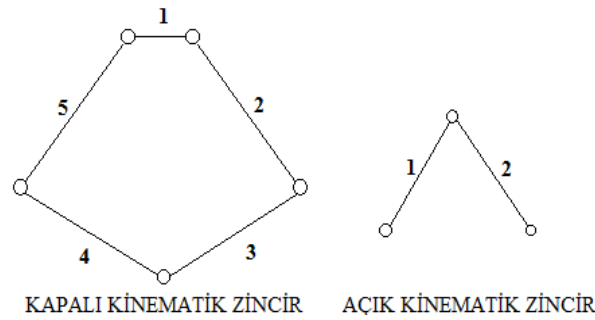
Mekanizmalarda uzunlukları birbirlerine bağlayan farklı mafsallar kullanılabilir. Bunlardan birkaçına örnek verecek olursak: Dönel, prizmatik, silindirik, küresel ve benzeri mafsallar diye sıralanabilir. Bazı mafsal çeşitleri Şekil 1.2’de gösterilmiştir.



Şekil 1.2 Mafsal çeşitleri.

1.2 Kinematik Zincir

Tüm uzunlukların ve gövdenin, mafsallarla birbirlerine bağlanması sonucunda oluşan yapının modeline “kinematik zincir” denilmektedir. Şekil 1.3’de kinematik zincirlere örnekler verilmiştir.



Şekil 1.3 Kinematik zincir örnekleri.

Şekil 1.3'deki kapalı kinematik zincir, Şekil 1.1'de sağdaki mekanizmanın yapısal modelidir. Bu model üzerinde beş adet uzuv ve beş adet dönel mafsal olduğu görülmektedir.

1.3 Seri ve Paralel Mekanizmalar

Seri mekanizmalar, açık kinematik zincire sahip ve uç uca eklenmiş uzuvlardan oluşmaktadır. Şekil 1.4'de görülen robotlar seri mekanizmalara örnek olarak verilebilir. Bu robotun uç işlemcisi kinematik zincirin en sonundadır ve bir önceki uzuv haricinde bir bağlantısı yoktur.



Şekil 1.4 Kuka-KR360 (solda), Omron-X series SCARA (sağda).

Paralel mekanizmalar, kapalı kinematik zincire sahip ve uç işlemci birimi birbirinden bağımsız seri kinematik zincirlerle bir tabana bağlıdır. Şekil 1.5'de paralel mekanizma örnekleri verilmiştir.



Şekil 1.5 Penta Robotics-Veloce (solda), ABB-IRB 340 FlexPicker (sağda).

Briot ve Bonev [2]'e göre, düşük maliyet ve yüksek performans avantajlarını bir arada bulduran çözümlere ihtiyaç vardır. Paralel robotlar, yapıları gereği rijitliği yüksek ve ataleti düşük mekanizmalardır. Aktüatörler, seri robotlar gibi hareket eden mekanizmaların üzerinde yer almak yerine, sabit platformda yer almaktadırlar. Bu sayede hareketli kütleler düşük değerlere sahip olup, yüksek ivmelenmelere izin vermektedir. Paralel mekanizmaların dezavantajı ise görece düşük çalışma alanına sahip olmalarıdır.

1.4 Serbestlik Derecesi

Bir mekanizmanın serbestlik derecesi, bu mekanizmada bulunan tüm uzuvların konumunu belirlemek için gerekli olan parametre sayısıdır [1]. Serbestlik derecesinin kinematik model üzerinden çıkarılması, serbestlik derecesinin hesaplanması işlemini kolaylaşmaktadır. Mekanizmanın serbestlik derecesinin hesaplanması için, uzuv sayısının, mafsalsayısının, uzay serbestlik derecesinin ve her bir mafsalsayısının serbestlik derecelerinin bilinmesi gerekir. Genel olarak, serbestlik derecesi (λ), iki boyutlu mekanizmalar için $\lambda=3$, üç boyutlu mekanizmalar için $\lambda=6$ 'dır.

Bir mekanizmanın serbestlik derecesinin hesaplanması için kullanılan formül denklem 1.1'de verilmiştir [3].

$$m = 3 (l-n-1) + \sum_{i=1}^n d_i \quad (1.1)$$

Burada,

m: Düzlemsel mekanizmanın serbestlik derecesi

l: Mekanizmadaki uzuv sayısı

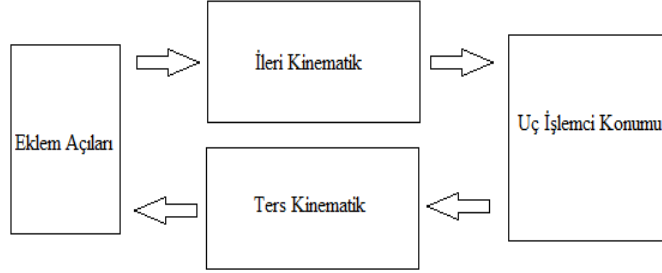
n: Mekanizmadaki mafsalsayısı

d_i : Mafsalsayısı i 'nin serbestlik derecesidir.

1.5 Kinematik Denklemler

Mekanizmaların doğrusal ve açısal hareket etmelerini sağlayan hidrolik, pnömatik ve elektriksel hareket ettiriciler (aktüatörler) kullanılmaktadır. Teknolojik gelişmeler, yüksek hassasiyet ve doğrulukla çalışan hareket ettiricilerin üretilmesini beraberinde getirmiştir. Mekanizmalardaki hareket ettiricilerin, konumunun veya açısının değiştirilmesi sonucunda uç işlemcinin konumu ve yönelimi değişmektedir.

Kinematik zinciri oluşan elemanların konumlarını ve yönelimlerini bulmak için analitik ve geometrik birtakım yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler ile elde edilen denklemler sayesinde konum ve yönelimler hesap edilebilmektedir. Denklemlerin çıkarılmasında ileri ve ters kinematik çözümler kullanılmaktadır. Her iki çözümler yöntemini ifade eden blok diyagram Şekil 1.6’da gösterilmiştir.



Şekil 1.6 İleri ve ters kinematik analiz.

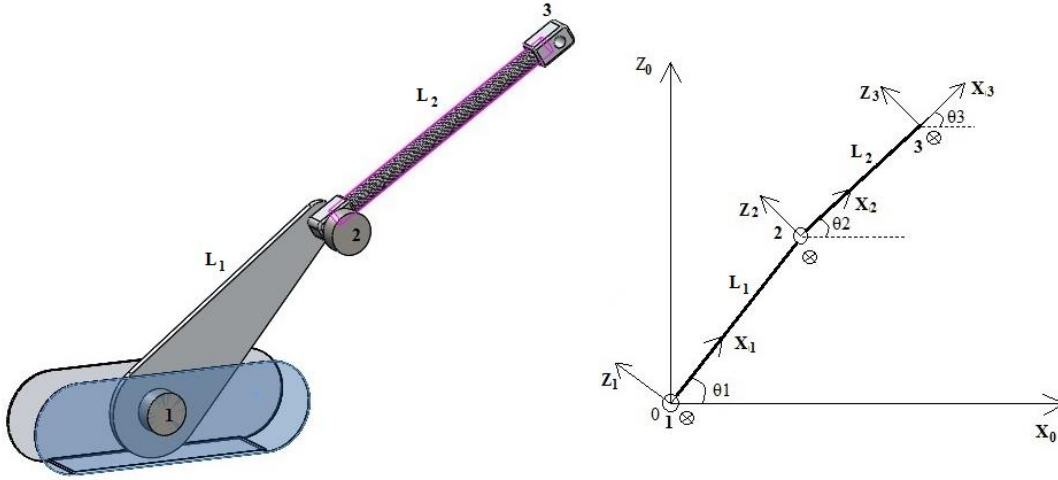
İleri kinematik denklemlerin çıkarılması sonucu, tahrik uzuvlarına verilecek açı değerleri ile uç işlemcinin konumu bulunur. Kinematik denklemlerin çıkarılması için, uzayda bir noktaya, temel koordinat sistemi yerleştirilir. Daha sonradan mafsallara yerel koordinatlar yerleştirilir. Temel koordinat sistemine göre kinematik zincirdeki tüm mafsalların yerel koordinatları tanımlanmalıdır. Uç işlemcinin temel koordinat sistemine göre konumunun belirlenmesi için, hem uzuv boyutlarının bilinmesi, hem de komşu iki mafsal arası ilişkiyi temel koordinatlar cinsinden ifade eden dönüşüm matrislerinin çıkarılması gerekir. Tüm zincir boyunca çıkarılan homojen dönüşüm matrislerinin çarpılması sonucunda uç işlemciyle ilgili kinematik zincirin temel koordinatla ilişkisi ortaya konulmuş olur. İleri kinematik çözümde geometrik ve cebirsel yaklaşımlar kullanılmaktadır. Denavit–Hartenberg (D-H) Yöntemi, Pieper-Roth Yöntemi ve Sıfır Referans Konum Yöntemi kinematik denklemlerin çıkarılmasında en çok kullanılan yöntemlerdir.

Ters kinematik denklemlerin çıkarılması sonucu, uç işlemcinin konumundan yola çıkarak tahrik mafsallarının ve uzuvların yönelimleri ve konumları hesaplanabilir.

Şekil 1.7’de, temel ve mafsal koordinat sistemlerinin yerleşimi gösterilmiştir. Burada, tahrik mafsallarına monte edilen hareket ettiricilerin ve uzuvların üç boyutlu katı modelinin resmi ile eksenlere yerleştirilmiş kinematik zincir yapısal modeli görülmektedir. Homojen dönüşüm matrisleri ve geometrik hesaplama yöntemleriyle elde edilen konum denklemlerinin karşılaştırılması ileride yapılacaktır. Hareket

ettirici 1'in bağı olduğu dönel mafsalmın yerden yüksekliği çok küçük olduğu için ihmal edilmiştir.

Uç işlemcinin konum ve yönelimini belirlemek için öteleme vektörü ve dönme matrisi oluşturulur.



Şekil 1.7 Mekanizmanın katı ve kinematik zincir yapısal modeli.

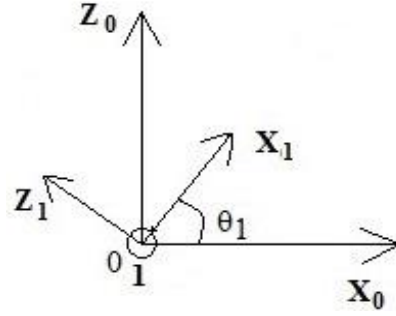
Öteleme vektörü ve dönme matrisinin tek bir matris formunda gösterilmesine homojen dönüşüm matrisi denir. Uzayda herhangi bir P noktasının konumu, 0 temel koordinat sistemine göre ${}^0\mathbf{P}$ ile gösterilir. Aynı P noktasının, mafsala bağı olarak tanımlanan 1 numaralı yerel koordinat sistemine göre konumu ise ${}^1\mathbf{P}$ şeklinde gösterilir. Temel koordinat sisteminin merkezinden 1 numaralı mafsalmın koordinat sisteminin merkezine doğru olan öteleme vektörü ${}^0\mathbf{P}_1$ ile gösterilmiştir. Koordinat sistemlerinin birbirlerine göre açılarını göstermek için dönme matrisleri şu şekilde tanımlanır. 1 numaralı koordinat sisteminin temel koordinat sistemine göre dönme matrisi ${}^0_1\mathbf{R}$ şeklinde ifade edilir. Bu durumda, 1 numaralı koordinat sisteminin temel koordinat sistemine göre homojen dönüşüm matrisi ${}^0_1\mathbf{T}$ ile gösterilir. Homojen dönüşüm matrisinin genel ifadesi denklem 1.2'de gösterilmiştir.

$${}^A_B\mathbf{T} = \begin{bmatrix} {}^A_B\mathbf{R} & {}^A\mathbf{P}_B \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

Bu tanımlamalar sırayla diğer kinematik zincirdeki elemanlara da uygulanır. Koordinat sistemlerinin merkezleri çakışık ancak yönelimleri farklı olan iki nokta arasındaki öteleme vektörü sıfır olur. Eğer bu sistemlerin yönelimleri de aynı ise, dönme matrisi de birim matris olur. Koordinat sistemlerinin merkezi çakışık

olmayan, fakat yönelimleri aynı olan iki noktanın da dönme matrisi birim matris olur. Koordinat sistemlerinde sağ el kuralı uygulanır.

Şekil 1.8’de görülen 0 ve 1 koordinat sistemleri arası öteleme vektörü, denklem 1.3’de, dönme matrisi denklem 1.4’de ve homojen dönüşüm matrisi denklem 1.5’te gösterilmiştir.



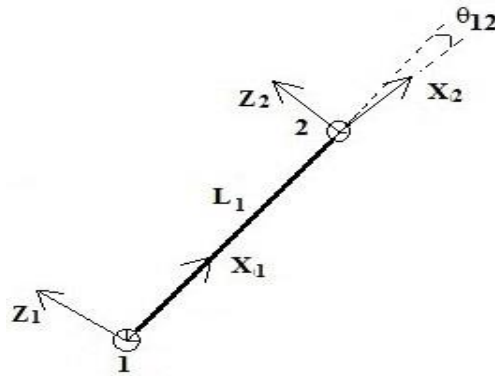
Şekil 1.8 0 ve 1 noktası koordinat sistemlerinin yerleşimi.

$${}^1_0\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) & 0 & -\sin(\theta_1) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\theta_1) & 0 & \cos(\theta_1) \end{bmatrix} = ({}^0_1\mathbf{R})^{-1} = ({}^0_1\mathbf{R})^T \quad (1.3)$$

$${}^0\mathbf{P} = {}^0_1\mathbf{R}^1\mathbf{P} + {}^0\mathbf{P}_1 \quad {}^0\mathbf{P}_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad {}^0\mathbf{P} = {}^0_1\mathbf{R}^1\mathbf{P} \rightarrow {}^0_1\mathbf{T} = {}^0_1\mathbf{R} \quad (1.4)$$

$${}^0_1\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) & 0 & -\sin(\theta_1) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin(\theta_1) & 0 & \cos(\theta_1) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.5)$$

Şekil 1.9’da görülen 1 ve 2 koordinat sistemleri arası dönme matrisi denklem 1.6’da, öteleme vektörü denklem 1.7’de ve homojen dönüşüm matrisi denklem 1.8’de gösterilmiştir.



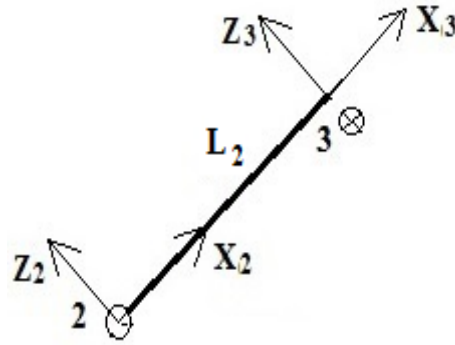
Şekil 1.9 1 ve 2 noktası koordinat sistemlerinin yerleşimi.

$${}^2_1\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_{12}) & 0 & \sin(\theta_{12}) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\theta_{12}) & 0 & \cos(\theta_{12}) \end{bmatrix} = ({}^2_1\mathbf{R})^{-1} = ({}^2_1\mathbf{R})^T \quad (1.6)$$

$${}^1\mathbf{P}_2 = \begin{bmatrix} {}^1\mathbf{P}_{2x} \\ {}^1\mathbf{P}_{2y} \\ {}^1\mathbf{P}_{2z} \end{bmatrix} = L_1 \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1.7)$$

$${}^1_2\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_{12}) & 0 & \sin(\theta_{12}) & L_1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\theta_{12}) & 0 & \cos(\theta_{12}) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.8)$$

Şekil 1.10'da görülen 2 ve 3 koordinat sistemleri arası dönme matrisi denklem 1.9'da, öteleme vektörü denklem 1.10'da ve homojen dönüşüm matrisi denklem 1.11'de gösterilmiştir.



Şekil 1.10 2 ve 3 noktası koordinat sistemlerinin yerleşimi.

$${}^2\mathbf{P} = {}^2_3\mathbf{R} {}^3\mathbf{P} + {}^2\mathbf{P}_3, \quad {}^2_3\mathbf{R} = \mathbf{I} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad {}^2\mathbf{P} = \mathbf{I} {}^3\mathbf{P} + {}^2\mathbf{P}_3 \quad (1.9)$$

$${}^1\mathbf{P} = \begin{bmatrix} {}^1\mathbf{P}_x \\ {}^1\mathbf{P}_y \\ {}^1\mathbf{P}_z \end{bmatrix}, \quad {}^2\mathbf{P} = \begin{bmatrix} {}^2\mathbf{P}_x \\ {}^2\mathbf{P}_y \\ {}^2\mathbf{P}_z \end{bmatrix} \quad (1.10)$$

$${}^2_3\mathbf{T} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & L_2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.11)$$

Uç işlemcinin konumunun ve yöneliminin, temel koordinat cinsinden homojen dönüşüm matrisi ifadesi denklem 1.12’de gösterilmiştir.

$${}^0_3\mathbf{T} = {}^0_1\mathbf{T} {}^1_2\mathbf{T} {}^2_3\mathbf{T} \quad (1.12)$$

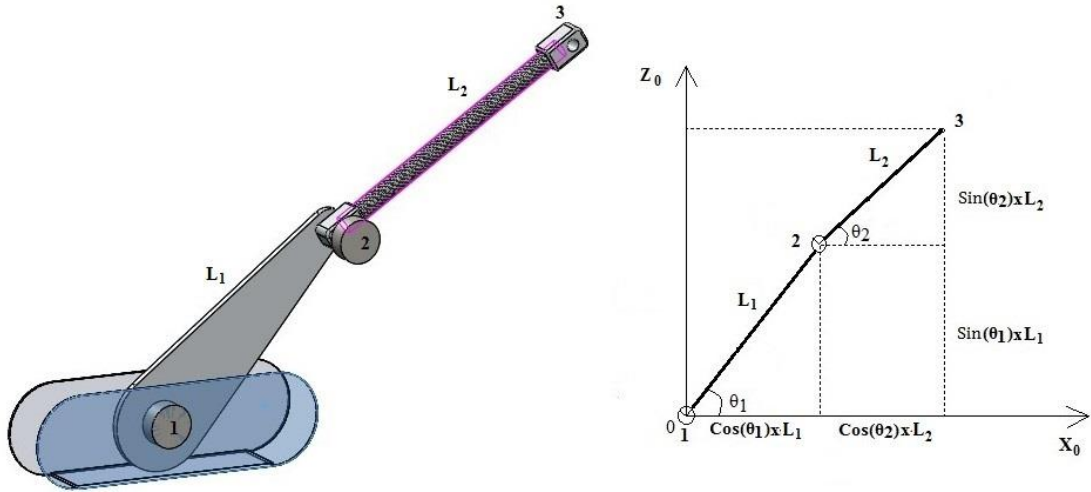
Denklem çözümlerinde kullanılan trigonometrik dönüşümler denklem 1.13’de verilmiştir.

$$\begin{aligned} \cos(\theta_1) \cos(\theta_{12}) + \sin(\theta_1) \sin(\theta_{12}) &= \cos(\theta_1 - \theta_{12}) = \cos(\theta_2) \\ \sin(\theta_1) \cos(\theta_{12}) - \cos(\theta_1) \sin(\theta_{12}) &= \sin(\theta_1 - \theta_{12}) = \sin(\theta_2) \end{aligned} \quad (1.13)$$

Denklem 1.13’ün çözümüyle elde edilen konum vektörü 1.14’de gösterilmiştir.

$${}^0\mathbf{P}_3 = \begin{bmatrix} {}^0\mathbf{P}_{3x} \\ {}^0\mathbf{P}_{3y} \\ {}^0\mathbf{P}_{3z} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_2 \cos(\theta_2) + L_1 \cos(\theta_1) \\ 0 \\ L_2 \sin(\theta_2) + L_1 \sin(\theta_1) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1.14)$$

Şekil 1.11’deki uç işlemcinin konumunun geometrik yaklaşımla ifadesi, denklem 1.15’de gösterilmiştir.



Şekil 1.11 Probleme geometrik yaklaşım.

$$\begin{aligned} X_3 &= \cos(\theta_1) L_1 + \cos(\theta_2) L_2 \\ Z_3 &= \sin(\theta_1) L_1 + \sin(\theta_2) L_2 \end{aligned} \quad (1.15)$$

Sonuç olarak farklı çözüm yöntemleri uygulanmış olup denklem 1.14 ile 1.15'te aynı sonuca varıldığı görülmektedir. Seri bir mekanizmaya uygulanmış olan bu yöntemler, paralel mekanizmalara da uygulanabilmektedir.

1.6 Paralel Mekanizmalar ve Uygulamaları

Paralel mekanizmalar, uzuvların tabana ve hareketli platforma mafsallarla bağlı olduğu robotlardır. Paralel mekanizmalar bir veya daha fazla kapalı döngü içeren ve bağlarının yalnızca bir kaçı hareket ettiriciler tarafından hareket ettirilen zincirlerdir [4].

Genel anlamda, uç işlemcisi birbirinden bağımsız seri-kinematik zincirler ile bir tabana bağlı kapalı kinematik mekanizma, paralel robot olarak adlandırılmaktadır [3].

Bonev [5] ise paralel mekanizmayı şöyle tanımlamaktadır; n -serbestlik dereceli tam paralel mekanizma, n adet birbirinden bağımsız seri-kinematik zincirlerin hareketli ve sabit bir platforma, döner, üniversal, prizmatik veya küresel mafsallarla bağlanmasıyla elde edilir.

Liu ve arkadaşları [6], iki serbestlik derecesine sahip daha rijit bir gövdeye monte edilmiş Novel paralel mekanizmanın boyutsal sentezi, ileri kinematiği, ters kinematiği, çalışma uzayı analizi, dinamik simülasyonu, ivmelenmeleri ve tekil noktaları üzerine çalışma yapmıştır. Bu çalışmada iki ve üç serbestlik dereceli mekanizmaların tekilliklerinin bulunmasının, daha yüksek serbestlik derecesi olan mekanizmalara göre daha kolay olduğu savunulmuştur. Önerilen mekanizmanın hareketli bir taban ile takım tezgâhlarında parça işleme işlemlerinde ve benzeri uygulamalarda kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Baradat ve arkadaşları [7], iki pasif ve iki aktüatörlü kinematik zincirli iki serbestlik dereceli paralel mekanizmanın, klasik iki serbestlik dereceli mekanizmaya nazaran daha hafif ve direngenliğinin daha yüksek olduğunu savunmuştur. Direngenlik analizi ve prototip üretim sonrası, klasik paralel mekanizmalara göre daha hafif ve on kat daha direngen olduğu görülmüştür.

Huang ve arkadaşları [8], endüstriye yönelik yüksek hız için tasarlanmış, toplama ve yerleştirme uygulamalarında kullanılan iki serbestlik derecesine sahip mekanizmanın optimizasyonunu ele almışlardır. Bu mekanizmanın, dinamik performans

parametreleri, mevcut bir uygulamaya yönelik incelenmiştir. Normalleştirilmiş atalet, santrifuj momentleri, koriolis momentleri, kinematik ve açılal kısıtlamalar hesaba katılarak mekanizma optimizasyonu hakkında bilgi verilmiştir. Bu çalışma sonucunda, mekanizmanın hedefe ulaşma yöntemi, mevcut mekanizmaya başarıyla uygulanmıştır.

Chung ve Lee [9], iki serbestlik dereceli paralel mekanizmanın kinematik performansı ve statik balansını geliştirmek için yeni bir pantograf mekanizması içeren tasarım üzerinde durmuştur. Çalışma uzayı içerisindeki tekil noktalardan kaçınmak için metotlar önerilmiştir. Bu noktaların belirlenmesi için Jakobiyen matrisleri kullanılmış ve bu noktalar hareket planından çıkarılmıştır. Standart beş bar mekanizması ile önerilen mekanizma, uygulanan kuvvetleri temsil eden elipsoid grafikler üzerinden kıyaslanmıştır. Önerilen mekanizmanın, iyi bir kinematiğe ve dinamiğe sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Gao ve arkadaşları [10], iki serbestlik dereceli paralel mekanizmanın uzuv uzunlukları ile performans kriterleri arasındaki analitik ilişkiyi, global hız ve konum endekslerine dayalı elde etmek için çözüm uzayının geometrik modelini kullanmışlardır. Mekanizmaların genel davranışını tanımlayan bu model, analiz ve tasarımlarda kullanılabilir.

Huang ve arkadaşları [11], iki serbestlik dereceli, hızlı yer değiştirme ve yerleştirme işlemleri için kullanılan Diamond adlı paralel mekanizmanın zaman ve minimum yörünge planlaması çalışması yapmışlardır. Yörünge sarsıntısını dikkate alan optimal yol planlaması için bir algoritma önermişlerdir. Mekanizmanın kinematiği ve dinamiği formüle edilerek, tork ve hız sınırlamaları yol uzunluğunun parametrik fonksiyonu olarak alınmıştır. Bu çalışma, Diamond adlı endüstride kullanılan paralel mekanizmada uygulanmıştır.

Briot ve Bonev [2], seri ve paralel iki serbestlik dereceli mekanizmaların kinematik doğruluk karşılaştırmasını yapmıştır. Mekanizmalar belirlenmiş bir çalışma alanında yalnızca giriş hataları düşünülerek optimize edilmiştir. Bu çalışmada bazı paralel mekanizmaların, seri mekanizmalara göre giriş hatalarına daha az hassas olduğu sonucuna varılmıştır.

Gao ve arkadaşları [12], mekanizmalarda kullanılan geleneksel mafsalların yanı sıra, belirli bir serbestlik derecesine sahip yeni nesil mafsalları, bileşik alt zincirleri ve

kombine uzuv bağlantılarını kullanılarak yeni paralel mekanizmalar türetilbileceğini önermişlerdir. Bu sayede 2, 3, 4 ve 5 serbestlik dereceli yeni mekanizmalar elde edilmiştir.

Düzlemsel paralel mekanizmanın çalışma alanı, mekanik bileşenleri arasındaki engellemelerden dolayı sınırlıdır. Bu engellemeyi aşmak için Ji [13] yeni bir mekanizma önermektedir. Önerilen bu üç serbestlik derecesine sahip 2-RRR paralel mekanizmayla, mekanik bileşenler arasındaki engellemelerin azaltılabilmesi ve çalışma alanının genişletilmesi adına tekilliği giderecek kinematik çalışmalar yapılmıştır. Yer değiştirme analizi, ikinci dereceden bir denklemle kontrol edilmiştir. Sonuç olarak bu tip bir mekanizmanın, engellemeleri azaltacağı ortaya koyulmuştur.

Küçük ve Bingül [14], mekanizmaların kinematik modellerinin çıkarılmasında kullanılan kinematik yöntemleri karşılaştırmıştır. Üç boyutlu Kartezyen ve dört boyutlu Kartonyum olmak üzere iki farklı uzay kullanılarak ileri ve ters kinematik denklemler elde edilmiştir. Kartezyen uzayında Homojen Dönüşüm (Denavit-Hartenberg), Üssel, Sıfır Referans Konum, Pieper-Roth ve Tam ve Parametrik Sürekli Yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemlerin üstün ve zayıf yönleri açıklanmış, Homojen dönüşüm yönteminin (D-H), ileri yön kinematiğini doğrudan çıkararak ve basit gösterime sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Li-xin ve Yong-gang [15], iki serbestlik dereceli paralel mekanizmada, eklem boşluğunun dinamik performansa etkilerini araştırmışlardır. Temas kuvveti modeli, Hertz temas teorisi ve Coulomb sürtünme modelleri kullanılmıştır. Dinamik ve kinematik doğruluğun düştüğü, hareket kararsızlığı olduğu gözlenmiştir. Uzunlar, yay sistemiyle desteklenerek mekanizmanın mafsal boşluklarından kaynaklı sıçrama-ayırma etkisi azaltılmıştır. Atalet yükündeki değişimleri iyileştirmek için uygun bir kinematik çözüm kullanılmıştır.

Erkaya ve arkadaşları [16], uzuvlar arasında esnek bağlantı kullanılmasının mekanizmaların kararlılığı ve dinamiği üzerine etkilerini araştırmıştır. Krank-biyel mekanizmasını model alarak, karşılaştırmalı nümerik analiz ve deneysel analiz yapılmıştır. Esnek bağlantının burulma yay etkisi ile serbest ve titreşimli hareketi azalttığı ispatlanmıştır.

Brogårdh [17], ABB firmasının ürettiği üç serbestlik dereceli paralel FlexPicker robotundan yola çıkarak, bağlantı kümeleme yaklaşımı ile farklı endüstriyel paralel

mekanizmaların üretilebileceğini göstermiştir. Kullanılan yaklaşımla SCARA robot benzeri yeni paralel mekanizmalar elde edilmiştir.

Wu ve arkadaşları [18], sırasıyla 4-RRR, 3-RRR, 2-RRR kinematik zincire sahip üç serbestlik dereceli mekanizmaların kondisyon, hız, yük ve direngenlik indekslerini karşılaştırmışlardır. Ters kinematik yöntem kullanılmış ve tüm indeksler grafiksel olarak gösterilmiştir. Üç serbestlik dereceli 4-RRR mekanizmanın kondisyon, yük ve direngenlik performansının en iyi, 2-RRR'nin en kötü olduğu sonucuna varılmıştır. Tüm performans indeksleri göz önünde bulundurulduğunda, en büyük optimum bölge alanı, 4-RRR paralel mekanizmasında çıkmıştır.

2. MEKANİK TASARIM

Bu bölümde, düzlemsel hareketli iki serbestlik dereceli paralel mekanizmanın üretimde kullanılacak noktalarının incelenmesi, bilgisayar destekli tasarımı, serbestlik derecesinin hesaplanması, kinematik denklemlerinin çıkarılması, mekanik sınırlamaları, maksimum çalışma uzayı, seçilen çalışma uzayı analizleri ve yörünge planlamasına yer verilmiştir.

2.1 İhtiyacının Belirlenmesi

Üretim sahalarında yapılan incelemeler sonucunda iki serbestlik derecesine sahip paralel mekanizmaya ihtiyaç duyulan noktalar araştırılmıştır. Şekil 2.1’de damga makinası çıkışındaki sabunların yardımcı işletme proseslerinde yaşanabilecek sıkıntılar, çapaklanma ve yapışma sonucu sabun yazılarının ve şekillerinin bozulduğu bilinmektedir. Bu mekanizma kalite kontrol sistemleri ile birlikte çalışabilecek ve hatalı sabunları ayrı bir noktaya taşıyabilecektir. 75gr, 100gr ve 150gr sabunun dakikada 50 baskı üretiminde, hatalı sabunların bant üzerinden alınması ve geri çevrim noktasına konması için gerekli mesafeler Z ekseninde 80-90mm, X ekseninde 190-200mm hareketle sağlanabilecektir.



Şekil 2.1 Damga makinası çıkışı, hatalı sabun gösterimi.

Şekil 2.2’de, sıvı sabun hatlarında, şişe dolum sonrası dakikada 25 adet dispenser kapak koyma işlemi için paralel mekanizmanın kullanılabilirliği araştırılmıştır. 140mm ve 190mm boylarında olan dispenserlerin, tasarlanacak son işlemci mekanizması yardımı ile şişe ağzına konabilmesinin paralel mekanizmayla mümkün

olabileceği anlaşılmıştır. 140-190mm arası Z ekseninde hareket ve 350-400mm arası X ekseninde hareket yeterli olacaktır.



Şekil 2.2 Sıvı sabun hatları dispenser kapak takılması.

Şekil 2.3’de, dakikada 60 adet üretilen 20ml kremlerin kartonlama makinesinden çıkışı görülmektedir. Bu kremlerin dörderli gruplar halinde krem kutusu içine yerleştirilmesi işlemi, paralel mekanizmaya eklenecek son işlemci mekanizması ile gerçekleştirilebilecektir. Alma ve bırakma işlemi için, Z ekseninde 160-170mm, X ekseninde 500-550mm hareket yeterli olacağı tespit edilmiştir.



Şekil 2.3 20ml Dalan marka kremi, kutuya koyma.

Sonuç olarak, çalışma uzayı ölçüsü Z ekseninde 190mm, X ekseninde 550mm olan, iki serbest dereceli mekanizma yeterli olacaktır.

Literatür ve piyasa araştırmaları sonucunda, yukarıda bahsi geçen tüm uygulamalarda kullanılabilir iki serbestlik dereceli iki paralel mekanizma ayrıntılı incelenmiştir. Bu amaçla sektörde kullanılmakta olan mekanizmalardan birincisi, Codian marka D2-800 modeli ikincisi ise Elau marka PackDrive D2 modelidir. Bu

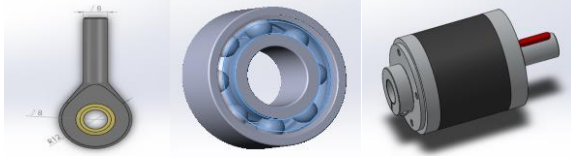
iki model Şekil 2.4’de gösterilmiştir. Her iki mekanizmanın teknik bilgileri EK A’da verilmiştir.



Şekil 2.4 Elau PackDrive-D2 modeli (solda), Codian D2-800 modeli (sağda).

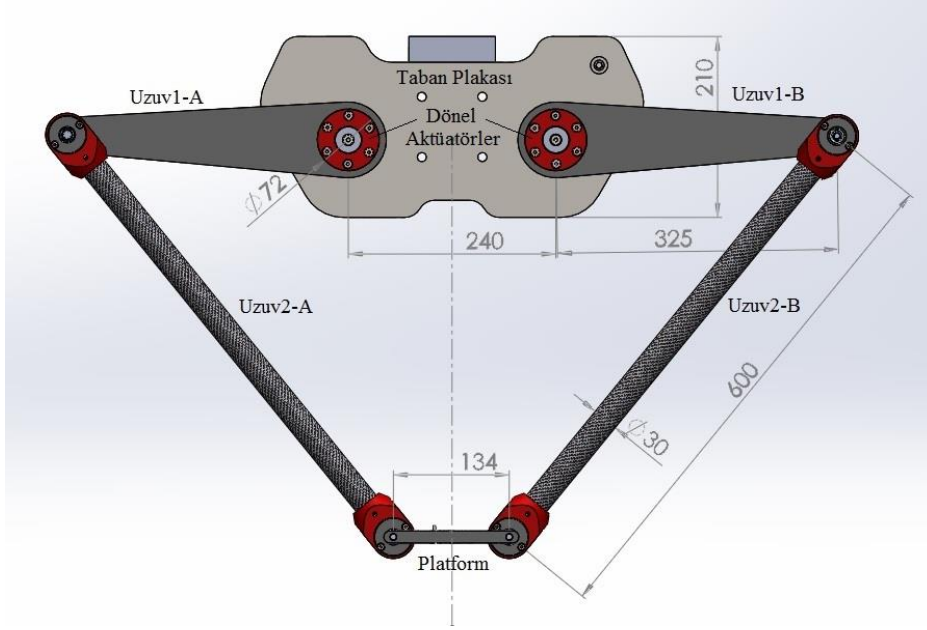
2.2 Bilgisayar Destekli Tasarım

Mekanizma parçalarının çizimi ve bilgisayar ortamında montajı için Solidworks programı kullanılmıştır. Şekil 2.5’de mafsal, rulman, planet ve redüktör parçalarının standart çizimleri için firmaların hazır 3D katı modelleri görülmektedir.



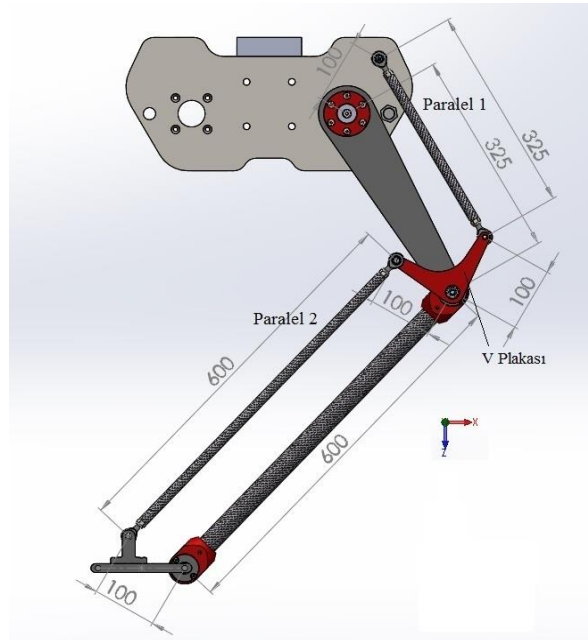
Şekil 2.5 Standart parçaların 3D çizimleri.

Şekil 2.6’da bizim yaptığımız tasarımda taban plakasına, iki özdeş uzvun ve hareketli platformun yerleştirilmesi gösterilmiştir.



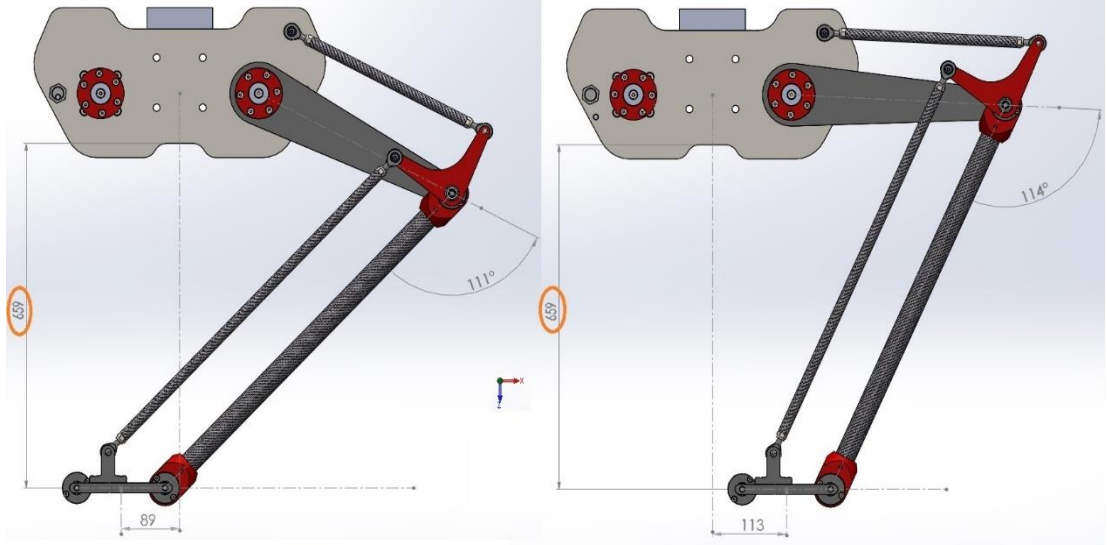
Şekil 2.6 Özdeş uzuvların çizimi.

Şekil 2.6'daki tasarımda, özdeş uzuvların dönel aktüatörler tarafından hareketlendirilmesiyle platform yeryüzüne paralel kalmamaktadır. Platformun yeryüzüne paralel kalmasını sağlamak için, Uzuv1-B ve Uzuv2-B'ye paralel ve uzuvlarla aynı uzunlukta şekil 2.7'de gösterilen mekanizma eklenmiştir. Seri ve paralel mekanizmalarda, platform ve son işlemcinin X eksenine paralellliğini sağlayan bu paralelogram mekanizması kullanılmaktadır. Bu sayede, platformun dönme serbestliği kısıtlanmıştır.



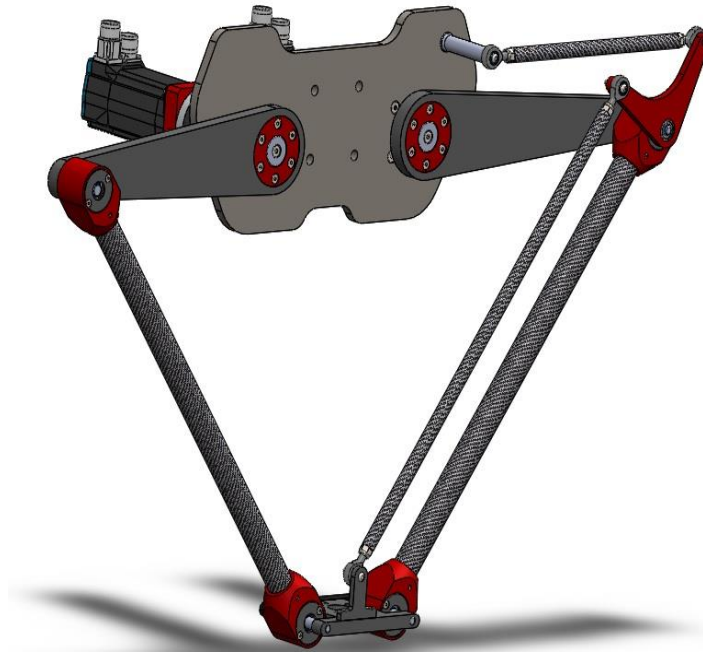
Şekil 2.7 Parallelogram mekanizması.

Eklenen bu paralel uzuvlar sayesinde, mekanizmanın dönel aktüatörlerinin hareketlendirilmesi sonucunda platformun X ve Z ekseninin farklı konumlarında yeryüzüne paralel kaldığı Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.8 Platformun, X eksenine paralel hareket ettiğinin ispatı.

Şekil 2.9’da nihai tasarım gösterilmiştir.



Şekil 2.9 Solidworks’de nihai tasarım.

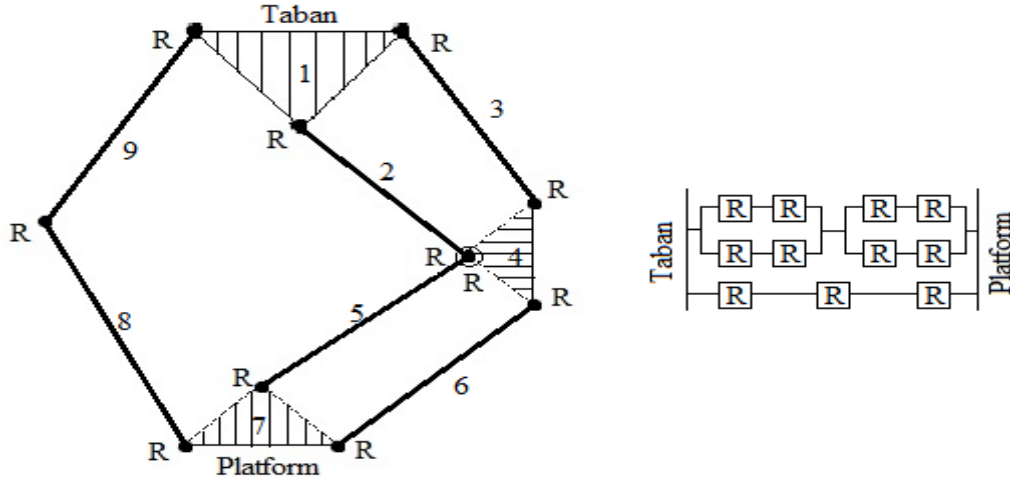
2.3 Serbestlik Derecesinin Hesaplanması

Merlet’e [3] göre, düzlemsel mekanizmaların serbestlik derecesinin hesap edilmesinde denklem 2.1’deki formül kullanılabilir.

$$m = 3 (l-n-1) + \sum_{i=1}^n d_i \quad (2.1)$$

- m : Düzlemsel mekanizmanın serbestlik derecesi
 l : Mekanizmadaki uzuv sayısı
 n : Mekanizmadaki mafsalsayısı
 d_i : Mafsalsayısı i 'nin serbestlik derecesi'dir.

Şekil 2.10'da toplam uzuv sayısı 9, toplam mafsalsayısı 11'dir. 4 numaralı elemanla, 2 ve 5 numaralı elemanların birleşim yerinde mafsalsayısı 2 dir. Mafsalların toplam serbestlik dereceleri 11 dir. Tüm bu değerlerin, denklem 2.1'e göre hesabı denklem 2.2'de verilmiştir.



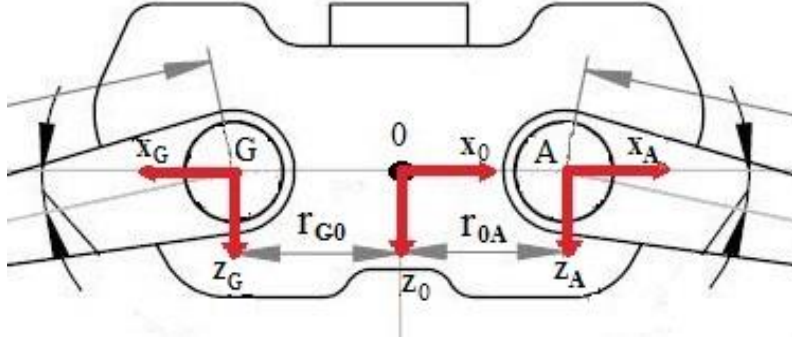
Şekil 2.10 Mekanizmanın kinematik zinciri (R = Revolute Joint - Dönel Mafsalsayısı).

$$m = 3 (9-11-1) + 11 = 2 \quad (2.2)$$

Mekanizmanın serbestlik derecesi 2 bulunmuştur. Uzuvların konumlarının hesaplanması için iki parametre yeterli olacaktır.

2.4 Kinematik Denklemlerin Çıkarılması

Şekil 2.10'da, serbestlik derecesi iki olan mekanizmanın şekil 2.20'deki D noktasının konumunun bulunabilmesi için iki parametre yeterli olacaktır. Mekanizmadaki D noktasının, temel $O(x_0, z_0)$ koordinat sistemine göre belirlenen ve bilinen konuma ulaşması için, θ_1 ve θ_2 açılarının bilinmesi gerekir. Bu iki açının bulunabilmesi için,



Şekil 2.12 0, A ve G koordinat sistemlerinin yerleşimi.

Denklem 2.3'de A'nın 0 koordinat sistemine göre yönelim matrisi,

$${}^0\mathbf{R}_A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Denklem 2.4'de A'nın 0 koordinat sistemine göre konum vektörü,

$${}^0\mathbf{P}_A = \begin{bmatrix} {}^0P_{Ax} \\ {}^0P_{Ay} \\ {}^0P_{Az} \end{bmatrix} = r_{0A} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \rightarrow {}^0\mathbf{P}_A = \begin{bmatrix} r_{0A} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Denklem 2.5'de A'dan 0 koordinat sistemine dönüşüm matrisi,

$${}^0\mathbf{T}_A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & r_{0A} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Denklem 2.6'da G'nin 0 koordinat sistemine göre yönelim matrisi,

$${}^0\mathbf{R}_G = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

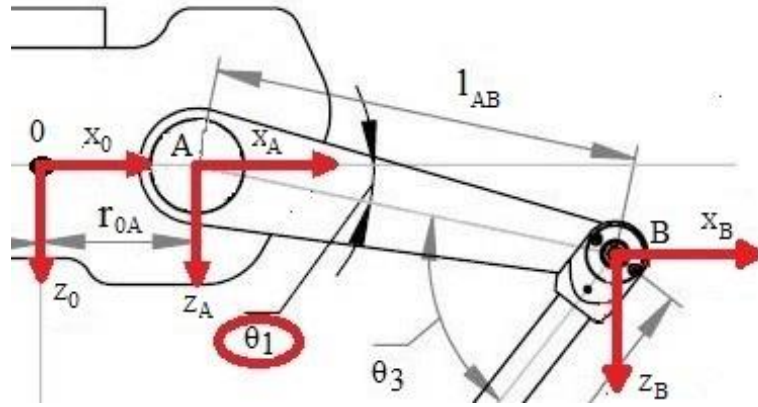
Denklem 2.7'de G'nin 0 koordinat sistemine göre konum vektörü,

$${}^0\mathbf{P}_G = \begin{bmatrix} {}^0P_{Gx} \\ {}^0P_{Gy} \\ {}^0P_{Gz} \end{bmatrix} = r_{G0} \begin{bmatrix} \cos 180 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \rightarrow {}^0\mathbf{P}_G = \begin{bmatrix} -r_{G0} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Denklem 2.8’de, G’den 0 koordinat sistemine dönüşüm matrisi verilmiştir.

$${}^0_G\mathbf{T} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & -r_{G0} \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

Şekil 2.13’de A(x_A, z_A) ve B(x_B, z_B) koordinat sistemlerinin yerleşimi gösterilmiştir. Yönelimleri aynı, konumları farklıdır.



Şekil 2.13 0, A ve B koordinat sistemlerinin yerleşimi.

Denklem 2.9’da B’nin A koordinat sistemine göre yönelim matrisi,

$${}^A_B\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

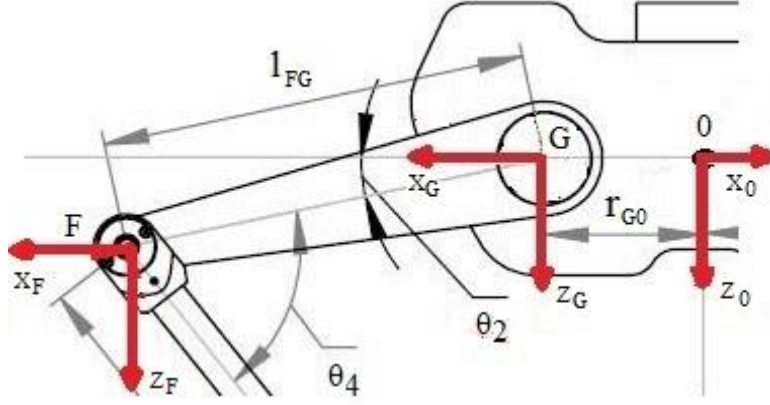
Denklem 2.10’da B’nin A koordinat sistemine göre konum vektörü,

$${}^A\mathbf{P}_B = \begin{bmatrix} {}^A P_{Bx} \\ {}^A P_{By} \\ {}^A P_{Bz} \end{bmatrix} = l_{AB} \begin{bmatrix} \cos\theta_1 \\ 0 \\ \sin\theta_1 \end{bmatrix} \rightarrow {}^A\mathbf{P}_B = \begin{bmatrix} l_{AB}\cos\theta_1 \\ 0 \\ l_{AB}\sin\theta_1 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Denklem 2.11’de B’den A koordinat sistemine dönüşüm matrisi verilmiştir.

$${}^A_B\mathbf{T} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l_{AB}\cos\theta_1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_{AB}\sin\theta_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

Şekil 2.14’de G(x_G, z_G) ve F(x_F, z_F) koordinat sistemlerinin yerleşimi gösterilmiştir. Yönelimleri aynı, konumları farklıdır.



Şekil 2.14 0, G ve F koordinat sistemlerinin yerleşimi.

Denklem 2.12’de F’nin G koordinat sistemine göre yönelim matrisi,

$${}^G_F\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

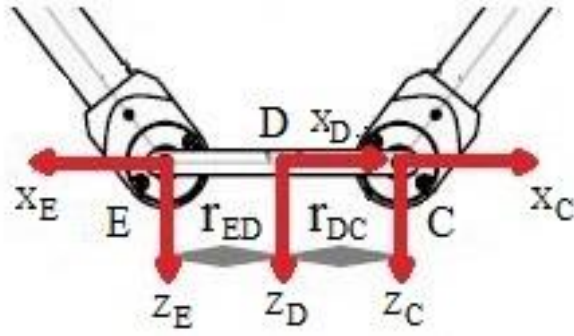
Denklem 2.13’de F’nin G koordinat sistemine göre konum vektörü,

$${}^G\mathbf{P}_F = \begin{bmatrix} G P_{Fx} \\ G P_{Fy} \\ G P_{Fz} \end{bmatrix} = l_{FG} \begin{bmatrix} \cos\theta_2 \\ 0 \\ \sin\theta_2 \end{bmatrix} \rightarrow {}^G\mathbf{P}_F = \begin{bmatrix} l_{FG}\cos\theta_2 \\ 0 \\ l_{FG}\sin\theta_2 \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

Denklem 2.14’de F’den G koordinat sistemine dönüşüm matrisi verilmiştir.

$${}^G_F\mathbf{T} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l_{FG}\cos\theta_2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_{FG}\sin\theta_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

Şekil 2.15’de, D(x_D, z_D) koordinat sistemi platform merkezine, D koordinat sistemine göre C(x_C, z_C) ve E(x_E, z_E) koordinat sistemleri ise x ekseninde sırasıyla r_{DC} ve r_{ED} kadar eşit uzaklıkta konumlandırılmışlardır. C ve D’nin yönelimleri aynı konumları farklıdır. E ve D’nin yönelimleri ve konumları farklıdır. Yönelim olarak z eksenini etrafında E, D ye göre 180° , C’de D’ye göre 0° açıyla döndürülerek yerleştirilmiştir.



Şekil 2.15 E, D ve C koordinat sistemlerinin yerleşimi.

Denklem 2.15’de C’nin D koordinat sistemine göre yönelim matrisi,

$${}^D_C\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

Denklem 2.16’da C’nin D koordinat sistemine göre konum vektörü,

$${}^D\mathbf{P}_C = \begin{bmatrix} {}^D P_{Cx} \\ {}^D P_{Cy} \\ {}^D P_{Cz} \end{bmatrix} = r_{DC} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \rightarrow {}^D\mathbf{P}_C = \begin{bmatrix} r_{DC} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

Denklem 2.17’de C’den D koordinat sistemine dönüşüm matrisi,

$${}^D_C\mathbf{T} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & r_{DC} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

Denklem 2.18’de E’nin D koordinat sistemine göre yönelim matrisi,

$${}^D_E\mathbf{R} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

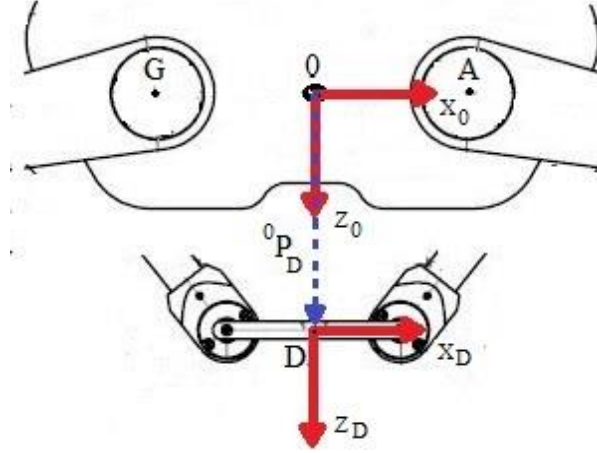
Denklem 2.19’da E’nin D koordinat sistemine göre konum vektörü,

$${}^D\mathbf{P}_E = \begin{bmatrix} {}^D P_{Ex} \\ {}^D P_{Ey} \\ {}^D P_{Ez} \end{bmatrix} = I_{ED} \begin{bmatrix} \cos 180 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \rightarrow {}^D\mathbf{P}_E = \begin{bmatrix} -r_{ED} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

Denklem 2.20’de E’den D koordinat sistemine dönüşüm matrisi verilmiştir.

$${}^D_E \mathbf{T} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & -r_{ED} \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

Şekil 2.16’da gösterilen, $0(x_0, z_0)$ koordinat sisteminin ve $D(x_D, z_D)$ koordinat sisteminin yönelimleri aynı, konumları farklıdır.



Şekil 2.16 0 ve D koordinat sistemlerinin ve konum vektörünün gösterimi.

Denklem 2.21’de D’nin 0 koordinat sistemine göre yönelim matrisi,

$${}^0_D \mathbf{R} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

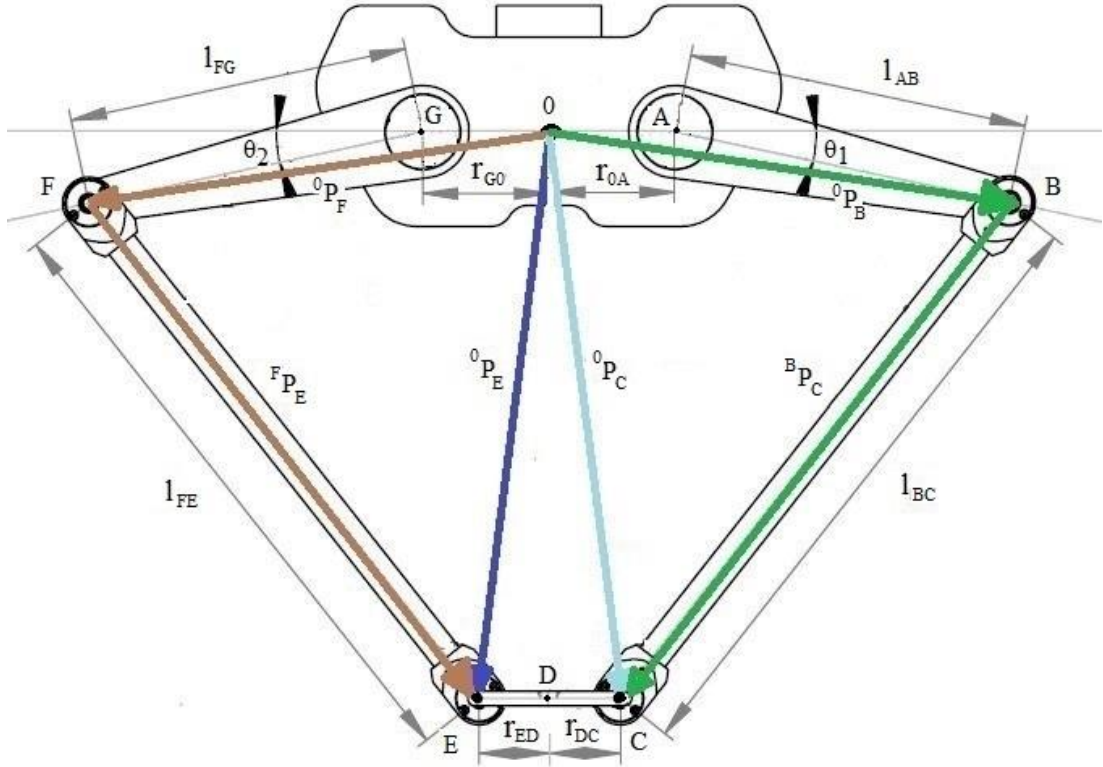
Denklem 2.22’de D’nin 0 koordinat sistemine göre konum vektörü,

$${}^0\mathbf{P}_D = \begin{bmatrix} {}^0\mathbf{P}_{Dx} \\ {}^0\mathbf{P}_{Dy} \\ {}^0\mathbf{P}_{Dz} \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

Denklem 2.23’de D’den 0 koordinat sistemine dönüşüm matrisi verilmiştir.

$${}^0_D \mathbf{T} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & {}^0\mathbf{P}_{Dx} \\ 0 & 1 & 0 & {}^0\mathbf{P}_{Dy} \\ 0 & 0 & 1 & {}^0\mathbf{P}_{Dz} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

Şekil 2.17’deki konum vektörlerinin matematiksel ifadesinin yazılabilmesi için B, C, F ve E’nin $0(x_0, z_0)$ koordinat sistemine dönüşüm matrisleri hesaplanmalıdır.



Şekil 2.17 Kinematik alt zincirleri, konum vektörlerinin gösterimi.

Denklem 2.24'de B'nin 0 koordinat sistemine dönüşüm matrisi verilmiştir.

$${}^0\mathbf{T}_B = {}^0\mathbf{T}_A {}^A\mathbf{T}_B \quad (2.24)$$

Denklem 2.25'de dönüşüm matrisleri yerlerine yazılmıştır.

$${}^0\mathbf{T}_B = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & r_{0A} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l_{AB}\cos\theta_1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_{AB}\sin\theta_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

Denklem 2.26'da matris işlemi sonucu ve konum vektörü elde edilmiştir.

$${}^0\mathbf{T}_B = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & r_{0A} + l_{AB}\cos\theta_1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_{AB}\sin\theta_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad {}^0\mathbf{P}_B = \begin{bmatrix} r_{0A} + l_{AB}\cos\theta_1 \\ 0 \\ l_{AB}\sin\theta_1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

Denklem 2.27'de F'nin 0 koordinat sistemine dönüşüm matrisi verilmiştir.

$${}^0\mathbf{T}_F = {}^0\mathbf{T}_G {}^G\mathbf{T}_F \quad (2.27)$$

Denklem 2.28'de dönüşüm matrisleri yerlerine yazılmıştır.

$${}^0\mathbf{T}_F = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & -r_{G0} \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l_{FG}\cos\theta_2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_{FG}\sin\theta_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

Denklem 2.29'da matris işlemi sonucu ve konum vektörü elde edilmiştir.

$${}^0\mathbf{T}_F = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & -r_{G0}-l_{FG}\cos\theta_2 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_{FG}\sin\theta_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad {}^0\mathbf{P}_F = \begin{bmatrix} -r_{G0}-l_{FG}\cos\theta_2 \\ 0 \\ l_{FG}\sin\theta_2 \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

Denklem 2.30'da C'nin 0 koordinat sistemine matrisi verilmiştir.

$${}^0\mathbf{T}_C = {}^0\mathbf{T}_D {}^D\mathbf{T}_C \quad (2.30)$$

Denklem 2.31'de dönüşüm matrisleri yerlerine yazılmıştır.

$${}^0\mathbf{T}_C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & {}^0\mathbf{P}_{Dx} \\ 0 & 1 & 0 & {}^0\mathbf{P}_{Dy} \\ 0 & 0 & 1 & {}^0\mathbf{P}_{Dz} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & r_{DC} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

Denklem 2.32'de matris işlemi sonucu ve konum vektörü elde edilmiştir.

$${}^0\mathbf{T}_C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & {}^0\mathbf{P}_{Dx}+r_{DC} \\ 0 & 1 & 0 & {}^0\mathbf{P}_{Dy} \\ 0 & 0 & 1 & {}^0\mathbf{P}_{Dz} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad {}^0\mathbf{P}_C = \begin{bmatrix} {}^0\mathbf{P}_{Dx}+r_{DC} \\ {}^0\mathbf{P}_{Dy} \\ {}^0\mathbf{P}_{Dz} \end{bmatrix} \quad (2.32)$$

Denklem 2.33'de E'nin 0 koordinat sistemine matrisi verilmiştir.

$${}^0\mathbf{T}_E = {}^0\mathbf{T}_D {}^D\mathbf{T}_E \quad (2.33)$$

Denklem 2.34'de dönüşüm matrisleri yerlerine yazılmıştır.

$${}^0\mathbf{T}_E = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & {}^0\mathbf{P}_{Dx} \\ 0 & 1 & 0 & {}^0\mathbf{P}_{Dy} \\ 0 & 0 & 1 & {}^0\mathbf{P}_{Dz} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & -r_{ED} \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.34)$$

Denklem 2.35’de matris işlemi sonucu ve konum vektörü elde edilmiştir.

$${}^0\mathbf{T}_E = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & {}^0\mathbf{P}_{Dx} - r_{ED} \\ 0 & -1 & 0 & {}^0\mathbf{P}_{Dy} \\ 0 & 0 & 1 & {}^0\mathbf{P}_{Dz} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad {}^0\mathbf{P}_E = \begin{bmatrix} {}^0\mathbf{P}_{Dx} - r_{ED} \\ {}^0\mathbf{P}_{Dy} \\ {}^0\mathbf{P}_{Dz} \end{bmatrix} \quad (2.35)$$

Şekil 2.17’de, iki alt zincirin konum vektör eşitliklerinden yararlanarak denklem 2.36’deki eşitlikler elde edilir.

$$\begin{aligned} \vec{OC} = \vec{OB} + \vec{BC} &\rightarrow {}^0\mathbf{P}_C = {}^0\mathbf{P}_B + {}^B\mathbf{P}_C \rightarrow {}^B\mathbf{P}_C = {}^0\mathbf{P}_C - {}^0\mathbf{P}_B \\ \vec{OE} = \vec{OF} + \vec{FE} &\rightarrow {}^0\mathbf{P}_E = {}^0\mathbf{P}_F + {}^F\mathbf{P}_E \rightarrow {}^F\mathbf{P}_E = {}^0\mathbf{P}_E - {}^0\mathbf{P}_F \end{aligned} \quad (2.36)$$

Bilinen konum vektörleri yerlerine konularak denklem 2.37’deki eşitlikler elde edilir.

$$\begin{aligned} {}^B\mathbf{P}_C &= \begin{bmatrix} {}^0\mathbf{P}_{Dx} + r_{DC} \\ {}^0\mathbf{P}_{Dy} \\ {}^0\mathbf{P}_{Dz} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} r_{0A} + l_{AB}\cos\theta_1 \\ 0 \\ l_{AB}\sin\theta_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} {}^0\mathbf{P}_{Dx} + r_{DC} - r_{0A} - l_{AB}\cos\theta_1 \\ {}^0\mathbf{P}_{Dy} \\ {}^0\mathbf{P}_{Dz} - l_{AB}\sin\theta_1 \end{bmatrix} \\ {}^F\mathbf{P}_E &= \begin{bmatrix} {}^0\mathbf{P}_{Dx} - r_{ED} \\ {}^0\mathbf{P}_{Dy} \\ {}^0\mathbf{P}_{Dz} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -r_{G0} - l_{FG}\cos\theta_2 \\ 0 \\ l_{FG}\sin\theta_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} {}^0\mathbf{P}_{Dx} - r_{ED} + r_{G0} + l_{FG}\cos\theta_2 \\ {}^0\mathbf{P}_{Dy} \\ {}^0\mathbf{P}_{Dz} - l_{FG}\sin\theta_2 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2.37)$$

Denklem 2.38’de vektör normları verilmiştir.

$$\begin{aligned} \|{}^B\mathbf{P}_C\| &= l_{BC} \rightarrow \|{}^B\mathbf{P}_C\|^2 = l_{BC}^2 \\ \|{}^F\mathbf{P}_E\| &= l_{FE} \rightarrow \|{}^F\mathbf{P}_E\|^2 = l_{FE}^2 \end{aligned} \quad (2.38)$$

Denklem 2.38 kullanılarak elde edilen iki denklem, denklem 2.39’da gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} ({}^0\mathbf{P}_{Dx} + r_{DC} - r_{0A} - l_{AB}\cos\theta_1)^2 + ({}^0\mathbf{P}_{Dy})^2 + ({}^0\mathbf{P}_{Dz} - l_{AB}\sin\theta_1)^2 &= l_{BC}^2 \\ ({}^0\mathbf{P}_{Dx} - r_{ED} + r_{G0} + l_{FG}\cos\theta_2)^2 + ({}^0\mathbf{P}_{Dy})^2 + ({}^0\mathbf{P}_{Dz} - l_{FG}\sin\theta_2)^2 &= l_{FE}^2 \end{aligned} \quad (2.39)$$

Denklem 2.40’da eşitlikler ve tanımlamalar bulunmaktadır.

$$\begin{aligned} r_{0A} = r_{G0} = r_1, \quad r_{DC} = r_{ED} = r_2, \quad l_{AB} = l_{FG} = l_m, \quad l_{BC} = l_{FE} = l_n \\ {}^0\mathbf{P}_{Dy} = 0, \quad {}^0\mathbf{P}_{Dx} = X, \quad {}^0\mathbf{P}_{Dz} = Z \end{aligned} \quad (2.40)$$

Denklem 2.40'daki eşitlikler, denklem 2.39'da yerlerine konulduğunda denklem 2.41'deki kinematik denklemler elde edilir.

$$\begin{aligned} (X+(r_2-r_1) - l_m \cos\theta_1)^2 + (Z-l_m \sin\theta_1)^2 &= l_n^2 \\ (X- (r_2-r_1) + l_m \cos\theta_2)^2 + (Z-l_m \sin\theta_2)^2 &= l_n^2 \end{aligned} \quad (2.41)$$

2.5 Ters Kinematik Çözüm

Denklem 2.41'de sinüs terimleri yalnız bırakılmak suretiyle denklem 2.42 ve denklem 2.43 elde edilir:

$$\sin\theta_1 = \frac{(X+(r_2-r_1))^2 + l_m^2 + Z^2 - l_n^2}{2 Z l_m} - \left(\frac{X+(r_2-r_1)}{Z}\right) \cos\theta_1 \quad (2.42)$$

$$\sin\theta_2 = \frac{(X-(r_2-r_1))^2 + l_m^2 + Z^2 - l_n^2}{2 Z l_m} + \left(\frac{X-(r_2-r_1)}{Z}\right) \cos\theta_2 \quad (2.43)$$

Bu denklemleri sadeleştirmek için denklem 2.44'deki tanımlamalar yapılır.

$$\begin{aligned} e_1 &= \frac{(X+(r_2-r_1))^2 + l_m^2 + Z^2 - l_n^2}{2 Z l_m} \\ f_1 &= -\frac{X+(r_2-r_1)}{Z} \\ e_2 &= \frac{(X-(r_2-r_1))^2 + l_m^2 + Z^2 - l_n^2}{2 Z l_m} \\ f_2 &= \frac{X-(r_2-r_1)}{Z} \end{aligned} \quad (2.44)$$

Ayrıca denklem 2.45'deki trigonometrik eşitlik verilmiştir.

$$\cos^2 x + \sin^2 x = 1 \quad (2.45)$$

Denklem 2.44'deki tanımlamalar, denklem 2.42 ve denklem 2.43'deki eşitliklerdeki yerlerine konur ve bu terimler de denklem 2.45'e yerleştirilirse, denklem 2.46 elde edilir.

$$\begin{aligned} \cos^2\theta_1 + (e_1 + f_1 \cos\theta_1)^2 &= 1 \\ \cos^2\theta_2 + (e_2 + f_2 \cos\theta_2)^2 &= 1 \end{aligned} \quad (2.46)$$

Denklem 2.46'nın açılımı denklem 2.47'de gösterilmiştir.

$$\begin{aligned}(1+f_1)\cos^2\theta_1+2e_1f_1\cos\theta_1+e_1-1 &= 0 \\ (1+f_2)\cos^2\theta_2+2e_2f_2\cos\theta_2+e_2-1 &= 0\end{aligned}\tag{2.47}$$

Denklem 2.48'de yeni tanımlamalar yapılır.

$$\begin{aligned}a_1 &= 1+f_1 \\ b_1 &= 2e_1f_1 \\ c_1 &= e_1-1 \\ a_2 &= 1+f_2 \\ b_2 &= 2e_2f_2 \\ c_2 &= e_2-1\end{aligned}\tag{2.48}$$

Bu tanımlamalar, denklem 2.47'de yerlerine konularak denklem 2.49 elde edilir.

$$\begin{aligned}a_1\cos^2\theta_1+b_1\cos\theta_1+c_1 &= 0 \\ a_2\cos^2\theta_2+b_2\cos\theta_2+c_2 &= 0\end{aligned}\tag{2.49}$$

2.49'daki denklemlerin kökleri bulunarak denklem 2.50'de verilmiştir.

$$\begin{aligned}\theta_1 &= \arccos\left(\frac{-b_1 \pm \sqrt{b_1^2 - 4a_1c_1}}{2a_1}\right) \\ \theta_2 &= \arccos\left(\frac{-b_2 \pm \sqrt{b_2^2 - 4a_2c_2}}{2a_2}\right)\end{aligned}\tag{2.50}$$

Platform merkezinin x ve z eksenlerinde konumunun verilmesi ile θ_1 ve θ_2 açıları hesaplanabilmektedir.

θ_1 ve θ_2 açılarının işaretlerinin bulunabilmesi için denklem 2.41 kullanılarak yeni ikinci derece denklemler elde edilmiştir. Denklem 2.42 ve denklem 2.43'deki kinematik denklemlerde kosinüs terimleri yalnız bırakılmak suretiyle denklem 2.51 ve denklem 2.52 elde edilmiştir.

$$\cos\theta_1 = \frac{(X+(r_2-r_1))^2 + l_m^2 + Z^2 - l_n^2}{2 l_m (X+(r_2-r_1))} - \left(\frac{Z}{X+(r_2-r_1)}\right) \sin\theta_1\tag{2.51}$$

$$\cos\theta_2 = -\frac{(X-(r_2-r_1))^2+l_m^2+Z^2-l_n^2}{2 l_m (X-(r_2-r_1))} + \left(\frac{Z}{X-(r_2-r_1)}\right)\sin\theta_2 \quad (2.52)$$

Denklem 2.51 ve denklem 2.52'yi sadeleştirmek için denklem 2.53'deki tanımlamalar yapılır.

$$\begin{aligned} se_1 &= \frac{(X+(r_2-r_1))^2+l_m^2+Z^2-l_n^2}{2 l_m (X+(r_2-r_1))} \\ sf_1 &= -\left(\frac{Z}{X+(r_2-r_1)}\right) \\ se_2 &= -\frac{(X-(r_2-r_1))^2+l_m^2+Z^2-l_n^2}{2 l_m (X-(r_2-r_1))} \\ sf_2 &= \left(\frac{Z}{X-(r_2-r_1)}\right) \end{aligned} \quad (2.53)$$

Ayrıca denklem 2.54'deki trigonometrik eşitlik verilmiştir.

$$\cos^2x + \sin^2x = 1 \quad (2.54)$$

Denklem 2.53'deki tanımlamaları, denklem 2.54'deki trigonometrik eşitlikte yerlerine koyarak denklem 2.55 elde edilir.

$$\begin{aligned} \sin^2\theta_1 + (se_1 + sf_1 \sin\theta_1)^2 &= 1 \\ \sin^2\theta_2 + (se_2 + sf_2 \sin\theta_2)^2 &= 1 \end{aligned} \quad (2.55)$$

Denklem 2.55'de elde edilen denklemlerin açılımı denklem 2.56'da verilmiştir.

$$\begin{aligned} (1+sf_1) \sin^2\theta_1 + 2 se_1 sf_1 \sin\theta_1 + se_1 - 1 &= 0 \\ (1+sf_2) \sin^2\theta_2 + 2 se_2 sf_2 \sin\theta_2 + se_2 - 1 &= 0 \end{aligned} \quad (2.56)$$

Denklem 2.57'de yeni tanımlamalar yapılmıştır.

$$\begin{aligned} a_3 &= 1 + sf_1 \\ b_3 &= 2 se_1 sf_1 \\ c_3 &= se_1 - 1 \\ a_4 &= 1 + sf_2 \\ b_4 &= 2 se_2 sf_2 \\ c_4 &= se_2 - 1 \end{aligned} \quad (2.57)$$

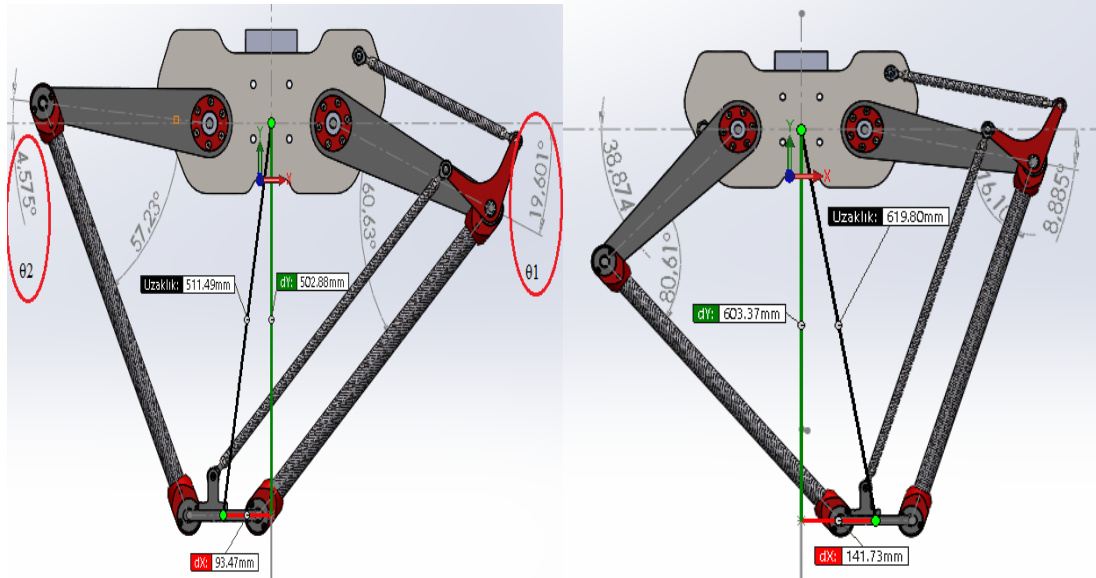
Denklem 2.57'deki tanımlamalar, denklem 2.56'daki denklemlerde yerlerine konularak denklem 2.58 elde edilir.

$$\begin{aligned} a_3 \sin^2 \theta_1 + b_3 \sin \theta_1 + c_3 &= 0 \\ a_4 \sin^2 \theta_2 + b_4 \sin \theta_2 + c_4 &= 0 \end{aligned} \quad (2.58)$$

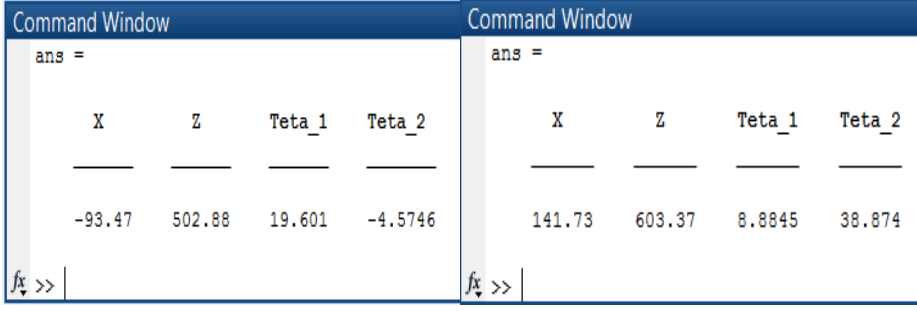
Denklem 2.58'deki denklemlerin kökleri denklem 2.59'da verilmiştir.

$$\begin{aligned} \theta_1 &= \arcsin\left(\frac{-b_3 \pm \sqrt{b_3^2 - 4a_3c_3}}{2a_3}\right) \\ \theta_2 &= \arcsin\left(\frac{-b_4 \pm \sqrt{b_4^2 - 4a_4c_4}}{2a_4}\right) \end{aligned} \quad (2.59)$$

Yukarıda verilen tüm matematik işlemleri aynı zamanda kod halinde Matlab programında da yazılmıştır. Ek B'de kodları verilen bu Matlab programı kullanılarak, elde edilen denklemlerin doğruluğu test edilmiştir. Tahmini çalışma alanında, hareketli platform merkezinin konumunu belirten X ve Z değerleri verilerek θ_1 ve θ_2 değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan açıların doğruluğu da, Solidworks programında hareket analizi yapılarak ispatlanmıştır (Şekil 2.18, Şekil 2.19 ve Çizelge 2.1).



Şekil 2.18 Solidworks hareket analizi ile açıların incelenmesi.

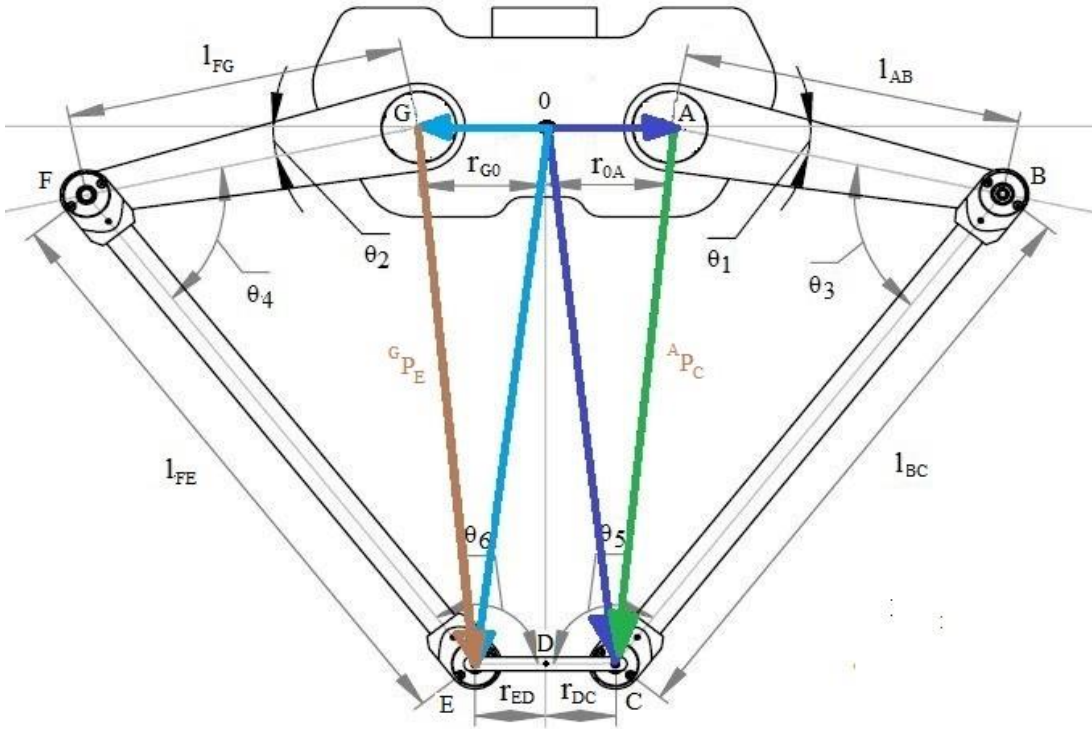


Şekil 2.19 Matlab ile denklemlerin kontrolü.

Çizelge 2.1 Matlab ve Solidworks ile hesaplanan açıların karşılaştırılması.

		SOLIDWORKS		MATLAB	
X(mm)	Z(mm)	θ_1	θ_2	θ_1	θ_2
163.98	768.85	35.522°	63.422°	35.521°	63.421°
266.28	581.31	-1.449°	54.262°	-1.4487°	54.262°
0	445.46	-3.713°	-3.713°	-3.7136°	-3.7136°
0	872.30	67.200°	67.200°	67.2°	67.2°
-386.62	714.63	87.123°	20.792°	87.124°	20.793°

Çalışma bölgesini tam olarak belirlemek için gerekli olan şekil 2.20'deki θ_3 , θ_4 , θ_5 ve θ_6 açılarının hesaplanması için vektör ve geometri işlemlerinden faydalanılmıştır.



Şekil 2.20 θ_3 ve θ_4 açıları için A_{P_C} ve G_{P_E} konum vektörlerinin gösterimi.

${}^A\mathbf{P}_C$ ve ${}^G\mathbf{P}_E$ vektör eşitlikleri denklem 2.60'da verilmiştir.

$${}^A\mathbf{P}_C = {}^0\mathbf{P}_C - {}^0\mathbf{P}_A \quad (2.60)$$

$${}^G\mathbf{P}_E = {}^0\mathbf{P}_E - {}^0\mathbf{P}_G$$

Denklem 2.4, 2.7, 2.32 ve 2.35'deki konum vektörleri denklem 2.60'da yerlerine konularak denklem 2.61 ve denklem 2.62 elde edilir.

$${}^A\mathbf{P}_C = \begin{bmatrix} X+r_{DC} \\ 0 \\ Z \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} r_{0A} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X+r_{DC}-r_{0A} \\ 0 \\ Z \end{bmatrix} \quad (2.61)$$

$${}^G\mathbf{P}_E = \begin{bmatrix} X-r_{ED} \\ 0 \\ Z \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -r_{G0} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X-r_{ED}+r_{G0} \\ 0 \\ Z \end{bmatrix} \quad (2.62)$$

Şekil 2.20'deki vektörler, kosinüs teoremi kullanılarak denklem 2.63 ve 2.64'de hesaplanmıştır.

$$\overrightarrow{AC} = \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BC} \quad \rightarrow \quad |{}^A\mathbf{P}_C|^2 = (l_{AB})^2 + (l_{BC})^2 - 2 l_{AB} l_{BC} \cos\theta_3 \quad (2.63)$$

$$\overrightarrow{GE} = \overrightarrow{GF} + \overrightarrow{FE} \quad \rightarrow \quad |{}^G\mathbf{P}_E|^2 = (l_{FG})^2 + (l_{FE})^2 - 2 l_{FG} l_{FE} \cos\theta_4 \quad (2.64)$$

Denklem 2.61'deki vektör 2.63'de yerine konular ve gerekli işlemler yapılırsa 2.65'deki denklem elde edilir.

$$(X+r_{DC}-r_{0A})^2 + Z^2 = (l_{AB})^2 + (l_{BC})^2 - 2 l_{AB} l_{BC} \cos\theta_3 \quad (2.65)$$

Denklem 2.62'deki vektör 2.64'de yerine konular ve gerekli işlemler yapılırsa 2.66'deki denklem elde edilir.

$$(X+r_{G0}-r_{ED})^2 + Z^2 = (l_{FG})^2 + (l_{FE})^2 - 2 l_{FG} l_{FE} \cos\theta_4 \quad (2.66)$$

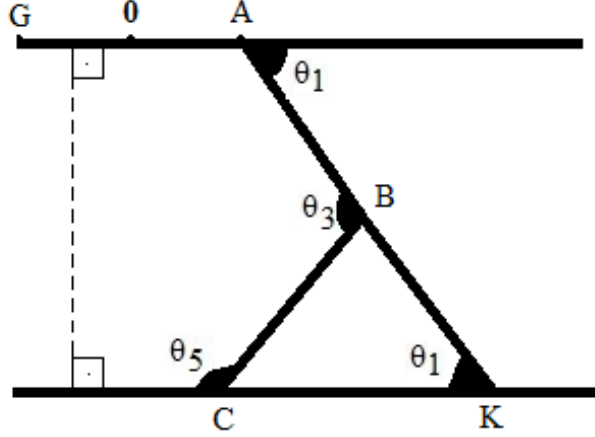
Denklem 2.40'daki tanımlar kullanılarak, 2.65 denkleminden 2.67 denklemi elde edilir.

$$\theta_3 = \arccos\left(\frac{(l_m)^2 + (l_n)^2 - Z^2 - (X - (r_1 - r_2))^2}{2 l_n l_m}\right) \quad (2.67)$$

Denklem 2.40'daki tanımlar kullanılarak, 2.66 denkleminden 2.68 denklemi elde edilir.

$$\theta_4 = \arccos\left(\frac{(l_m)^2 + (l_n)^2 - Z^2 - (X + (r_1 - r_2))^2}{2 l_n l_m}\right) \quad (2.68)$$

θ_5 açısı Şekil 2.21 kullanılarak hesaplanmış ve denklem 2.69'da verilmiştir.



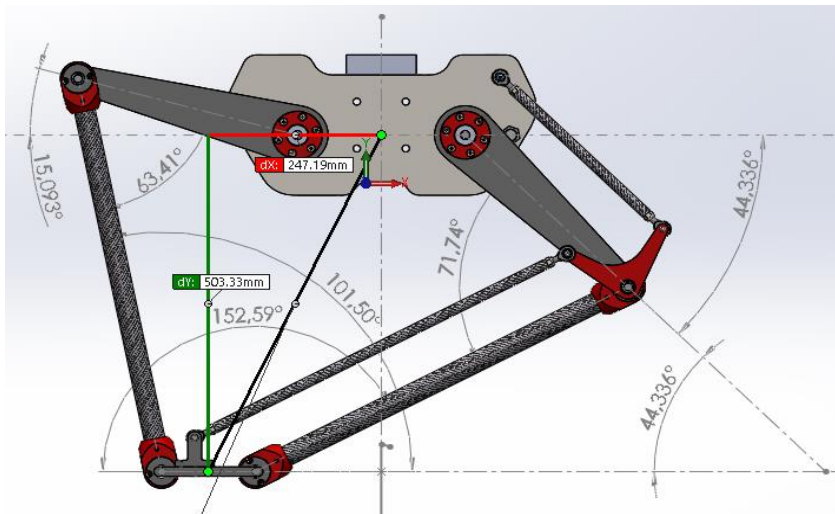
Şekil 2.21 θ_5 açısının elde edilmesi.

$$\theta_5 = 180 - \theta_3 + \theta_1 \quad (2.69)$$

Şekil 2.11'de görülen θ_6 açısının değeri ise denklem 2.70'de verilmiştir.

$$\theta_6 = 180 - \theta_4 + \theta_2 \quad (2.70)$$

Ek B'de kodları verilen bu Matlab programı kullanılarak, manuel olarak elde edilen denklemlerin doğruluğu test edilmiştir. θ_3 , θ_4 , θ_5 ve θ_6 açılarının hesaplanan değerleri de, Solidworks programı kullanılarak doğrulanmıştır. (Şekil 2.22 ve Şekil 2.23).



Şekil 2.22 $\theta_3, \theta_4, \theta_5$ ve θ_6 açılarının Solidworks programında gösterimi.

```

1 %Prototip 2D'nin Kinematik Denklem Kullanılarak Ters Kinematik Çözüm
2 % Ünsal Dincer
3 %
4 %
5 clc
6 clear all
7 close all
8 format short
9
10 AreaTeta_2=0;
11 AreaTeta_1=0;
12 X=input('X eksenı değeri=')
13 Z=input('Z eksenı değeri=')
14
15 La=325;
16 Lac=600;
17 ra=120;
18 rb=67; % r=ra-rb= 53
19 r=53;
20
21 %Teta1 için 2. derece Sin(x) 1. kinematik denklemden ( İzaret )

```

Command Window

```

ans =

```

X	Z	Teta_1	Teta_2	Teta_3	Teta_4	Teta_5	Teta_6
-247.19	503.33	44.336	-15.094	71.744	63.409	152.59	101.5

fx >>

Şekil 2.23 θ_3 , θ_4 , θ_5 ve θ_6 açı değerlerinin Matlab sonuçları.

2.6 İleri Kinematik Çözüm

Seçilecek çalışma uzayında yörünge planlaması yapılırken ters kinematik denklem çözümlerinden faydalanılmıştır. Yörünge planlaması çalışmalarında hareketli platformun merkezini temel alarak takip yolunun hesaplanması ve çizdirilmesi için ileri kinematik denklemlerin çözümlerine ihtiyaç vardır. İleri kinematik denklem çözümleri, ters kinematik denklem çözümleri sonucu elde edilen θ_1 ve θ_2 açılarının yörünge planlamasında kontrol edilmesini de sağlayacaktır.

2.71'deki nihai mekanizma değerleri denklem 2.41'de yerlerine konularak 2.72'deki denklemler elde edilir.

$$r_1 = 120\text{mm}, r_2 = 67\text{mm}, l_m = 325\text{mm}, l_n = 600\text{mm} \quad (2.71)$$

$$(X+53-325\cos\theta_1)^2 + (Z-325\sin\theta_1)^2 = (600)^2 \quad (2.72)$$

$$(X-53+325\cos\theta_2)^2 + (Z-325\sin\theta_2)^2 = (600)^2$$

2.73'de ise yeni tanımlamalar yapılmıştır.

$$\begin{aligned}
a_1 &= -325 \cos \theta_1 \\
a_2 &= 325 \cos \theta_2 \\
b_1 &= -325 \sin \theta_1 \\
b_2 &= -325 \sin \theta_2 \\
c_1 &= c_2 = 600
\end{aligned} \tag{2.73}$$

2.73'deki tanımlamalar 2.72'de yerlerine konularak denklemler açılırsa 2.74 ve 2.75'deki denklemler elde edilir.

$$X^2 + Z^2 + (2a_1 - 106)X + 2b_1Z = c_1^2 - 53^2 + 106a_1 - a_1^2 - b_1^2 \tag{2.74}$$

$$X^2 + Z^2 + (2a_2 + 106)X + 2b_2Z = c_2^2 - 53^2 - 106a_2 - a_2^2 - b_2^2 \tag{2.75}$$

2.76'da yeni tanımlamalar yapılmıştır.

$$\begin{aligned}
d_1 &= c_1^2 - 53^2 + 106a_1 - a_1^2 - b_1^2 \\
d_2 &= c_2^2 - 53^2 - 106a_2 - a_2^2 - b_2^2
\end{aligned} \tag{2.76}$$

2.74'deki denklemin her iki tarafı -1 ile çarpılarak 2.75'deki denklemle toplanırsa denklem 2.77 elde edilir.

$$(a_1 - a_2 - 106)X + (b_1 - b_2)Z = \frac{d_1 - d_2}{2} \tag{2.77}$$

2.78'de yeni tanımlamalar yapılmıştır.

$$\begin{aligned}
t_1 &= a_1 - a_2 - 106 \\
t_2 &= b_1 - b_2 \\
t_3 &= \frac{d_1 - d_2}{2}
\end{aligned} \tag{2.78}$$

2.78'deki tanımlamalar denklem 2.77'de yerlerine konularak 2.79'daki eşitlik bulunur.

$$X = \frac{t_3}{t_1} - \frac{t_2}{t_1}Z \tag{2.79}$$

2.80'de yeni tanımlamalar yapılmıştır.

$$\begin{aligned}
 p_{11} &= 1 + t_2^2/t_1^2 \\
 p_{12} &= -2(t_3/t_1)(t_2/t_1) - 2a_1(t_2/t_1) + 106(t_2/t_1) + 2b_1 \\
 p_{13} &= (t_3/t_1)^2 + 2a_1(t_3/t_1) - 106(t_3/t_1) - d_1 \\
 p_{21} &= 1 + t_2^2/t_1^2 \\
 p_{22} &= -2(t_3/t_1)(t_2/t_1) - 2a_2(t_2/t_1) - 106(t_2/t_1) + 2b_2 \\
 p_{23} &= (t_3/t_1)^2 + 2a_2(t_3/t_1) + 106(t_3/t_1) - d_2
 \end{aligned} \tag{2.80}$$

2.74, 2.75, 2.79 denklemleri ve 2.80'deki yeni tanımlamalar kullanılarak 2.81 ve 2.82 denklemleri elde edilir.

$$p_{11} Z^2 + p_{12} Z + p_{13} = 0 \tag{2.81}$$

$$p_{21} Z^2 + p_{22} Z + p_{23} = 0 \tag{2.82}$$

Denklem 2.81 ve denklem 2.82'nin kökleri bulunarak 2.83'de verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 Z_{1,2} &= \left(\frac{-p_{12} \pm \sqrt{p_{12}^2 - 4p_{11}p_{13}}}{2p_{11}} \right) \\
 Z_{3,4} &= \left(\frac{-p_{22} \pm \sqrt{p_{22}^2 - 4p_{21}p_{23}}}{2p_{21}} \right)
 \end{aligned} \tag{2.83}$$

2.83'de elde edilen kökler 2.79'da yerlerine konularak X'in kökleri elde edilir. θ_1 ve θ_2 değerleri verildiğinde X ve Z'in köklerini bulan bir Matlab kodu yazılmıştır (EK C). Çizelge 2.1'deki θ_1 ve θ_2 açı değerleri için X ve Z kökleri bu kod kullanılarak hesaplanmıştır (Şekil 2.24).

```

Command Window
>> ileri_Kinematik_kok_analiz_R1
cTeta_1=35.522
cTeta_2=63.422

ans =

    Zkok1    Zkok2    Xkok1    Xkok2
    -----    -----    -----    -----
   -289.37    768.85   -44.876    163.98

ans =

    Zkok21    Zkok22    Xkok21    Xkok22
    -----    -----    -----    -----
   -289.37    768.85   -44.876    163.98

```

Şekil 2.24 Matlab ileri kinematik kök analizi örneği.

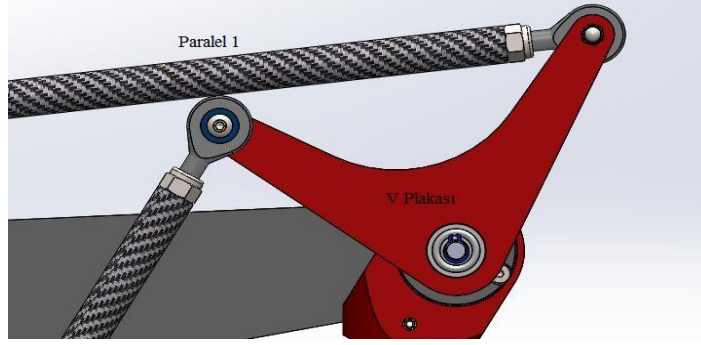
Çizelge 2.1’deki θ_1 ve θ_2 değerlerine karşılık gelen X ve Z değerleri EK C’deki kod kullanılarak hesaplanmış (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2 Matlab ile ileri kinematik denklemlerin doğrulanması.

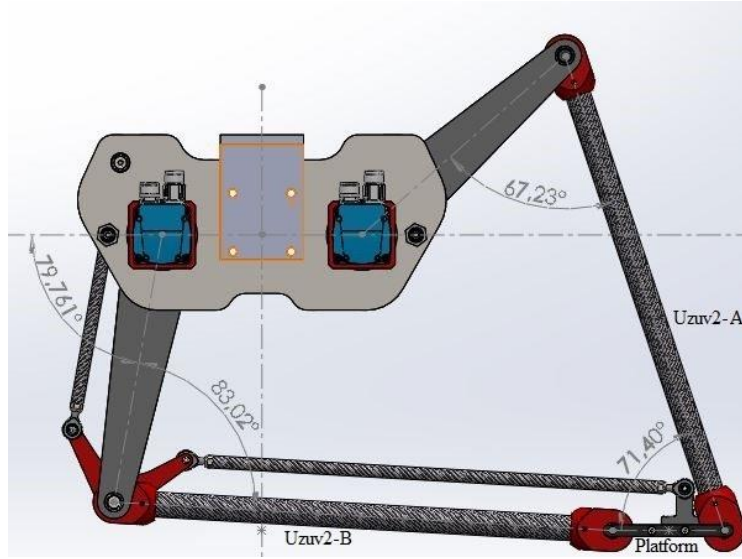
MATLAB			
θ_1	θ_2	Z(mm)	X(mm)
35.522°	63.422°	768.85	163.98
-1.449°	54.262°	581.31	266.28
-3.713°	-3.713°	445.46	0
67.200°	67.200°	872.3	0
87.123°	20.792°	714.63	-386.62

2.7 Çalışma Uzayının Bulunması

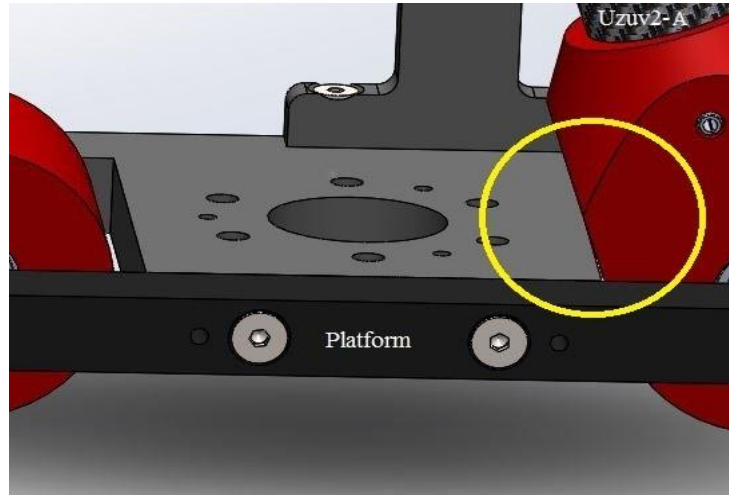
Bu çalışmada mekanizmanın tüm mafsalları +Z bölgesinde olacak şekilde bir yerleştirme yapılmıştır. Şekil 2.7’deki V plakası ve Paralel 1 uzvu, θ_1 açısını -6.025° ile sınırlandırmaktadır. Bu çalışma θ_1 ve θ_2 açılarının pozitif olduğu bölgelerde yapılmıştır. Şekil 2.25’de Solidworks hareket analizi ile Paralel 1 uzvunun, V plakasına teması gösterilmiştir. Platform ile Uzuv2-A, Platform ile Uzuv2-B, Uzuv1-A ile Uzuv2-A ve Uzuv1-B ile Uzuv2-B arasındaki sırasıyla $\theta_3, \theta_4, \theta_5$ ve θ_6 açılarında fiziksel sınırlamalar vardır. Şekil 2.26 ve şekil 2.27’de platform ile Uzuv2-A arası açı ve mekanik teması gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi burada fiziksel bir kısıtlama meydana gelmektedir.



Şekil 2.25 V Plakası ve Paralel 1 uzuv temasının gösterimi.

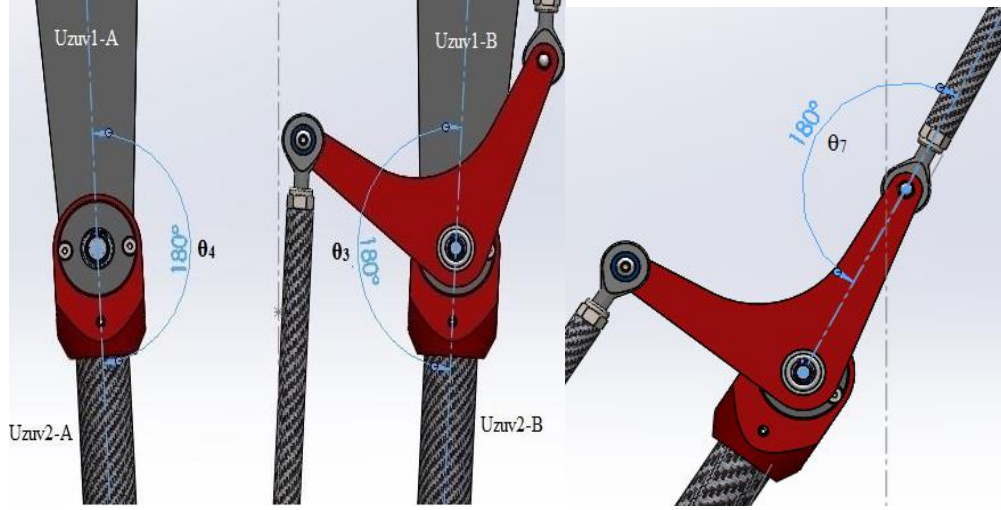


Şekil 2.26 Platform ve Uzun2-A uzuv temasının gösterimi.



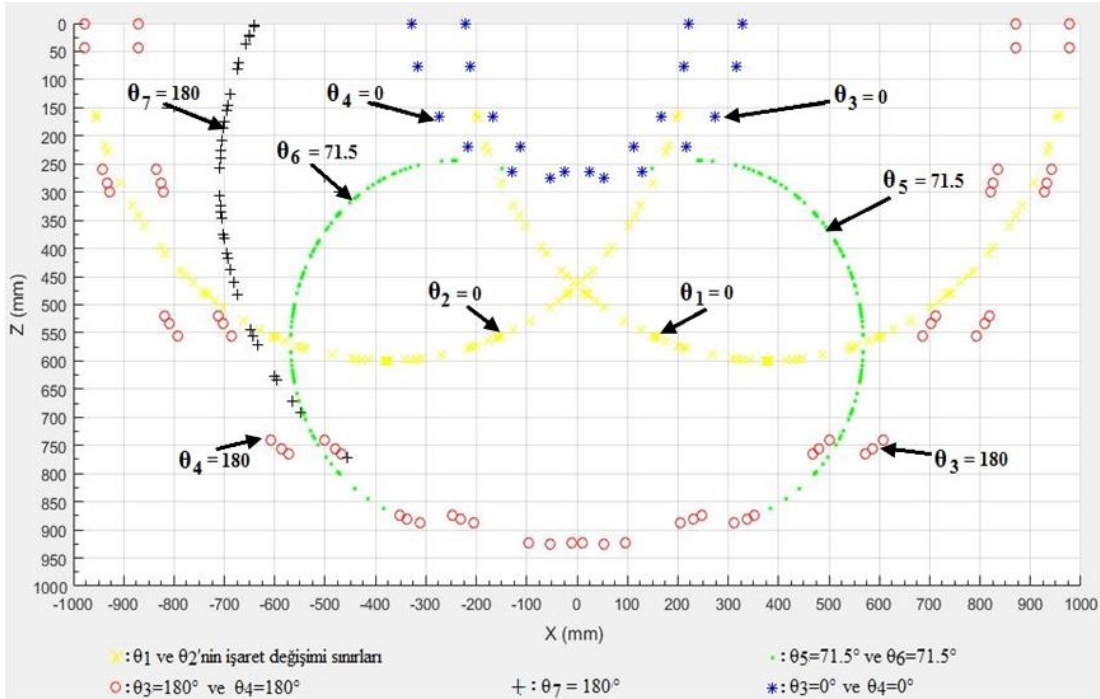
Şekil 2.27 Platform ve Uzun2-A uzuv temasının yakın gösterimi.

Şekil 2.28'de, +Z bölgesinde θ_3 , θ_4 ve θ_7 açılarının 180° olduğu durumlar gösterilmiştir. θ_7 açısı, V plakası ile Paralel 1 uzuv çiftini birleştiren mafsalin açısıdır.



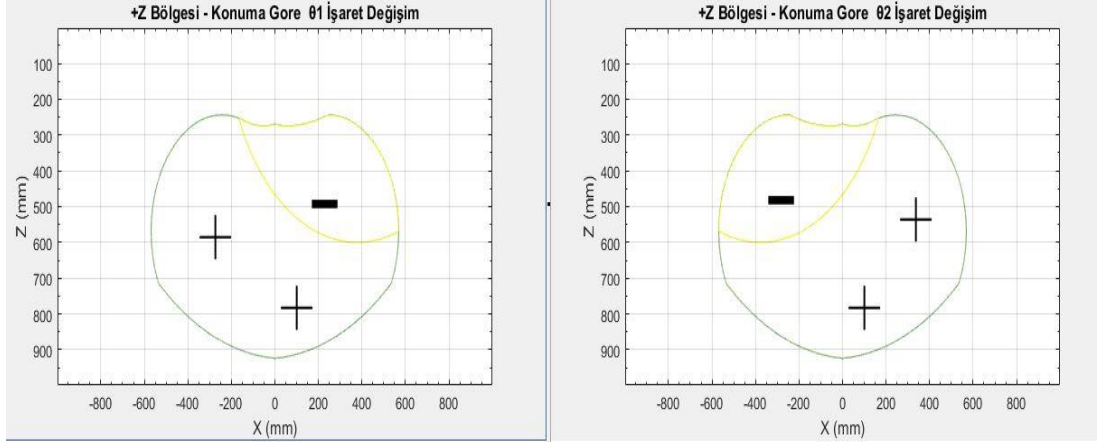
Şekil 2.28 θ_3 , θ_4 ve θ_7 açılarının 180° 'yi aşması.

Şekil 2.29'da, EK D'de verilen Matlab programı ile elde edilen hareketli platform merkezi temelli mekanik sınır noktaları grafik üzerinde çizdirilmiştir. Sarı (x) işaretli noktalar, θ_1 ve θ_2 'nin sinüs denklemlerinden elde edilen işaret değişimini, kırmızı (o) işaretli noktalar θ_3 ve θ_4 'ün 180° , yeşil (.) işaretli noktalar θ_5 ve θ_6 'nın 71.5° , siyah (+) işaretli noktalar θ_7 'nin 180° ve mavi (*) işaretli işaretler ise θ_3 ve θ_4 'ün 0° olduğu noktaları ifade etmektedir.



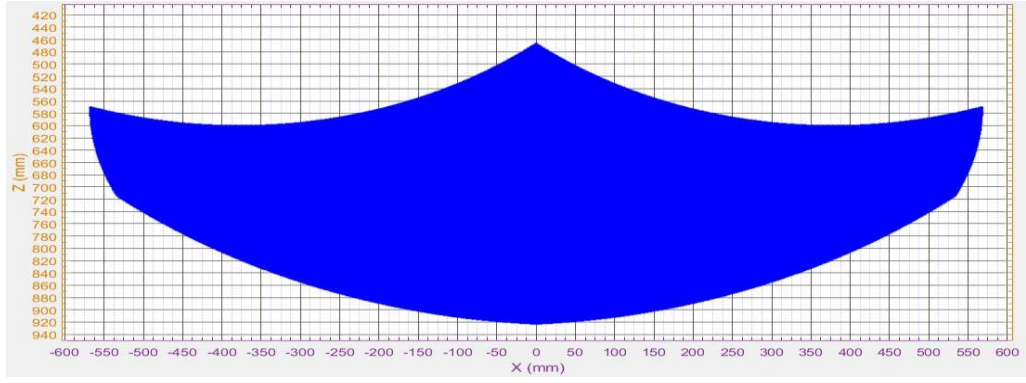
Şekil 2.29 Matlab programıyla mekanik sınırların çizdirilmesi.

θ_3 , θ_4 , θ_5 ve θ_6 sınırlamaları dikkate alınarak denklem 2.50 ve 2.59'dan elde edilen θ_1 ve θ_2 'nin işaret analiz sonucu şekil 2.30'da verilmiştir.



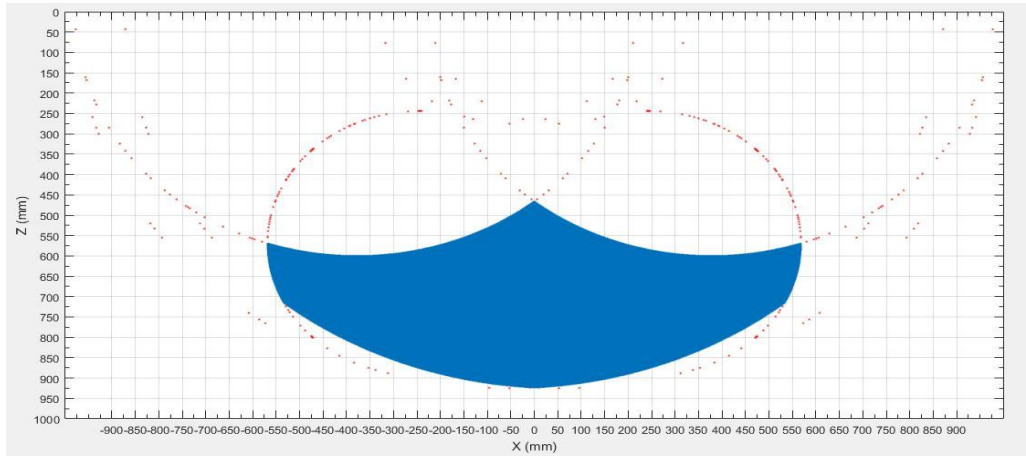
Şekil 2.30 θ_1 ve θ_2 açılarının işaret analizi.

Tüm bu sınır koşulları dikkate alınarak ve EK E’de verilen Matlab kodları kullanılarak +Z bölgesinde şekil 2.31’deki maksimum çalışma alanı çizdirilmiştir.



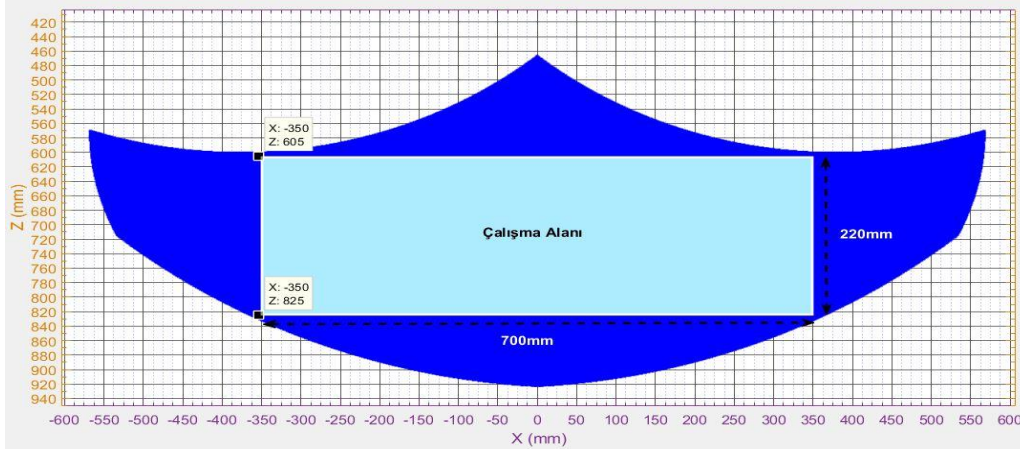
Şekil 2.31 +Z bölgesinde maksimum çalışma alanı.

Şekil 2.32’de maksimum çalışma alanı ve fiziksel sınırlamalar tek grafikte gösterilmiştir.



Şekil 2.32 Maksimum çalışma alanı ve fiziksel sınırlamalar.

Dalan Kimya sabun fabrikasında seçimi yapılan ürünler bazında çalışma uzayının ölçüleri çıkarılmıştır. Mekanizmanın, Z’de 190mm ve X’de 550mm çalışma alanında hareket etmesi yeterli olacaktır. Çalışma alanı, Z’de 220mm ve X’de ± 350 mm olacak şekilde seçilmiş ve şekil 2.33’de gösterilmiştir.



Şekil 2.33 Seçilen çalışma alanı.

Seçilen çalışma alanı içerisinde, hareketli platform merkezinin konumu değiştirilerek açılar incelenmiş ve çizelge 2.3’de verilmiştir.

Çizelge 2.3 Seçilen çalışma alanında açı analizi.

	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6
Maksimum	106.55°	106.55°	165.4°	165.4°	149.85°	149.85°
Minimum	0.9964°	0.9964°	75.204°	75.204°	83.682°	83.682°

2.8 Yörünge Planlama

2.8.1 Kübik polinomlar ile yörünge planlama

Craig’e [19] göre, yörünge her bir serbestlik derecesi için konum, hız ve ivmenin bir zaman geçişini ifade eder. Öte yandan robot hareketi sırasında, robot denetleyicisine, takip etmek için sürekli hedef konum ve hız akışı sağlanır [20]. Robot pozisyonunun zamanın bir fonksiyonu olarak tanımlanmasına yörünge denir. Mekanizmanın hareketli platform merkezinin zamana bağlı değişen konumu, mekanik sınırlar ile belirlenen çalışma uzayında yer almalıdır. Aynı zamanda, fiziksel sınırlar içinde hızın ve ivmenin maksimum ulaşabileceği değerler vardır. Ters kinematik ile hesaplanan tahrik mafsallarının açı değerleri, belirlenen süre içinde başlangıç ve hedef konumları arası hareketin yörüngesini oluşturur.

Yörünge planlaması için üçüncü dereceden polinom kullanılarak tahrik mafsallarının pozisyonları, hızları, ivmelenmesi ve hareketli platformun konumunun zamana göre değişimi incelenmiştir. Kullanılan üçüncü dereceden polinom denklemi 2.83'de verilmiştir.

$$\theta(t) = a + b t + c t^2 + d t^3 \quad (2.83)$$

Hız ve ivme hesaplaması denklem 2.84 ve 2.85'de verilmiştir.

$$\dot{\theta}(t) = b + 2c t + 3d t^2 \quad (2.84)$$

$$\ddot{\theta}(t) = 2c + 6d t \quad (2.85)$$

2.86'da başlangıç pozisyonu $\theta(0)$, 2.87'de hedef pozisyonu $\theta(t_f)$, 2.88'de başlangıç hızı, 2.89'da hedef hızı verilmiştir.

$$\theta(0) = a \quad (2.86)$$

$$\theta(t_f) = a + b t_f + c t_f^2 + d t_f^3 \quad (2.87)$$

$$\dot{\theta}(0) = 0 = b \quad (2.88)$$

$$\dot{\theta}(t_f) = 0 = b + 2c t_f + 3d t_f^2 \quad (2.89)$$

Eşitliklerin çözümü sonrası elde edilen sonuçlar denklem 2.90'da verilmiştir.

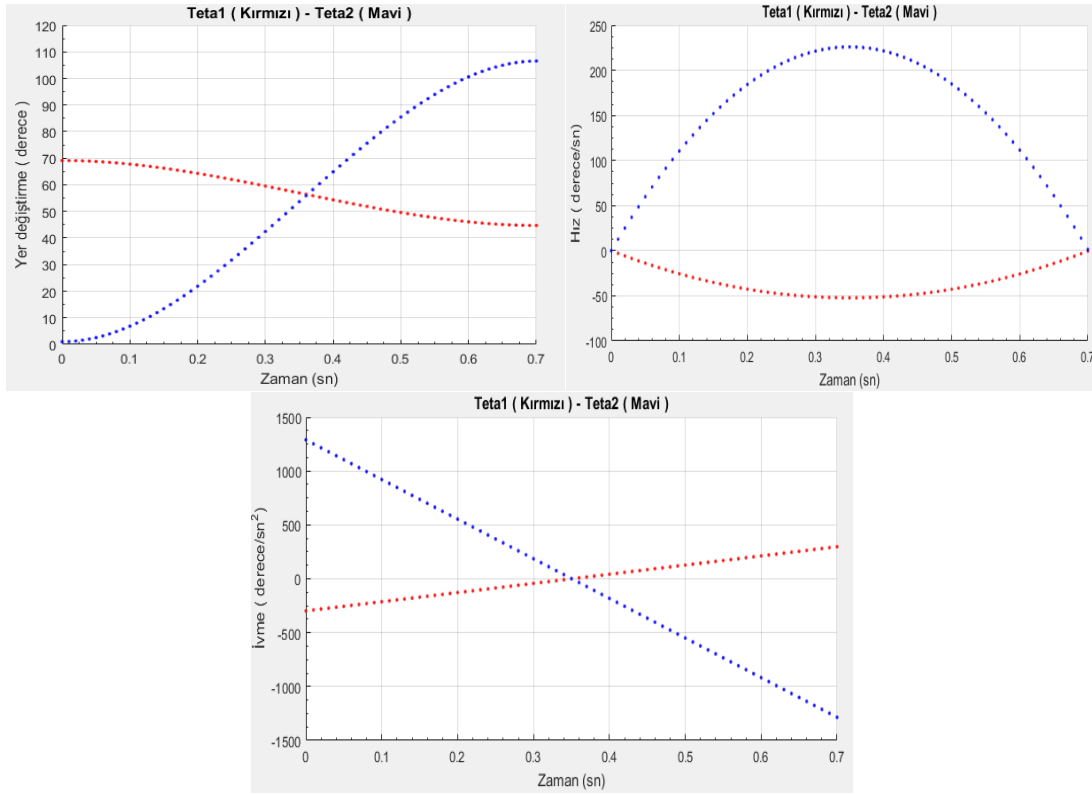
$$a = \theta(0)$$

$$b = 0$$

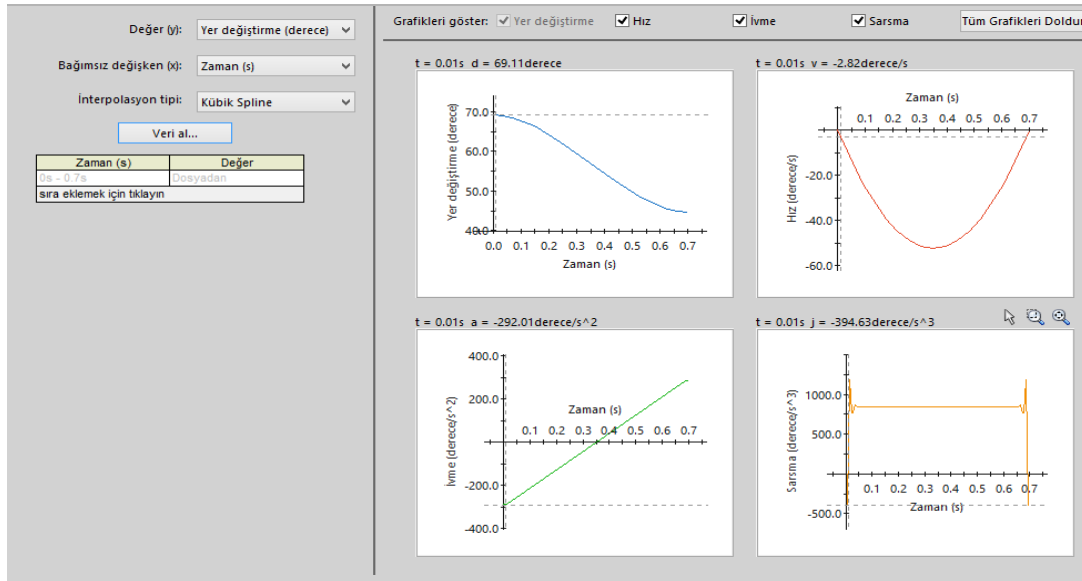
$$c = 3/t_f^2 (\theta(t_f) - \theta(0)) \quad (2.90)$$

$$d = -2/t_f^3 (\theta(t_f) - \theta(0))$$

Şekil 2.34'de kübik polinom kullanılarak θ_1 ve θ_2 'nin yer değiştirme, hız ve ivme grafikleri verilmiştir. θ_1 ve θ_2 'nin üçüncü dereceden polinomun zamana bağlı yer değiştirme, hız ve ivme değişimi değerleri Solidworks hareket analizinde kullanılarak şekil 2.35'de gösterilmiştir.

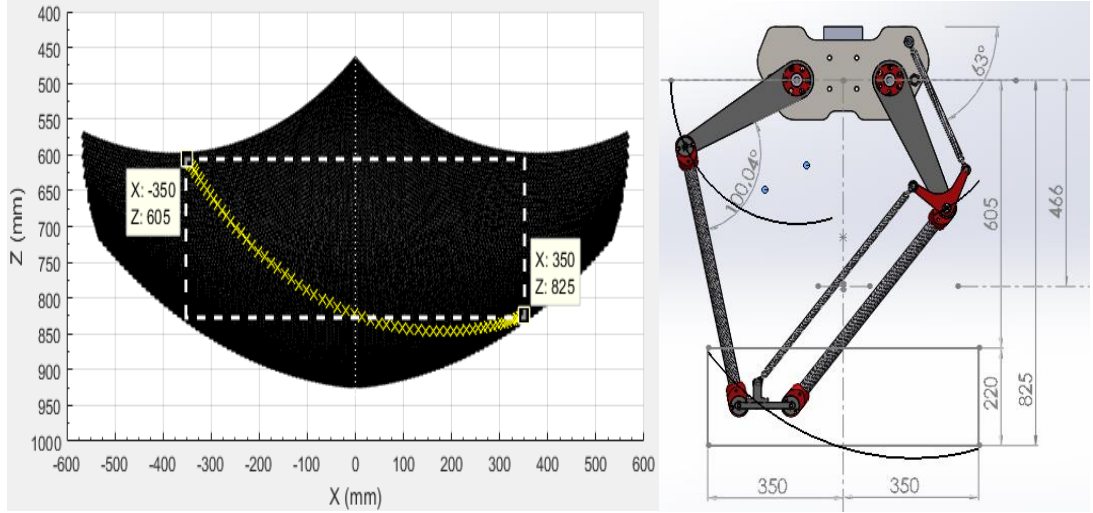


Şekil 2.34 Matlab ile çizdirilen, θ_1 ve θ_2 yer değiştirme, hız ve ivme grafiği.



Şekil 2.35 Solidworks ile θ_2 yer değiştirme, hız ve ivme grafiği.

Başlangıç konumu X=-350, Z=605mm; hedef konumu ise X=350, Z=825mm olarak verilmiştir. Hareketli platform merkezinin yol planı şekil 2.36'da Matlab ve Solidworks programlarıyla çizdirilmiştir.



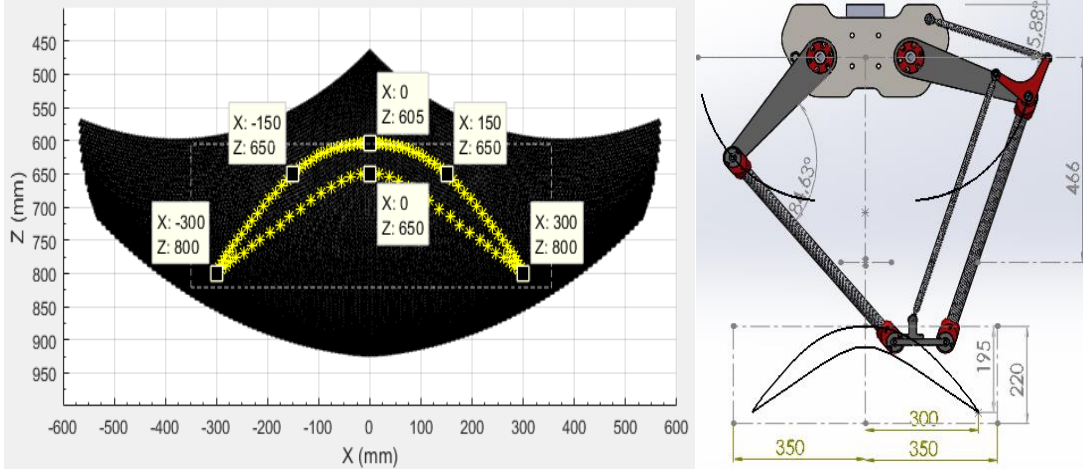
Şekil 2.36 Matlab ve Solidworks hareket profili karşılaştırması.

2.8.2 Kübik polinomlar ile ara noktalı yörünge planlama

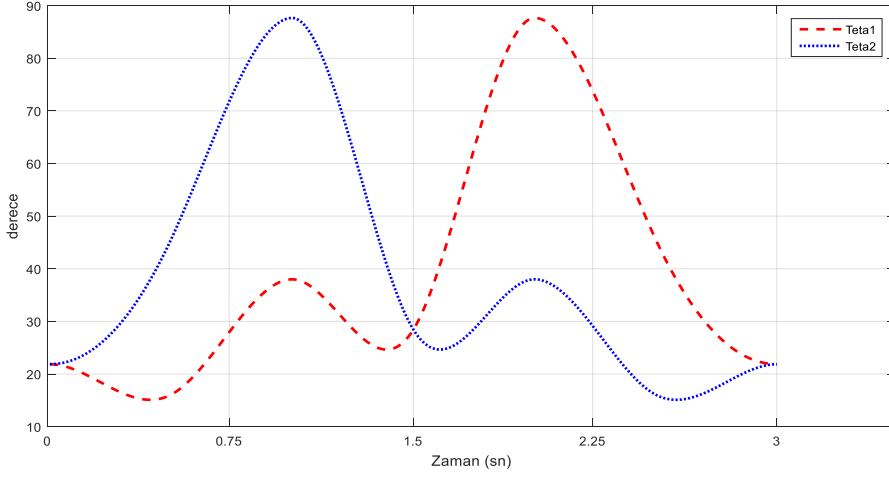
Çizelge 2.4’de verilen konumlara ve sürelere göre, mekanizmanın hareketli platform merkezinin yörüngesi, Matlab ve Solidworks hareket analizinde karşılaştırılmış ve Şekil 2.37’de gösterilmiştir. Ara noktalarda, şekil 2.38, şekil 2.39’da gösterilen θ_1 ve θ_2 ’nin yer değiştirme ve hız profillerinde yumuşak bir geçiş sağlanmıştır. Şekil 2.40’da θ_1 ve θ_2 ’nin ivme profili verilmiştir. Geçişteki hız ve ivme değerlerini eşitlemek ve böylece ara geçiş noktasında durmadan devam etmek için, Craig [19] esas alınarak, başlangıç-ara ve ara-hedef noktaları olmak üzere iki adet üçüncü dereceden polinom kullanılmıştır.

Çizelge 2.4 Yörünge planlama için seçilen konumlar ve hedef süreler.

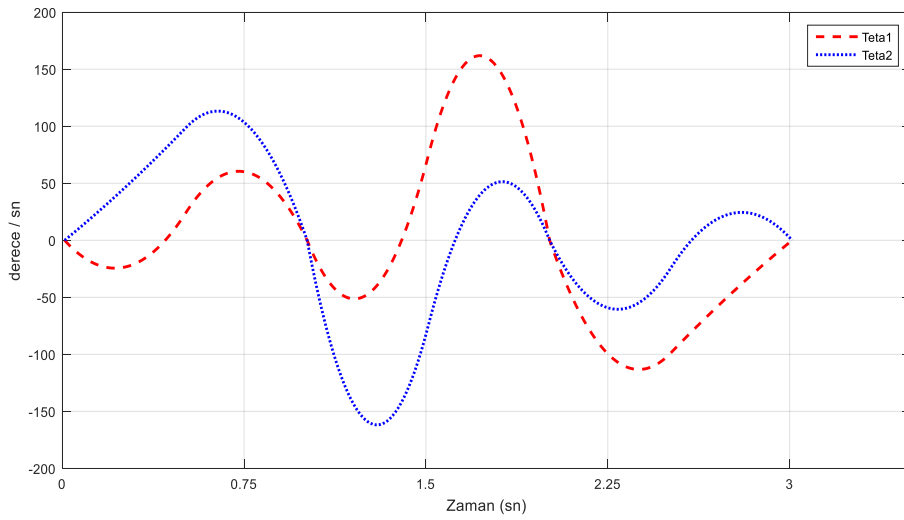
Konum	X (mm)	Z (mm)	t (sn)
0.	0	605	0
1.	150	650	
2.	300	800	1
3.	0	650	
4.	-300	800	2
5.	-150	650	
6.	0	605	3



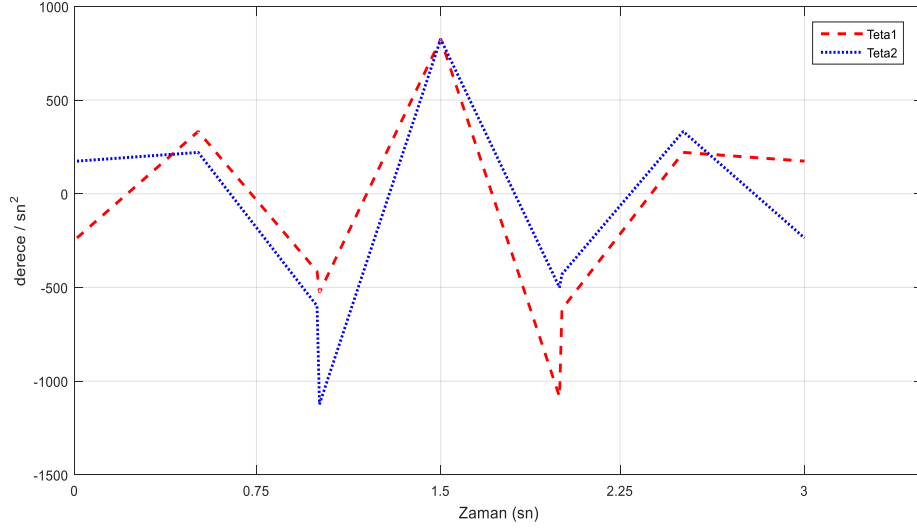
Şekil 2.37 Ara noktalı kübik polinom kullanılarak yörünge planlaması.



Şekil 2.38 θ_1 ve θ_2 'nin yer değiştirme profili.



Şekil 2.39 θ_1 ve θ_2 'nin hız profili.



Şekil 2.40 θ_1 ve θ_2 'nin ivme profili.

2.8.3 Bernstein-Bézier eğrileri ile yörünge planlama

Bézier eğrisinin eğriliği, yüksek mertebeden türevlerden dolayı başlangıç noktasından bitiş noktasına kadar düzgün şekilde değişir [21]. Bézier eğrisi başlangıç ve bitiş noktalarından geçer. Ara noktalar, eğrinin yönü ve şeklini belirler. Genellikle bu ara noktalar eğri üzerinde yer almaz. Yörünge üzerinde bulunan engellerin aşılmasında ve kontrollü yol planlamasında bu eğrilerden yararlanılabilir. Bézier eğrisi, matematiksel olarak, genellikle Bernstein polinomları baz alınarak ifade edilir. Denklem 2.91, 2.92 ve 2.93'de matematiksel ifadesi verilmiştir [22].

$$B_{i,n}(t) = \binom{n}{i} t^i (1-t)^{n-i} \quad (2.91)$$

$$C(t) = \sum_{i=0}^n P_i B_{i,n}(t) \quad (2.92)$$

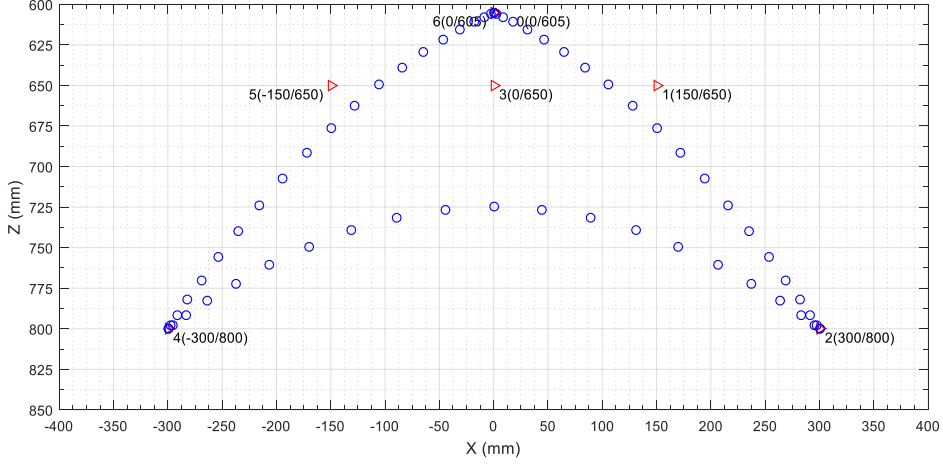
P_i = i. noktanın pozisyonu

$$n = \text{nokta sayısı} - 1 \quad (2.93)$$

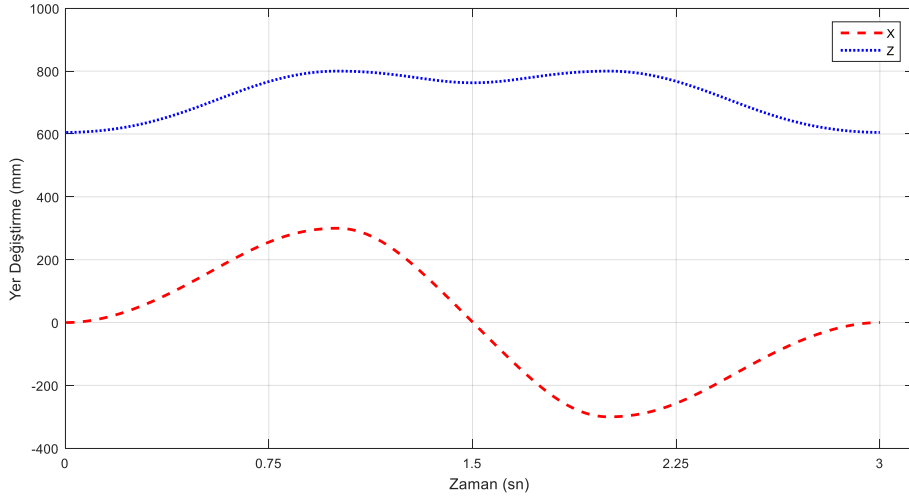
$$0 \leq t \leq 1$$

Bernstein polinomlar, kübik polinomlar ve çizelge 2.4'deki konum değerleri kullanılarak yörünge oluşturulmuş ve şekil 2.41'de çizdirilmiştir. Denklem 2.92'deki polinomla ara noktalara yakınsama, denklem 2.94'deki kübik polinomla hareketin başlangıcının ve bitişinin yumuşak geçişli olması sağlanmıştır. Böylece her iki polinomun da güçlü yanlarından faydalanılmak istenmiştir. Matlab kodları EK F'de verilmiştir.

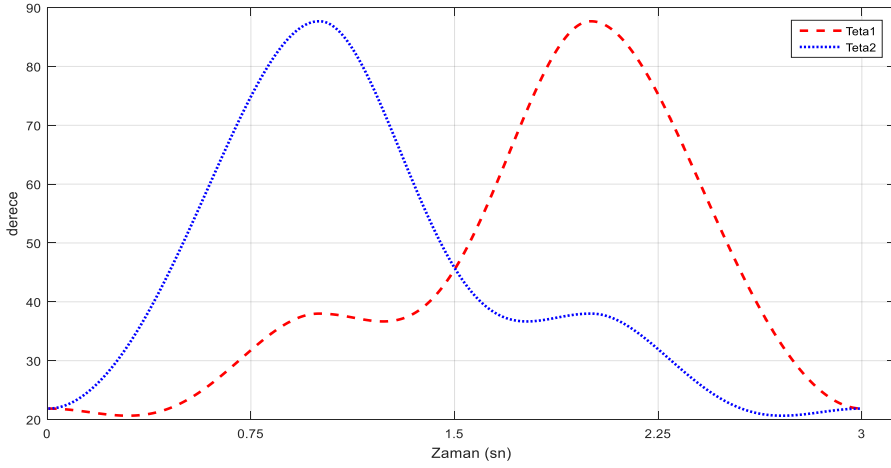
$$f(t) = -2t^3 + 3t^2 \quad (2.94)$$



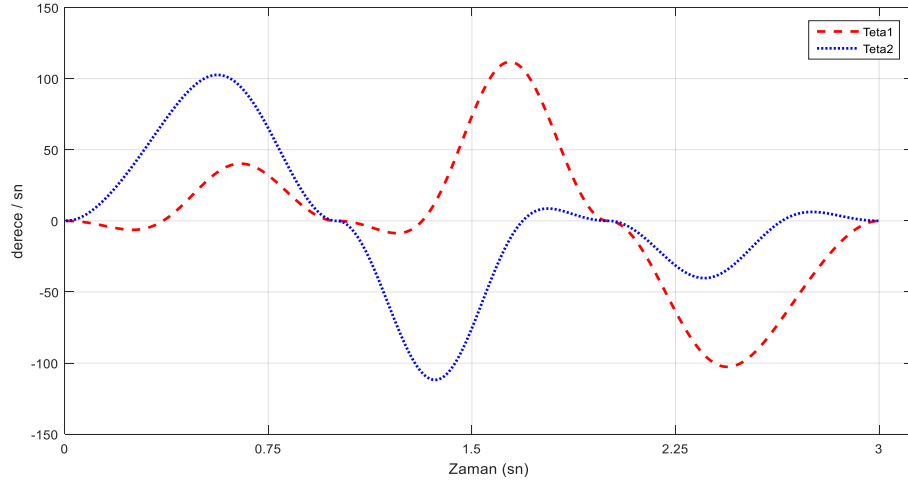
Şekil 2.41 Bézier eğrileri ile yörünge planlama.



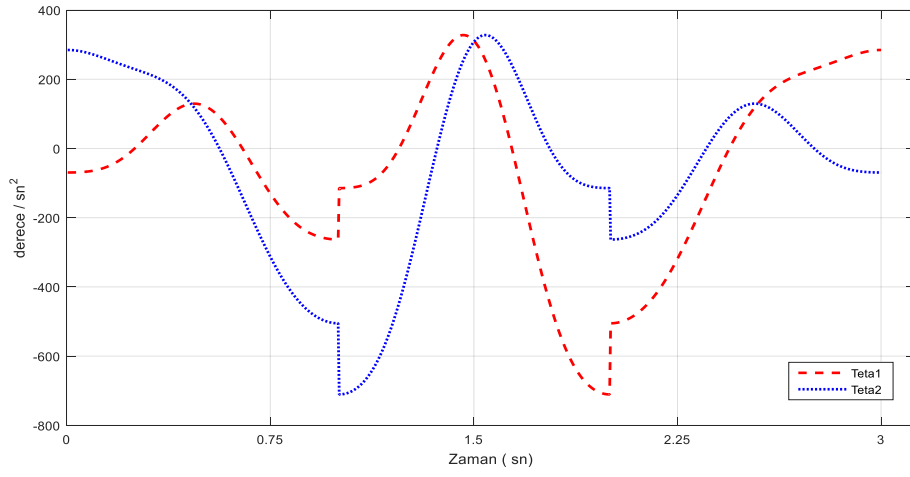
Şekil 2.42 Bézier eğrisi ile yörünge planının konum profili.



Şekil 2.43 Bézier eğrisi ile yörünge planının pozisyon profili.



Şekil 2.44 Bézier eğrisi ile yörünge planının hız profili.

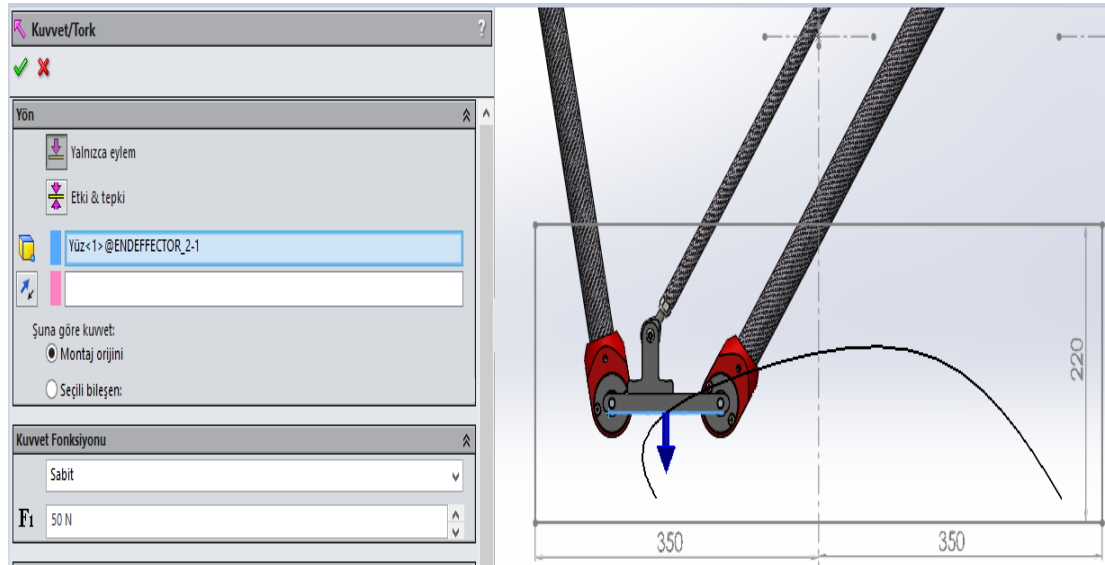


Şekil 2.45 Bézier eğrisi ile yörünge planının ivme profili

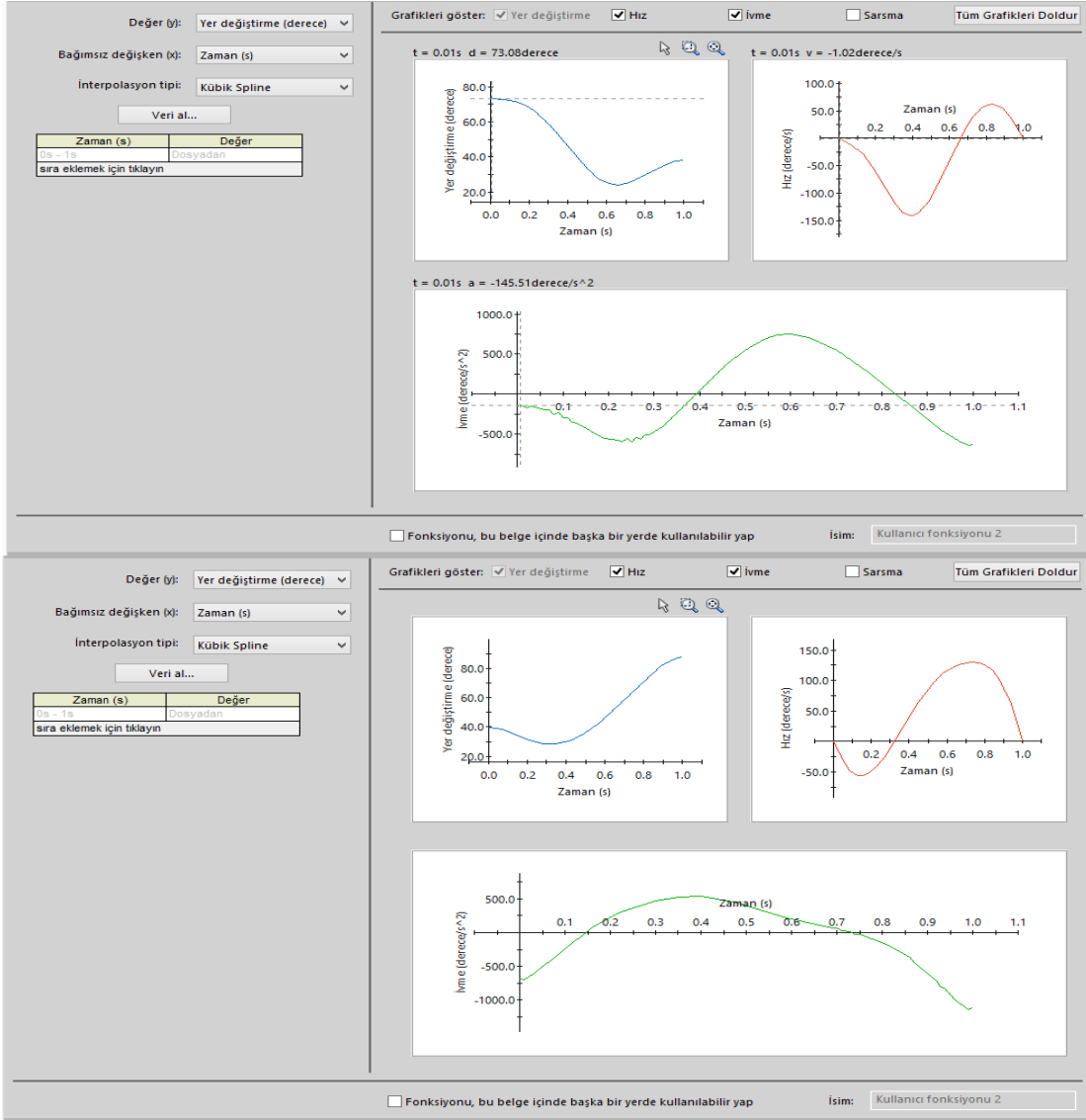
3. ANALİZLER

3.1 Solidworks Hareket Analizi

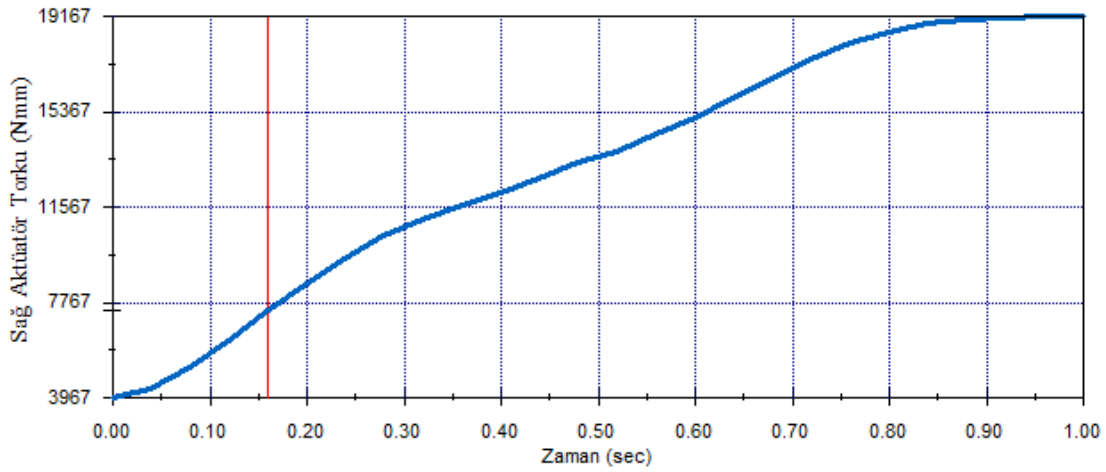
Seçilen çalışma uzayında şekil 3.1'deki hareket planı tasarlanmıştır. Matlab programıyla hesaplanan tahrik mafsallarının temel koordinat sistemine göre yapmış oldukları açılar, Solidworks programına aktarılmıştır (şekil 3.2). Hareket planı oluşturmada, yakınsama ara noktalı Bézier eğrilerinin matematiksel ifadesi olan Bernstein polinomları kullanılmıştır. Yörünge boyunca hareketli platforma, yerçekimi doğrultusunda 50N'luk sabit kuvvet uygulanmıştır. Mekanizmaya, simülasyon ortamında hareket verilerek tahrik mafsallarının tork değerleri elde edilmiş ve bu değerler şekil 3.3 ve şekil 3.4'de çizdirilmiştir. Tahrik mafsallarının maksimum tork değerleri 19.17Nm bulunmuştur.



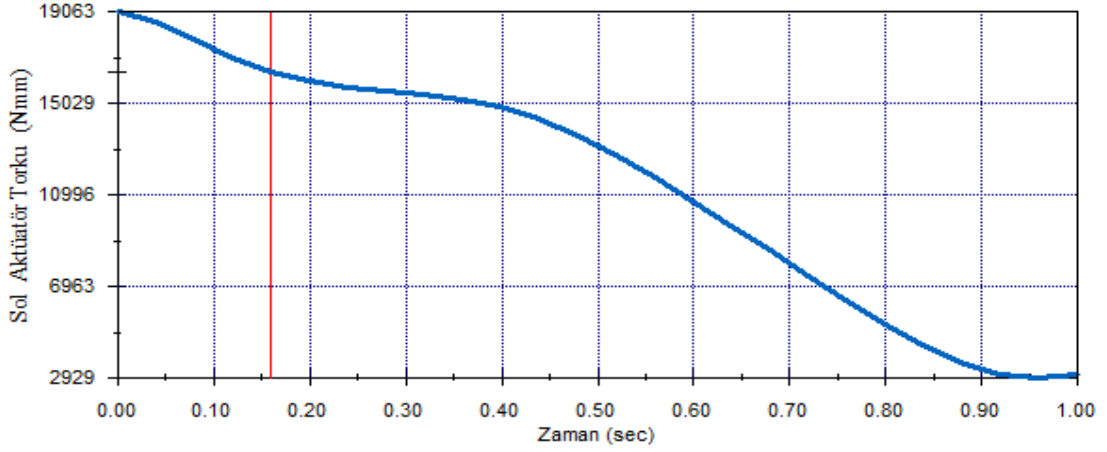
Şekil 3.1 Solidworks hareket analizinde uygulanan kuvvet ve hareket planı.



Şekil 3.2 Solidworks hareket analizi aktüatör girdileri.



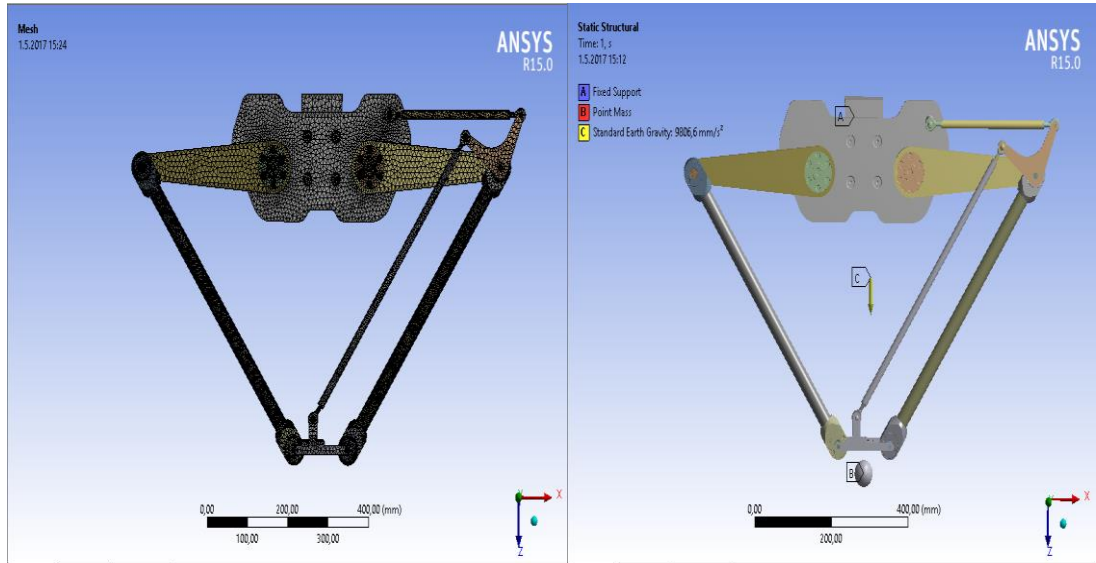
Şekil 3.3 Solidworks hareket analizi sağ aktüatör tork eğrisi.



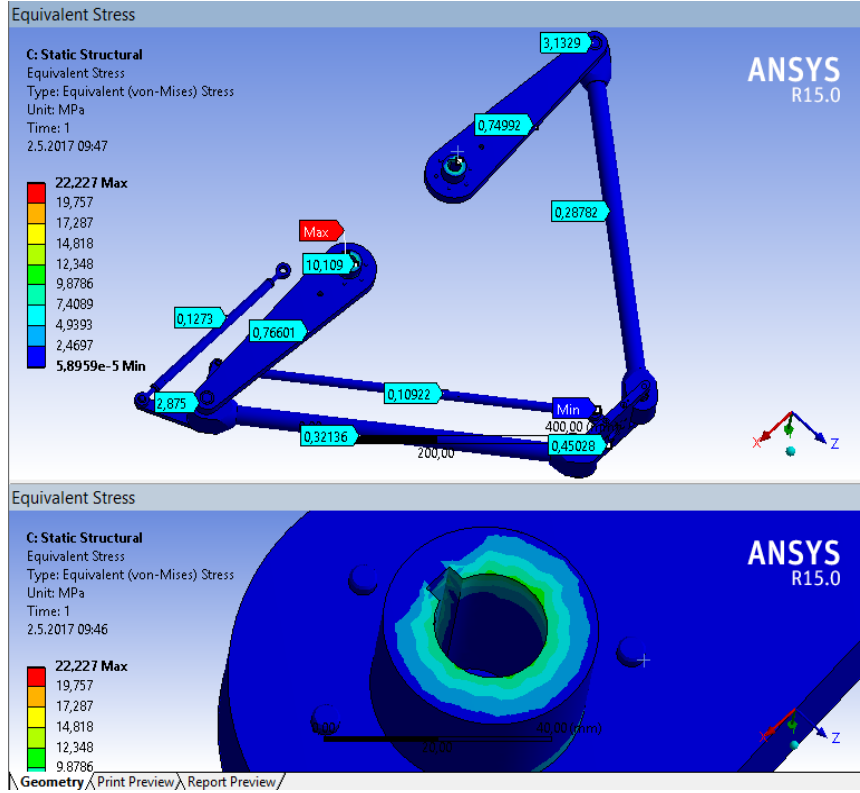
Şekil 3.4 Solidworks hareket analizi sol aktüatör tork eğrisi.

3.2 Ansys Statik Yapısal Analiz

Mekanizmanın üzerinde oluşacak gerilmelerin belirlenmesi ve kritik noktaların tespit edilmesi için Ansys programı kullanılmıştır. Mekanizmada kullanılan çelik, alüminyum ve karbon fiber malzemelerinin mekanik özellikleri programa girilmiştir. Mafsalların serbestlik dereceleri programda sınır şartları olarak tanımlanmıştır. Şekil 3.5’de, mesh yapılmış mekanizmanın hareketli platformuna, 5kg yük (Point Mass) eklenmiştir. Ansys programı ile mekanizmanın sıfır pozisyonunda statik yapısal analiz yapılarak eşdeğer gerilmeler (von-Mises gerilmeleri) hesaplanmıştır. Bu pozisyonda maksimum gerilmenin olduğu parçalar tespit edilmiştir. Maksimum gerilmenin, UzuV1-B ve redüktör mili arasındaki göbek bağlantı (Hub) parçasında olduğu şekil 3.6’da gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Mekanizmanın meshli ve yük eklenmiş gösterimi.

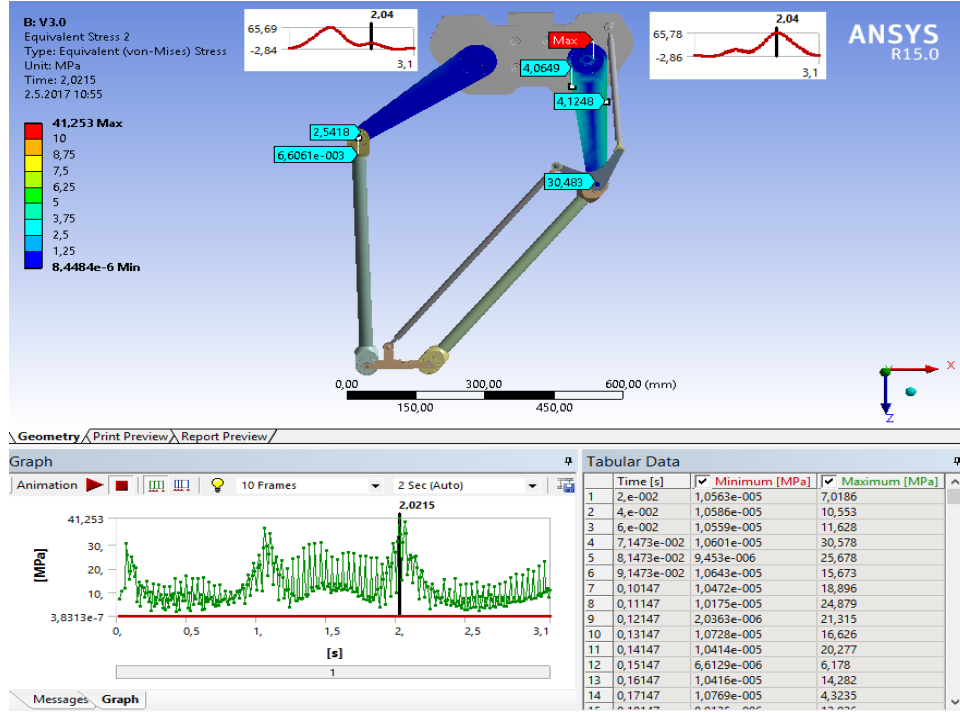


Şekil 3.6 Statik yapısal analiz ile gerilmelerin gösterimi.

3.3 Ansys Transient Yapısal Analiz

Sistemin tamamının dinamik analizini Ansys ile yapmak çok uzun bir süre gerektirdiği ve çoğu kez de ırsama nedeniyle analiz tamamlanamadığı için, sadece, statik yapısal analiz sonucu gerilmenin yüksek olduğu bölgenin Ansys programı kullanılarak transient yapısal analizi yapılmıştır.

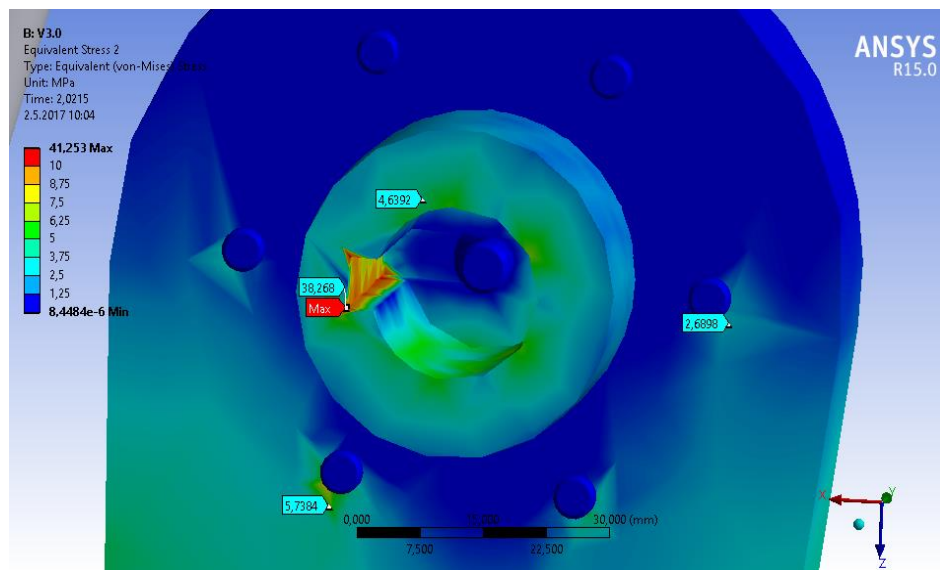
Yörünge planlamada kullanılan Bézier eğrilerinin matematiksel ifadesi olan Bernstein polinomlarıyla, Şekil 2.43'deki çizdirilen pozisyon bilgilerinin çıktuları, sağ ve sol aktüatörlerin zamana bağlı girdileri olarak verilmiştir. Şekil 3.7'de, Ansys transient yapısal analiz yapılarak eşdeğer gerilmeler hesaplanmıştır.



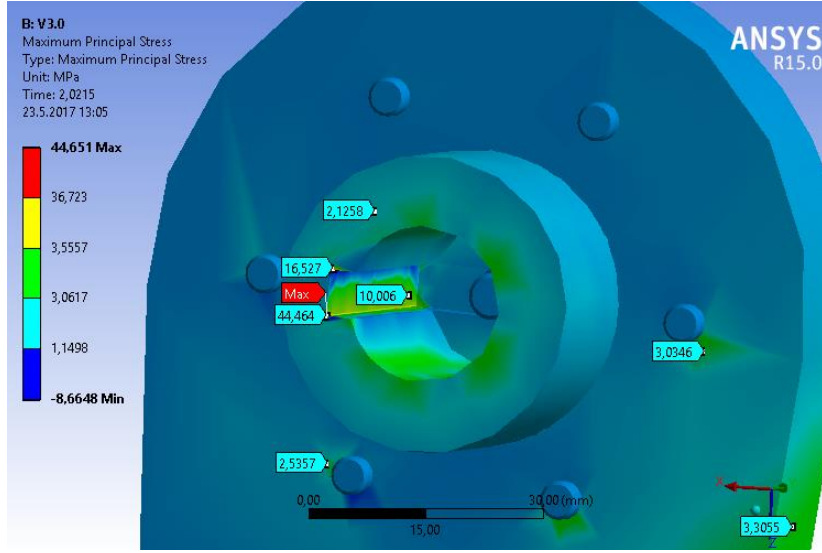
Şekil 3.7 Transient yapısal analiz ile elde edilen eşdeğer gerilmeler.

Şekil 3.8, şekil 3.10 ve şekil 3.12’de, sırasıyla UzuV1-B ile redüktör mil bağlantısındaki, UzuV1-A ile 2-A arasındaki mafsal pimindeki, UzuV1-B ile 2-B arasındaki mafsal pimindeki analiz sonuçları görülmektedir (eşdeğer gerilmeler).

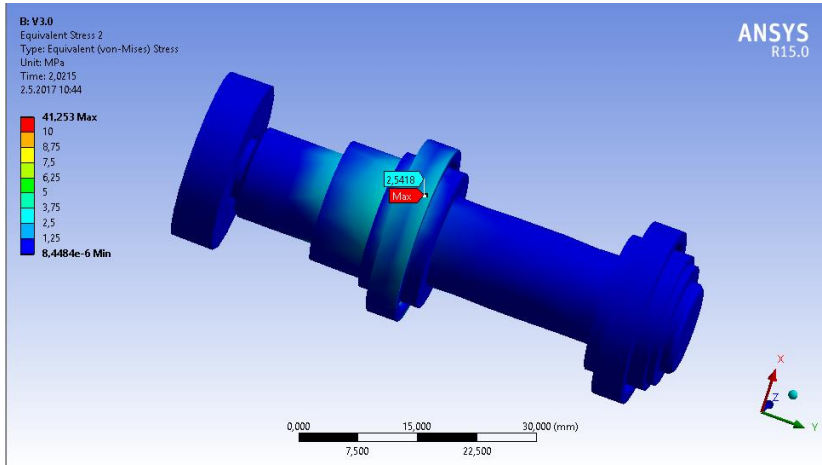
Şekil 3.9, şekil 3.11 ve şekil 3.13’de, sırasıyla UzuV1-B ile redüktör mil bağlantısındaki, UzuV1-A ile 2-A arasındaki mafsal pimindeki, UzuV1-B ile 2-B arasındaki mafsal pimindeki analiz sonuçları görülmektedir (asal gerilmeler).



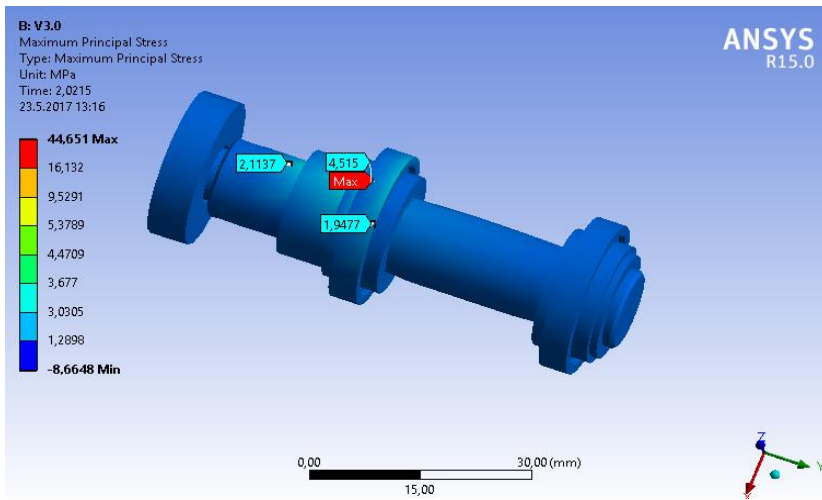
Şekil 3.8 UzuV1-B ile redüktör mil bağlantısındaki eşdeğer gerilmeler.



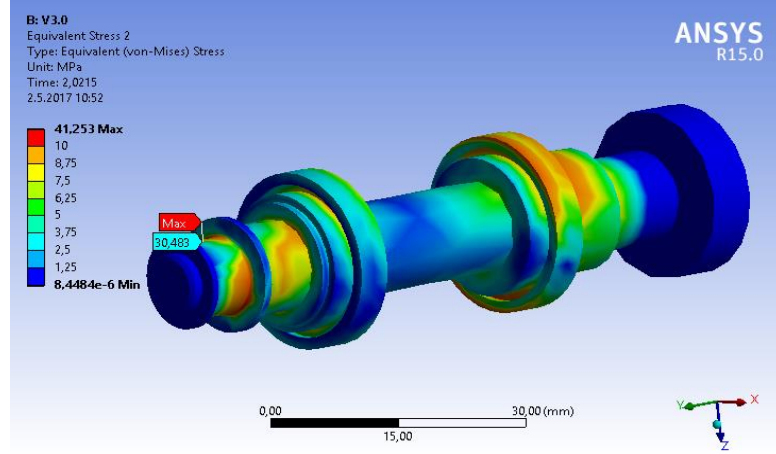
Şekil 3.9 Uzuv1-B ile redüktör mil bağlantısındaki asal gerilmeler.



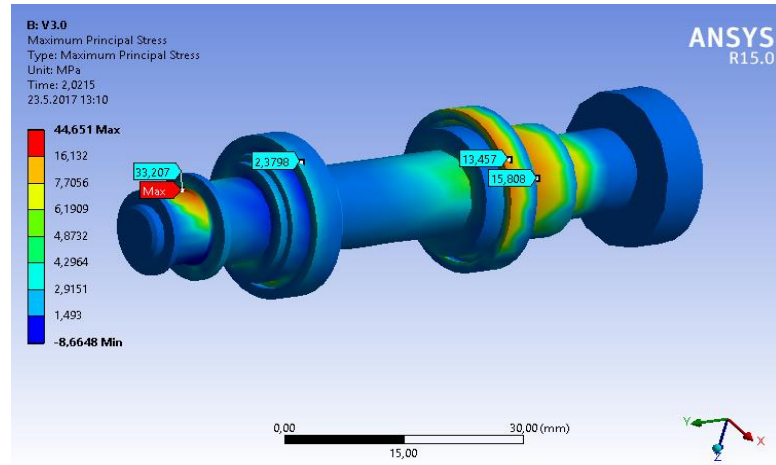
Şekil 3.10 Uzuv1-A ile 2-A arasındaki mafsalsal pimindeki eşdeğer gerilmeler.



Şekil 3.11 Uzuv1-A ile 2-A arasındaki mafsalsal pimindeki asal gerilmeler.

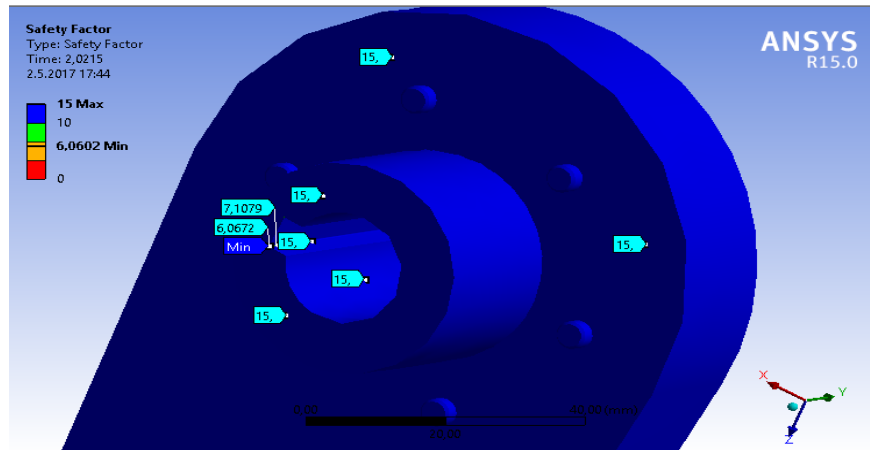


Şekil 3.12 Uzuv1-B ile 2-B arasındaki mafsalsal pimdeki eşdeğer gerilmeler.



Şekil 3.13 Uzuv1-B ile 2-B arasındaki mafsalsal pimdeki asal gerilmeler.

Şekil 3.14'de görüldüğü üzere, statik yapısal analiz sonucu kritik görülen ve incelenen parçalardaki güvenlik faktörü 6'dan büyüktür. Bu değer mekanizmanın yeterli güvenliğe sahip olduğunu göstermektedir. Gerilme güvenlik faktörü akma mukavemeti değerinin, parçada oluşan maksimum gerilmeye oranıdır.



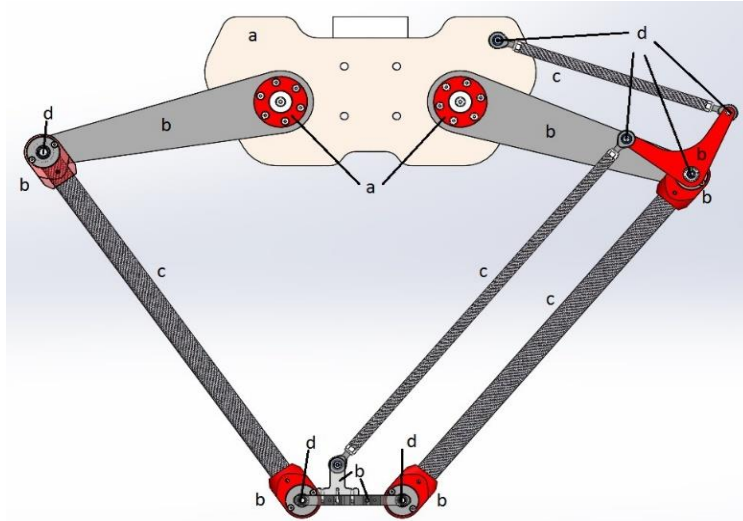
Şekil 3.14 Gerilme güvenlik faktörü gösterimi.

4. ÜRETİM VE MONTAJ

Malzemeler temin edilmiş, talaşlı imalat gerektiren parçalar ilgili firmalarda üretilmiş ve son olarak tüm parçaların montajı yapılmıştır. Montajın ve üretimin sorunsuz bir şekilde bitirilmesi, tasarımın uygunluğunu kanıtlamıştır. Teknik resimler EK G’de paylaşılmıştır.

4.1 Mekanizmada Kullanılan Malzemeler

Solidworks programı kullanılarak tasarımı yapılan ve şekil 4.1’de görülen paralel mekanizmanın imalatında, hafif ve yüksek mukavemetli 7075 T651 alüminyum, 1050 imalat çeliği, yüzey sertleşmesi yapılabilen 16MnCr5 sementasyon çeliği, hafif ve yüksek mukavemetli 3K karbon fiber malzeme kullanılmıştır. Parça malzemeleri, şekil 4.1’de kodlanarak çizelge 4.1’de listelenmiştir.



Şekil 4.1 Mekanizma parçalarının, malzeme çeşidi kodlaması.

Çizelge 4.1 İmalatı gerçekleştirilen parçaların malzemeleri

Parça	Malzemesi	Kod
1050 İmalat Çeliği		a
7075 Alüminyum		b
Karbon Fiber 3K		c
16MnCr5 Sementasyon Çeliği		d

Talaşlı imalatı gerçekleştirilen parçaların malzemeleri ise şekil 4.2’de gösterilmiştir. Bu malzemelerin sertifikaları EK H’de verilmiştir.



Şekil 4.2 Paralel mekanizma malzemeleri

Şekil 4.3’de 7075 Alüminyum, şekil 4.4’de 16MnCr5 sementasyon çeliği ve şekil 4.5’te karbon fiber ile imalatı yapılan parçalar gösterilmiştir.



Şekil 4.3 7075 T651 Alüminyum kullanarak talaşlı imalatı.



Şekil 4.4 16MnCr5 Sementasyon Çeliği kullanarak talaşlı imalat.



Şekil 4.5 3K Karbon Fiber parçalar.

Piyasadan temin edilen mekanik bileşenlerin listesi Çizelge 4.2 de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Piyasadan temin edilen mekanik bileşenler.

Açıklama	Standart	Ölçüler	Adet
Tek Sıra Bilyalı Rulman	6001-2RS1-ABEC1-C0	28x12x8	8
Rulman Baskı Yayı	6001-40 HRC	27.5x21x0.3	4
Tek Sıra Bilyalı Rulman	608-2RS1-ABEC1-C0	22x8x7	1
Havşa Başlı İmbus Cıvata	DIN 7991	M6x20	10
Havşa Başlı İmbus Cıvata	DIN 7991	M5x25	12
Fiberli Somun	DIN 985	M5	12
Havşa Başlı İmbus Cıvata	DIN 7991	M8x16	1
Layner Rondela	DIN 988	M5 S:0,2	8
Bombe Başlı İmbus Cıvata	ISO 7380-1	M5x30	4
Fiberli Altı Köşe Kör Somun	DIN 986	M5	4
Alternatif Fiberli Somun	DIN 985	M5	4
Havşa Başlı İmbus Cıvata	DIN 7991	M4x10	8
Havşa Başlı İmbus Cıvata	DIN 7991	M5x25	2
Havşa Başlı İmbus Cıvata	DIN 7991	M4x16	2
Dolu Tespit Pimi	DIN 6325	3x16 h6 Ra:0.8	3
Segman	DIN 471	D:8	1
Segman	DIN 471	D:12	4
Oluklu Yay Pim	ISO 8752	5x45	4
Havşa Başlı İmbus Cıvata	DIN 7991	M3x10	2
Rot Başlı (Plastik)	KARM-08-IGUS	M8	4
Fiberli Somun	DIN 985	M8	4
Havşa Başlı İmbus Cıvata	DIN 7991	M8x50	10
Planet Redüktör	GBX08040K	I:40	2

Şekil 4.6'da mekanizmada kullanılan mekanik bileşenlerden hafif, bakım gerektirmeyen, kuru çalışabilen, kimyasal dayanımı ve yüksek yorulma mukavemeti

olan, $\pm 40^\circ$ açısız serbestliğe sahip polimer küresel mafsal ve yüksek hassasiyet, bakım gerektirmeyen, düşük ısı üretimi olan planet redüktör gösterilmiştir.



Şekil 4.6 KARM-08 mafsal (solda), NEUGARD-Planet redüktör (sağda).

Döner aktüatör olarak şekil 4.7’de gösterilen, Schneider marka BSH serisi 1.4 Nm tutma momentine sahip endüstriyel servo motorlar kullanılmıştır. Solidworks motion ile yapılan analizler sonucunda ihtiyaç duyulan moment hesaplanarak bu motor seçimi yapılmıştır. Schneider marka LMC58 hareket kontrolörü ve lexium32 serisi servo sürücü seçilmiştir. Mekanizmanın uzaktan kontrol edilebilmesi ve ayarlarının yapılabilmesi için insan-makine ara yüzü olarak Beijer marka operatör paneli kullanılmıştır. Piyasadan temin edilen otomasyon malzemeleri çizelge 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.7 Schneider BSH servo motor.

Çizelge 4.3 Piyasadan temin edilen otomasyon malzemeleri.

AÇIKLAMA	MARKA	ADET
Servo Motor – BSH 1.4Nm	Schneider	2
Sürücü - Lexium32A	Schneider	2
Güç kaynağı-24Vdc 5A	Schneider	1
Motion Controller-LMC58	Schneider	1
HMI-10" Touch panel	Beijer	1
Sigorta- C serisi	Schneider	3
Joystick	Schneider	1
Komütatör 1-0-2 mandal	Schneider	1
Acil Stop	Schneider	1

4.2 Üretim ve İmalat Yöntemleri

Paralel mekanizmanın parçalarının üretiminde talaşlı imalat yöntemlerinden faydalanılmıştır. Isıl etkiye maruz kalmamaları ve düzgün parça çerçeveleri çıkarılabilmesi için şekil 4.8’de görüldüğü gibi su jetinden faydalanılmıştır.



Şekil 4.8 Su jeti imalatı.

Parçaların, belirlenen toleranslar ve hassasiyetlerde işlenmeleri için şekil 4.9’da gösterilen torna ve CNC-freze kullanılmıştır.



Şekil 4.9 Freze, Torna ve CNC imalatı.

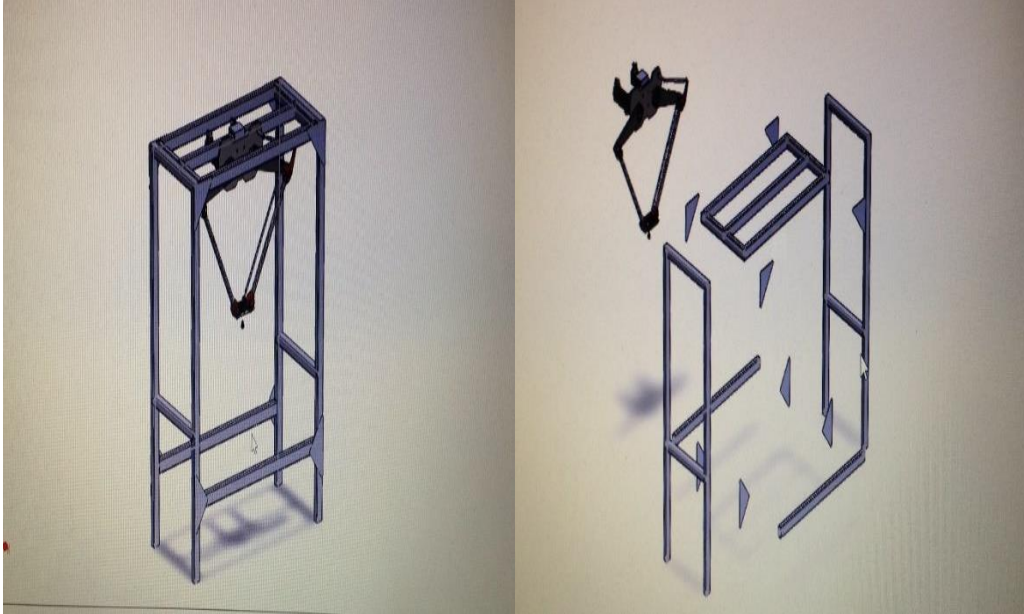
Şekil 4.10’da, parçaların birleştirilmesi ve hassas ayarlarının montaj öncesi yapılması için imal edilmiş olan fikstür görülmektedir.



Şekil 4.10 Fikstür ve parçaları.

4.3 Montaj

İmalatı gerçekleştirilen tüm malzemelerin, mekanik bileşenlerle birlikte Şekil 4.11'deki platforma montajı yapılmıştır. Montajı yapılan bazı parçalar şekil 4.12'de, montajı tamamlanmış paralel mekanizma şekil 4.13'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11 Nihai montajın yapılacağı çerçeve.



Şekil 4.12 İmalatı gerçekleştirilen malzemelerin montajı.



Şekil 4.13 Nihai mekanik montaj.

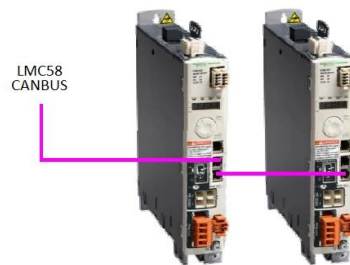
5. MEKANİZMANIN OTOMASYONU VE MİMARİSİ

5.1 Hareket Kontrol Sistemi Ekipmanları ve Panosu

Tasarımın tamamlanması sonucu mekanizmayı seçilen çalışma uzayı içinde hareketlendirmek için servo motorların eş zamanlı kontrol ve hareket ettirilmesi gerekmektedir.

Servo motorlar, üzerlerindeki geri besleme sinyal üretici sayesinde kapalı çevrim çalışabilmektedirler. Yüksek hassasiyete sahip olmaları nedeniyle yüksek hızlarda bile hassas konumlandırma yapılabilen, düşük hızlarda yüksek moment sağlayabilen, 8000 d/d hızlara kadar çıkabilen motorlardır. Servo sürücülerle birlikte kullanılırlar. Bu sürücüler, gerek Canbus, Modbus, Ethercat gibi haberleşme yöntemleri üzerinden, gerekse pulse ile giriş çıkış üniteleri üzerinden komutlarla işletilebilmektedirler [23].

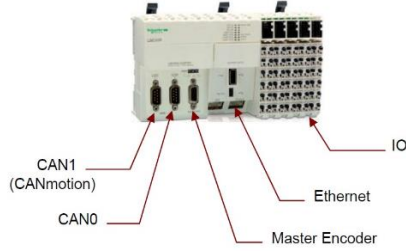
Mekanizmada kullanılacak iki adet servo motor, tek dönüş için konum doğruluğu $\pm 0.022^\circ$, maksimum açısal ivmelenmesi ise 200000 rad/sn^2 olan Schneider marka BSH0701 serisi seçilmiştir. Bu motor 1.4 Nm sürekli durma momentine, 6000 rpm maksimum mekanik hıza ve 820 W nominal çıkış gücüne sahiptir. Şekil 5.1'de görüldüğü gibi, servolar, Schneider marka Lexium32A Canbus haberleşmeli servo sürücülerinden sürülmektedir.



Şekil 5.1 Schneider marka Lexium32A sürücü ve Canbus haberleşme.

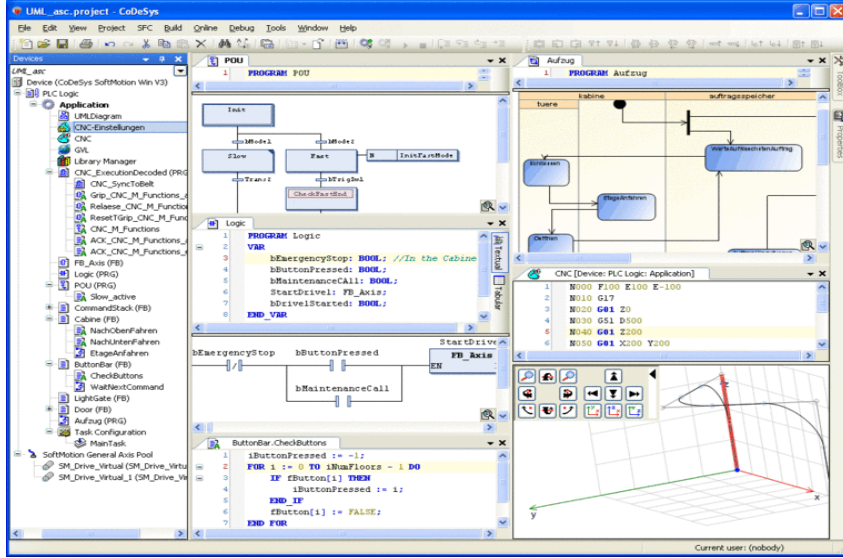
Sürücülerin hız, konum, ivmelenme ve parametrik bilgilerinin girilmesi ve ayarlanması Codesys tabanlı LMC58 hareket kontrolcüsü ile gerçekleştirilmektedir.

Şekil 5.2'deki LMC58 hareket kontrolcüsü, Codesys yazılım platformu sayesinde eksen senkronizasyonu ve enterpolasyon için optimize edilmiş, güçlü özelliklere sahip bir denetleyicidir.



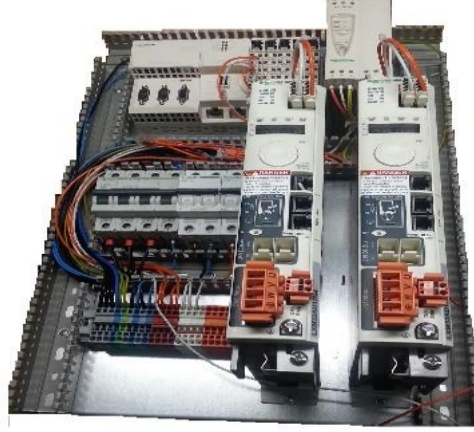
Şekil 5.2 LMC58 hareket kontrolleri.

Codesys, IEC61131-3 uluslararası programlama dili standardını desteklemektedir [24]. Bu standart sayesinde altı programlama dili ile yazılım yapılabilir. Bu diller: Sıralı Fonksiyon Grafik (SFC), Talimat Listesi (IL), Merdiven Diyagramı (LD), Fonksiyon Blok Şeması (FBD), Yapılandırılmış Metin (ST) ve Sürekli Akış Grafik (CFC) dir. Şekil 5.3'de Codesys otomasyon geliştirme platformu gösterilmiştir [24].



Şekil 5.3 Codesys otomasyon platformu.

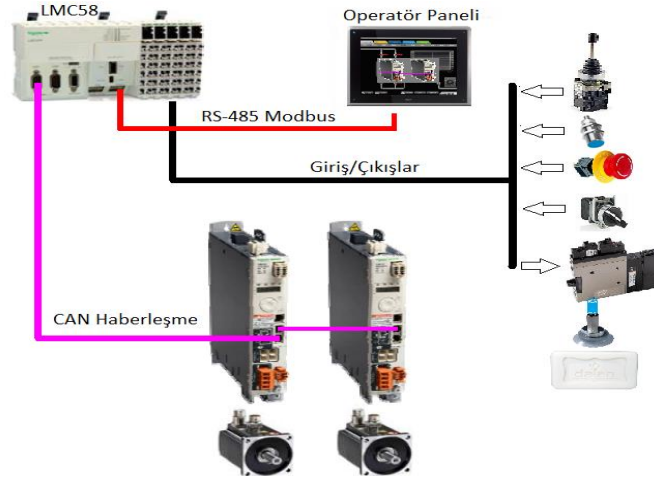
Üretimi gerçekleştirilen otomasyon panosu şekil 5.4'de görülmektedir. Elektrik projesi EK I'da mevcuttur.



Şekil 5.4 Otomasyon panosu.

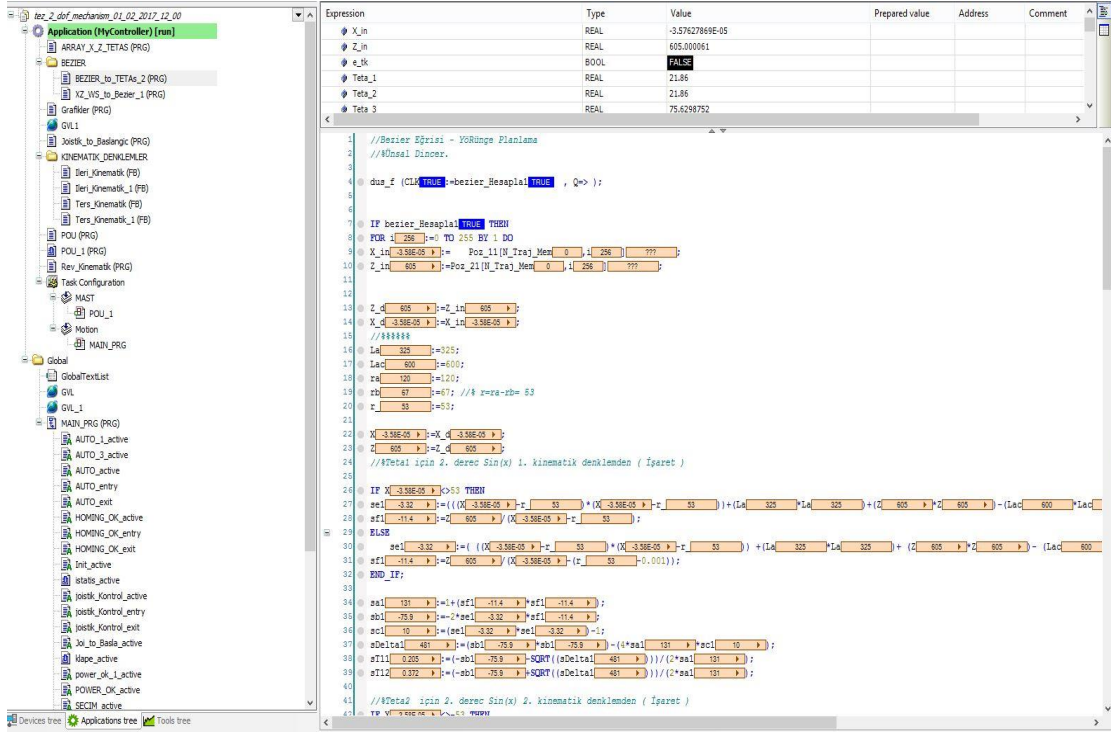
5.2 Otomasyon Sistemi Mimarisi

İki serbestlik dereceli prototip paralel mekanizmanın otomasyon sisteminin mimarisi şekil 5.5’de görülmektedir. Sistem operatör paneli üzerinden kontrol edilebilmekte ve izlenebilmektedir. Acil durumlar için acil stop butonu eklenmiştir. Dört konumlu joystick, seçilen çalışma uzayında X ve Z eksenleri doğrultusunda son işlemcinin hareketini manuel yaptırmaktadır. Her bir özdeş mekanizmanın bir başlangıç konumu ayarına ihtiyaç duyulmasından dolayı endüktif sıfırlama sensörleri eklenmiştir.



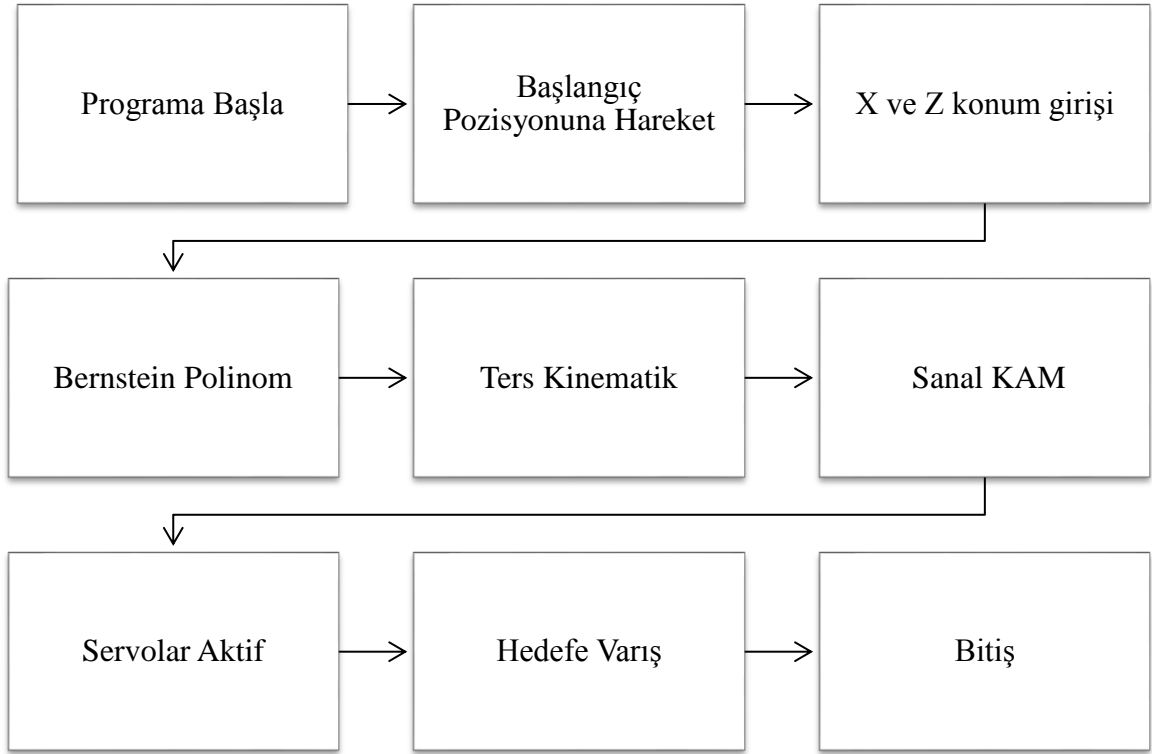
Şekil 5.5 Paralel mekanizmanın otomasyon mimarisi.

Matlab ile test edilen ve doğruluğu ispatlanan kinematik denklemlerin, yörünge planlama için kullanılan Bézier eğrilerinin matematiksel ifadesi programa aktarılmıştır (şekil 5.6).



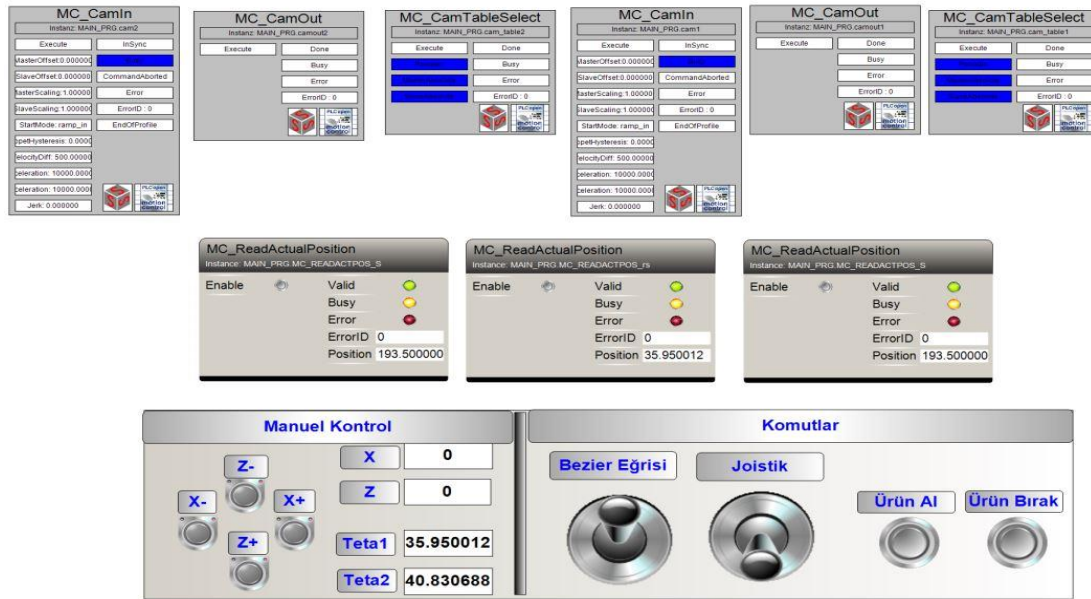
Şekil 5.6 Mekanizma servo programının ekran görüntüsü.

Programın akış şeması şekil 5.7’de verilmiştir. Program sanal motorlar ve kam mekanizmaları ile servoların kontrol edilmesi prensibine dayanmaktadır. Hareket planındaki konumlar, Bernstein polinomlarına aktarılmıştır. Ters kinematik kullanılarak, iki adet tahrik mafsalsının yörünge boyunca temel koordinat sistemine göre açıları bulunmuştur. Bulunan açı değerleriyle sanal kam oluşturulmuştur. Hızı değiştirilebilir sanal bir servo motor kullanılarak, yumuşak kalkış ve duruş sağlayan üçüncü dereceden polinomla, sanal kam mekanizması hareketlendirilmiştir. Hesaplanan açılar, servo motor sürücülerine gönderilerek her bir tahrik mafsalsının eşzamanlı bir şekilde çalışması sağlanmıştır. Programın genişletilmiş akış şeması EK İ’de verilmiştir.



Şekil 5.7 Program akış şeması.

Mekanizma üzerinde denemeler yapmadan önce program simüle edilmiştir. Testler için hazırlanan simülasyon ekranı ve ortamı şekil 5.8 ve şekil 5.9'da gösterilmiştir. İleri kinematik denklemlerin çözümü ile ilgili Codesys kodları EK J'de verilmiştir.



Şekil 5.8 Simülasyon için hazırlanan ekran görüntüsü.

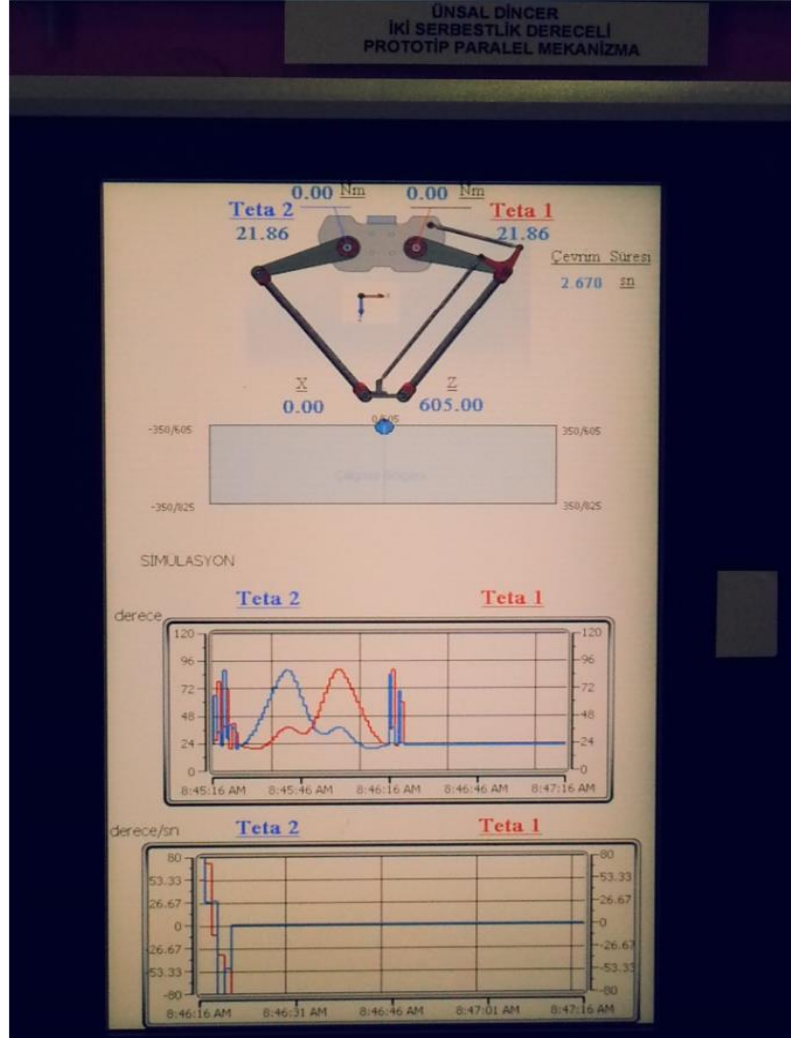


Şekil 5.9 Montaj öncesi hazırlanan, program test düzeneği.

Şekil 5.10'da paralel mekanizmanın çalıştırılması, şekil 5.11'de operatör panelinin ekran görüntüsü verilmiştir.

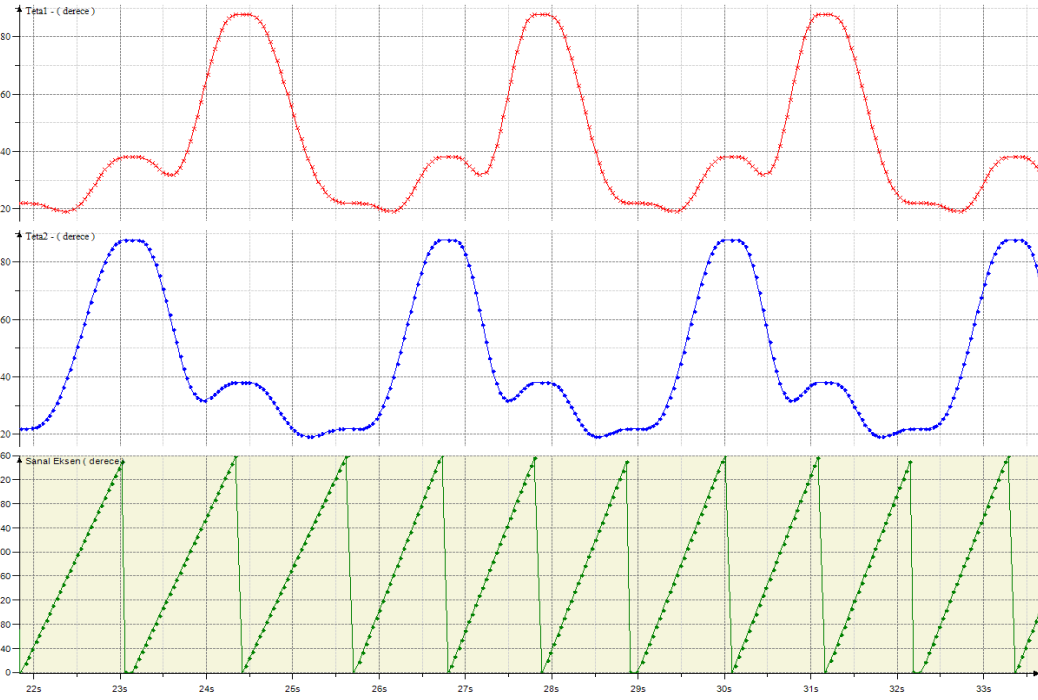


Şekil 5.10 Paralel mekanizmanın montajı ve çalıştırılması.

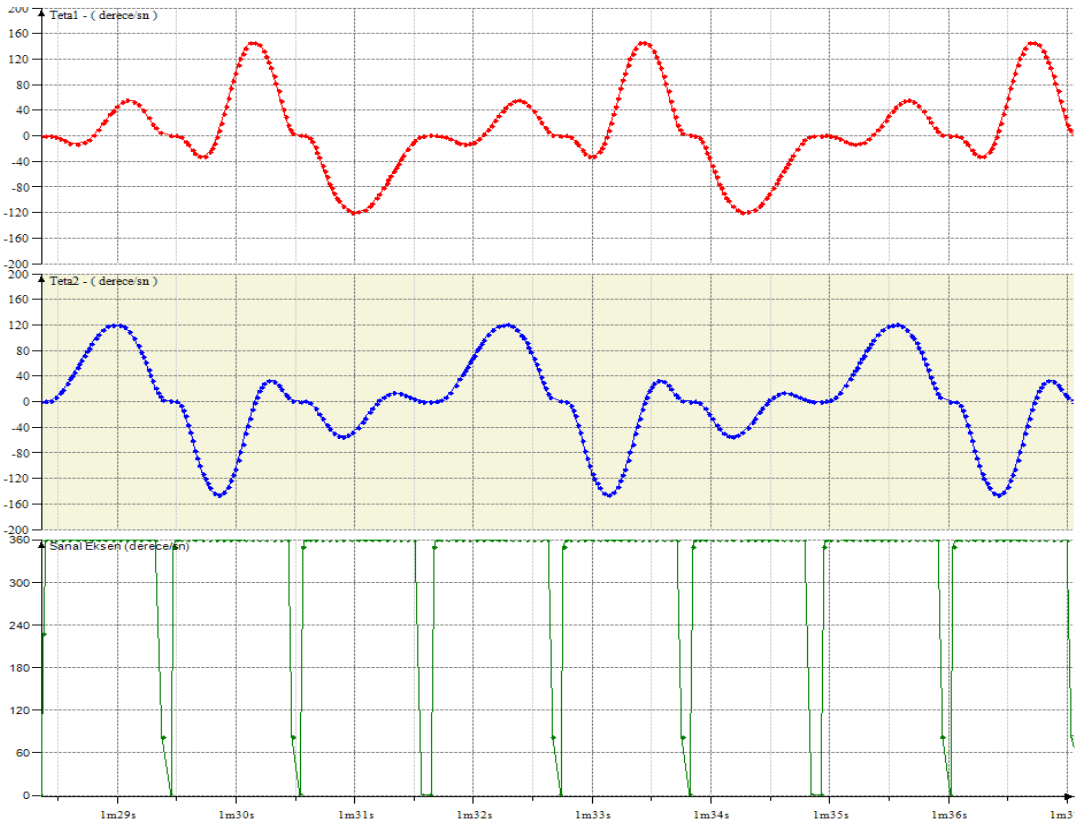


Şekil 5.11 Operatör paneli görüntüsü.

Çizelge 2.4'den alınan konum bilgileri programa girilerek Bézier eğrisinin matematiksel ifadesine yerleştirilmiştir. Ters kinematik kullanılarak servoların pozisyonları hesaplanmış ve şekil 2.41'deki yörünge planlaması yapılmıştır. Program çalıştırılarak, yörünge boyunca servo pozisyonları (θ_1 , θ_2) ve hızlarının aktüel verilerinin grafikleri, şekil 5.12 ve şekil 5.13'de gösterilmiştir. Bu sonuçların, Şekil 2.43 ve şekil 2.44'deki Matlab ile çizdirilen grafikler ile uyumlu oldukları gözlemlenmiştir.



Şekil 5.12 Hareket verilen mekanizmada servo pozisyonlarının gösterimi.



Şekil 5.13 Hareket verilen mekanizmada servo hız profillerinin gösterimi.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dalan Kimya firmasının ihtiyacından hareketle piyasada mevcut iki serbestlik dereceli mekanizmalar incelenerek yeni bir prototip tasarım yapılmıştır. Bunun için önce Solidworks programında katı model çizilmiş ve bu model uygun şekilde boyutlandırılarak istenen çalışma alanının her noktasına rahatlıkla ulaşması sağlanmıştır. Tasarımı yapılan mekanizmanın kinematik modeli üzerinden genel serbestlik formülü kullanılarak serbestlik derecesi iki olarak bulunmuştur. İkinci dereceden iki denklem haline getirilen bu sistemin çözümünde ve mafsal açılarının çıkarılmasında homojen dönüşüm matrisleri, geometrik ve trigonometrik yöntemler kullanılmıştır. Denklemlerin, ileri ve ters kinematik çözümleri yapılmıştır.

Ters kinematik çözümün sonucunda elde edilen ikinci dereceden denklemlerin θ_1 ve θ_2 kökleri Matlab programıyla hesaplanmıştır. Matlab programında hareketli platform merkezinin X ve Z'de konumu verilerek elde edilen θ_1 ve θ_2 değerleri Solidworks programıyla elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Her iki yolla elde edilen sonuçların birbirleriyle tamamen uyumlu oldukları görülmüştür.

İleri kinematik çözüm sonucunda elde edilen ikinci dereceden denklemlerin, hareketli platform merkezinin temel koordinat sistemine göre konumunu belirleyen X ve Z'in kökleri Matlab programıyla hesaplanmıştır. Tahrik mafsallarının temel koordinat sistemine göre θ_1 ve θ_2 açıları Matlab programına girilerek X ve Z kökleri elde edilmiştir. Ters kinematik çözüm ve ileri kinematik çözüm karşılaştırılmış, bunların sonuçlarının da birbirleriyle tamamen uyumlu oldukları gösterilmiştir.

Maksimum çalışma alanının fiziksel sınırlarının açısal değerleri Solidworks programında belirlenmiştir. Bu sınırlar, aynı zamanda, matematiksel denklem olarak yazılmış, denklemler Matlab programı ile çözülmüş ve elde edilen sonuçların Solidworks ile elde edilen sonuçlar ile aynı oldukları gösterilmiştir.

Maksimum çalışma alanı içinde ihtiyacı karşılayacak daha küçük bir çalışma alanı seçilmiştir. Seçilen çalışma alanı içinde mekanizmanın güvenli çalışması için gereken sınırları belirleyen açıların maksimum ve minimum değerleri hesaplanmıştır.

Yörünge planlamada, Bézier eğrilerinin matematiksel ifadesi olan Bernstein polinomları ve kübik polinomlar kullanılmıştır. Böylece başlangıç ve hedef konumları arasında yumuşak bir hareket sağlanmıştır. Matlab programı kullanılarak hareketli platform merkezinin yörünge planı ile tahrik mafsal açılarının pozisyon, hız ve ivme profilleri çizdirilmiştir. Tahrik mafsallarının, ters kinematik ile hesaplanan açı değerleri Solidworks programına aktarılmıştır. Solidworks hareket analizi ile yörünge yeniden çizdirilmiştir. Böylece Matlab kullanılarak elde edilen yörünge doğrulaması Solidworks ile yapılmıştır.

Ansys statik ve transient yapısal analiz ile eşdeğer gerilmeler (von-Mises gerilmeleri) ve asal gerilmeler (Maximum Principal Stress) hesaplanmıştır. Statik yapısal analiz sonucu kritik görülen parçalardaki güvenlik faktörü 6'dan büyük olduğu görülmüştür. Bu değer mekanizmanın yeterli güvenliğe sahip olduğunu göstermektedir.

Su jeti, freze ve CNC talaşlı imalat yöntemleri kullanılarak imal edilen mekanizma parçalarında, yüksek mukavemetli ve hafif alüminyum alaşımı 7075 T651, yüzey sertleşmesi yapılmış 16MnCr5 sementasyon çeliği, yüksek mukavemetli ve hafif karbon fiber örgülü kompozit ve 1050 imalat çeliği kullanılmıştır.

Mekanizmanın montajı, Solidworks programında tasarlanan bir çerçeve üzerine yapılmıştır. Aynı çerçeveye otomasyon panosu ve insan-makine ara yüzü olan operatör paneli yerleştirilmiştir.

Otomasyon panosu, uluslararası endüstriyel programlama standardını destekleyen ve Codesys platformunu kullanan servo hareket kontrol ünitesi, 1.4Nm tutma momentine sahip 820W gücünde 2 adet servo motor ve 2 adet servo motor sürücüsü kullanılarak tasarlanmış ve imal edilmiştir.

İmalatı gerçekleştirilen mekanizma üzerinde yapılan çalışma ile servoların anlık pozisyon ve hız verileri izlenmiş ve çizdirilmiştir. Çizimlerin, Matlab programında çizdirilen grafiklerle aynı olduğu gösterilmiştir. Montaj sonrası çalıştırılan programla hareket verilen mekanizmanın kinematik denklemlerinin, çalışma uzayının ve yörünge planlama yönteminin doğruluğu, yörünge planına uygun bir şekilde istenen konuma varmasıyla ispatlanmıştır.

Bu çalışmadaki iki serbestlik dereceli prototip paralel mekanizmanın tasarımının ve imalatının yapılması şu faydaları sağlamıştır; hızlı üretim, düşük maliyet, sanayinin

ihtiyacının yerli imalatla karşılanması, sabun sektörü dışında birçok sektörde de uygulama alanının olması, bu çalışmanın kodlar dahil açık kaynak olarak sunulması, marka bağımsız IEC61131-3 standardı ve Codesys platformu kullanan tüm hareket kontrol üniteleriyle uygulama kolaylığı. Ayrıca bu çalışmada verilen kinematik denklemler kullanılarak ihtiyaca yönelik farklı boyutlara ve çalışma alanlarına sahip aynı tip mekanizmaların tasarlanarak üretilmesi mümkündür.

Bundan sonra yapılacak çalışmalar için şu hususlar önerilebilir:

Uzuv1-A ve Uzuv1-B mekanizma parçalarında kullanılan 7075 alüminyum malzeme yerine daha hafif karbon fiber malzeme kullanılabilir.

Tekrarlı yüklemeler için, yorulma testlerinin yapılması sonucunda kama yataklarında oluşan gerilimleri azaltabilecek optimum çözüm aranabilir.

Mekanizmada fiziksel sınırlamaya sebep olan V plakası ve Paralel1 parçalarında tasarım değişikliği yapılarak ihtiyaca göre çalışma alanı genişletilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Söylemez, E.** (2015). *Mekanizma Tekniği*. Birsen Yayınevi, İstanbul
- [2] **Briot, S. ve Bonev, I.** (2007). Are parallel robots more accurate than serial robot?, *CSME transactions*, 31, (4) 445-56.
- [3] **Merlet, J. P.** (2006). *Parallel Robots*. 2nd Ed., The springer.
- [4] **Anıl, E., Alp, H., Yurt, S. N. ve Özkol, İ.** (2005). Paralel mekanizmaların kinematiği, dinamiği ve çalışma uzayı, *Havacılık ve uzay teknolojileri dergisi*, 2, (1) 19-36
- [5] **Bonev, I. A.,** (2002). *Geometric analysis of parallel mechanisms*, (Ph.D. Thesis). Laval University, Canada.
- [6] **Liu, X., Wang, Q. ve Wang, J.** (2004). Kinematics, dynamics and dimensional synthesis of a Novel 2-dof translational manipulator. *Journal of intelligent and robotic systems*. 41.4, 205-24.
- [7] **Baradat, C., Nabat, V., Olivier, C., Pierrot, F. ve Krut S.** (2008). A spatial mechanism for fast planar two-degree-of-freedom pick-and-place applications, *Meccanica*, 46, (1) 239-248.
- [8] **Huang, T., Liu S., Mei J. ve Chetwynd D. G.** (2013). Optimal design of a 2-DOF pick-and-place parallel robot using dynamic performance indices and angular constraints, *Mechanisms and Machine Theory*, 70, 246-253.
- [9] **Chung Y. ve Lee, J.** (2001). Design of a new 2 dof parallel mechanism, *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*. Como, Italy: July 8-12.
- [10] **Gao, F., Xinjun, L. ve William, A. G.** (1998). Performance Evaluation of Two-degree-of-freedom Planar Parallel Robots, *Mechanisms and Machine Theory*, 33, 661-68.
- [11] **Huang, T., Wang, P.F., Mei, J.P., Zhao, X.M. ve Chetwynd, D.G.** (2007). Time minimum trajectory planning of a 2-dof translational parallel robot for pick-and-place operations, *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 56, (1) 365-68.

- [12] **Gao, F., Weimin, L., Xianchao, Z., Zhenlin, J. ve Hui, Z.** (2002). New kinematic structures for 2-, 3-, 4-, and 5-dof parallel manipulator designs, *Mechanisms and Machine Theory*, 37, 1395 – 411.
- [13] **Ji, Zhiming.** (2003). Study of Planar Three-degree-of-freedom 2-RRR parallel manipulators, *Mechanism and Machine Theory*, 38, 409-16.
- [14] **Küçük, S. ve Bingül, Z.** (2004). Robot sistemlerinde kinematik yöntemlerin karşılaştırılması, *Politeknik Dergisi*, 7, (2) 107-117.
- [15] **Li-xin, X. ve Yong-gang, L.** (2014). Investigation of joint clearance effects on the dynamic performance of a planar 2-DOF pick-and-place parallel-manipulator, *Robotics and computer-integrated manufacturing*, 30, (1) 62-73.
- [16] **Erkaya, S., Doğan, S. ve Ulus, Ş.** (2015). Klasik ve esnek bağlantılı ekanizmalarda eklem boşluğu etkisinin nümerik ve deneysel incelenmesi, *Uluslararası katılımlı 17. makina teorisi sempozyumu*, İzmir, 14-17 Haziran.
- [17] **Brogardh, T.** (2000). Design of high performance parallel arm robots for industrial applications, Symposium, July 9-11 University of Cambridge, Trinity College.
- [18] **Wu, J., Wang, J., Wang, L. ve You, Z.** (2010). Performance comparison of three planar 3-dof parallel manipulators with 4-RRR, 3-RRR and 2-RRR structures. *Mechatronics*, 20, 510-17.
- [19] **Craig J. J.** (2005). *Introduction to Robotics*. 3rd Ed., Pearson Education International.
- [20] **Park, F. C. ve Lynch, K. M.** (2016). *Introduction to Robotics Mechanics, Planning, and Control*, September 20.
- [21] **Škrjanc, I. ve Klančar G.** (2010). Optimal cooperative collision avoidance between multiple robot on Bernstein-Bézier curves, *Robotics and Autonomous Systems*, 58, (1) 1-9.
- [22] **Pastva, T. A.** (1998). *Bezier Curve Fitting*. (Master's thesis). Naval Postgraduate school, NPS institutional archive, California.
- [23] **Gaitan, V. G., Gaitan, N. C. ve Ungurean I.** (2013). A flexible acquisition cycle for incompletely defined fieldbus protocols, *ISA Transactions*, 53, (3) 776-786.
- [24] **Czerwinski. R., Chmiel, C. ve Mazur P.** (2016). Central processing unit of IEC 61131-3-based PLC, *IFAC-PapersOnLine*, 49, (25) 454-459.

EKLER

- EK A:** CODIAN ve ELAU paralel mekanizmaların teknik verileri.
- EK B:** Kinematik denklemlerin doğrulanması Matlab kodları.
- EK C:** İleri Kinematik Denklem Çözümleri.
- EK D:** Fiziksel sınırların gösteren Matlab kodları.
- EK E:** Mekanizmanın çalışma alanı Matlab kodları
- EK F:** Bezier eğrileri yörünge planlama Matlab kodları.
- EK G:** Mekanizmanın teknik çizimler.
- EK H:** Talaşlı imalatta kullanılan malzemelerin sertifikaları.
- EK I :** Elektrik projesi.
- EK İ :** Programın genişletilmiş akış şeması.
- EK J :** İleri kinematik denklemlerin çözümü ile ilgili Codesys kodları.

EK A: CODIAN ve ELAU paralel mekanizmaların teknik verileri.




CODIAN
ROBOTICS

**LOGICAL INNOVATION FOR
PICK AND PLACE ROBOTICS**

D2-800

The Codian Robotics D2-800 two- or three-axis delta robot is ideal for high speed toploading pick & place-processes. The proven concept design with a minimum of mechanical components results in a high quality robot.

The parallel kinematic design is clean, fast and silent. The D2-800 is designed to perform with payloads up to 3 kg and has a working envelope of 800 mm. The robot can be controlled by many different PLC and motion control systems.

- Open platform for servo motors and control systems
- ISO mount gripper interface
- Materials: carbon fibre, stainless steel, anodized aluminium, plastic
- Zero footprint
- Low maintenance, easy accessible

codian-robotics.com



D2-800

THE NEW STANDARD FOR PICKING AND PLACING

SPECIFICATIONS

Kinematic Structure:	delta type
Degrees of freedom:	2+1*
Protection:	IP 65
Noise Level:	< 70 dB(A)
Weight:	40 kg

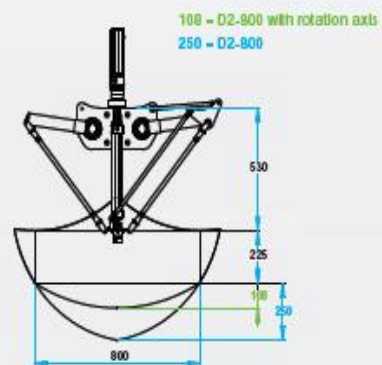
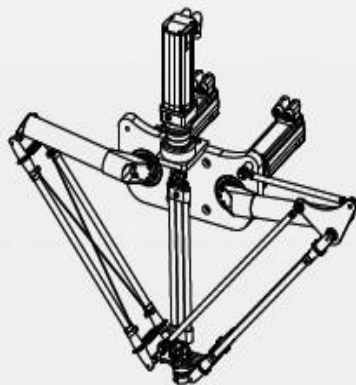
* with optional rotation axis

PERFORMANCE

Rated working range:	800 x 225 mm
Rotation (RZ):	angle unlimited*
Payload:	3 kg
Pick and Place actions:	max. 200 p/min
Position repeatability X,Y,Z:	± 0.2 mm
Angular repeatability RZ:	$\pm 0.1^\circ$
Limitation rotation torque:	16 Nm

* with optional rotation axis

WORKING AREA



6 Technical data

6.1 Data tables

6.1.1 PacDrive Robot

Designation	Abbreviation [unit]	D2
General data		
Net loading	[kg]	Max. 25, at the rotation axis, max. 10
Max. velocity	[m/s]	4
Max. acceleration	[m/s ²]	18
repeat accuracy		
Position	[mm]	±0.5
Angle	[°]	±0.1
number of axes		2(3*)
angle range	[°]	
- A1, A2		-32 to +95
- A3*		=
A3* maximum torque	[Nm]	22
electrical data		
Mains voltage	U [V]	3 AC 400
motor		SH100
mechanical data		
Weight	m [kg]	85
Installation wall assembly	Screws	6 x M12 6,9
Work area	[mm]	
- vertical		342
- horizontal		1000
Length	[mm]	
- Upper arm		400
- Lower arm		850
Ambient conditions		
Protection class		IP55
Ambient temperature	T [°C]	
- during operation		+5 to +45
- During storage and transport		-25 to +60
Noise level	[dB(a)]	<70
Relative humidity	[%]	90
Approval (projected)		CE, UL, cUL
* Optional, rotation axis at the Tool Center Point (TCP)		
** You will find Technical data in the PacDrive SH Motor Operating manual.		

6.1.2 Pick and Place speeds

Path Z1 x Y x Z2*	Load < 5 kg	Load < 10 kg	Load < 25 kg
50 x 300 x 100	50 cycles/min	35 cycles/min	30 cycles/min
150 x 400 x 250	45 cycles/min	30 cycles/min	25 cycles/min
200 x 500 x 300	35 cycles/min	25 cycles/min	22 cycles/min

*) The track movement refers to a complete cycle of Pick - Place - Pick

6.2 Model

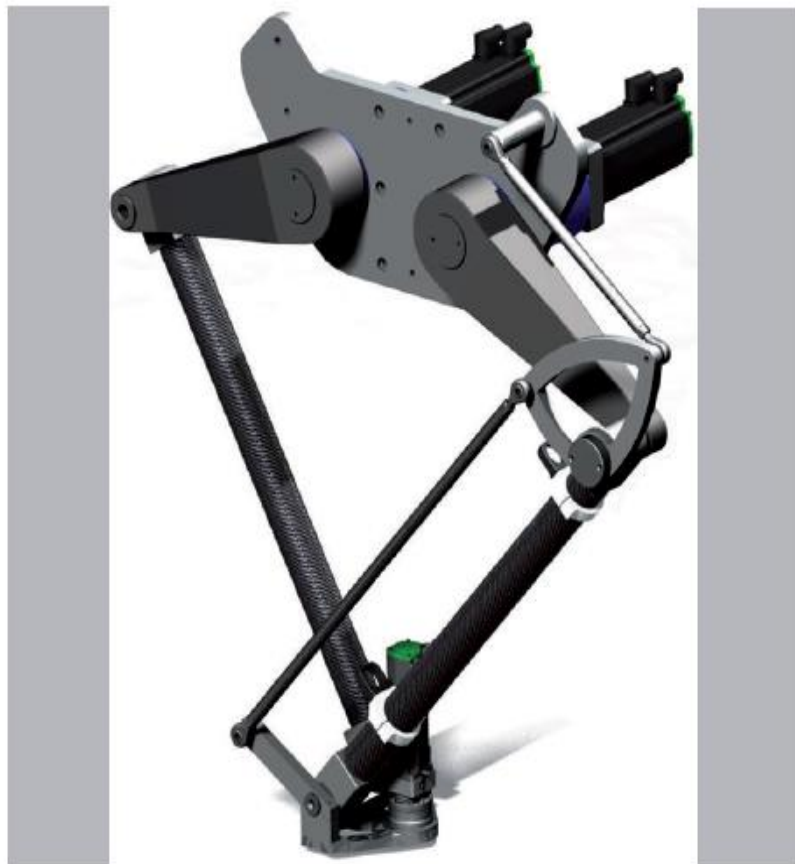


Figure 6-1: PacDrive Robot D2 model

EK B: Kinematik denklemlerin doğrulanması Matlab kodları.

```
%İki Sebestlik Dereceli Paralel Mekanizma Prototip
%      KÇÜ      Ünsal Dincer
%Denklemler ile Açılımların Hesabı ve Doğrulaması
%
clc
clear all
close all
format short

AreaTeta_2=0;
AreaTeta_1=0;
X=input('X eksenini değeri=')
Z=input('Z eksenini değeri=')

La=325; %Tahrik uzvu uzunluk(mm)
Lac=600;% Uzuv2-B ve Uzuv-1B uzvu uzunluk(mm)
ra=120; %Tahrik mafsalı sabit platform arası mesafe (mm)
rb=67; % Hareketli platform merkezi ve mafsal arası uzaklık (mm)
r=53; % r=ra-rb= 53

%Teta1 için 2. derece Sin(x) 1. kinematik denklemden ( İşaret )
if X~=53
se1=((X-r)^2+La^2+Z^2-Lac^2)/(2*(X-r)*La);
sf1=Z/(X-r);
else
    se1=((X-(r))^2+La^2+Z^2-Lac^2)/(2*(X-(r-0.001))*La);
sf1=Z/(X-(r-0.001));
end
sa1=1+sf1^2;
sb1=-2*se1*sf1;
sc1=se1^2-1;
sDelta1=sb1^2-(4*sa1*sc1);
sT11=(-sb1-sqrt(sDelta1))/(2*sa1);
sT12=(-sb1+sqrt(sDelta1))/(2*sa1);

%Teta2 için 2. derec Sin(x) 2. kinematik denklemden ( İşaret )
if X!=-53
se2=((X+r)^2+La^2+Z^2-Lac^2)/(2*(X+r)*La);
sf2=Z/(X+r);
else
    se2=((X+r)^2+La^2+Z^2-Lac^2)/(2*(X+(r-0.001))*La);
sf2=Z/(X+(r-0.001));
end
sa2=1+sf2^2;
sb2=-2*se2*sf2;
sc2=se2^2-1;
sDelta2=sb2^2-(4*sa2*sc2);
sT21=(-sb2-sqrt(sDelta2))/(2*sa2);
sT22=(-sb2+sqrt(sDelta2))/(2*sa2);

%Sin denklem Kökleri (İşaret için)
sTeta_11= round(asind(sT11)*10000)/10000; % sTeta1 kok1
sTeta_1= round(asind(sT12)*10000)/10000; % sTeta1 kok2
sTeta_21= round((asind(sT21)*10000))/10000; % sTeta2 kok1
sTeta_2= round(asind(sT22)*10000)/10000; % sTeta2 kok2

%Teta1 1. kinematik denklemden
e1=((X-r)^2+La^2+Z^2-Lac^2)/(2*Z*La);
```

```

f1=(X-r)/Z;
a1=1+f1^2;
b1=-2*e1*f1;
c1=e1^2-1;
Delta1=b1^2-(4*a1*c1);
T11=(-b1-sqrt(Delta1))/(2*a1);
T12=(-b1+sqrt(Delta1))/(2*a1);

%Teta2 2. kinematik denklemden
e2=((X+r)^2+La^2+Z^2-Lac^2)/(2*Z*La);
f2=(X+r)/Z;
a2=1+f2^2;
b2=2*e2*f2;
c2=e2^2-1;
Delta2=b2^2-(4*a2*c2);
T21=(-b2-sqrt(Delta2))/(2*a2);
T22=(-b2+sqrt(Delta2))/(2*a2);

%Cos denklem Kökleri (Korum)
Teta_11= round( acosd(T11)*10000)/10000; % Teta1 kok1
Teta_1= round(acosd(T12)*10000)/10000; % Teta1 kok2
Teta_21= round(acosd(T21)*10000)/10000; % Teta2 kok1
Teta_2= round(acosd(T22)*10000)/10000; % Teta2 kok2

%Mekanik Sınırlama Açılarının Hesabı
Teta_3=acosd((- (X-53)^2-Z^2+La^2+Lac^2)/(2*La*Lac));
Teta_4=acosd((- (X+53)^2-Z^2+La^2+Lac^2)/(2*La*Lac));

%Z>0 için Teta açıların işaretli bulunması
if X<53 && sTeta_1<0
    Teta_1=-1*Teta_1;
end
if X<53 && sTeta_1>=0
    Teta_1=1*Teta_1;
end
if X==53 && sTeta_1<0
    Teta_1=-1*Teta_1;
end
if X==53 && sTeta_1>0
    Teta_1=Teta_1;
end
if X>53 && sTeta_11<0
    Teta_1=-1*Teta_1;
end
if X>53 && sTeta_11>=0
    Teta_1=Teta_1;
end

if X>-53 && sTeta_2<0
    Teta_2=-1*Teta_2;
end
if X>-53 && sTeta_2>=0
    Teta_2=Teta_2;
end

if X==53 && sTeta_21<0
    Teta_2=-1*Teta_2;
end

```

```

end
if X==-53 && sTeta_21>0
    Teta_2=Teta_2
end
if X<-53 && sTeta_21<0
    Teta_2=-1*Teta_2
end
if X<-53 && sTeta_21>=0
    Teta_2=Teta_2
end
% Mekanik Sınırlama açılarının hesabı
Teta_5=180-Teta_3+Teta_1
Teta_6=180-Teta_4+Teta_2
%table(X,Z,Teta_1,Teta_11,Teta_3,Teta_2,Teta_21,Teta_4)
%table(X,Z,sTeta_1,sTeta_11,Teta_3,sTeta_2,sTeta_21,Teta_4)
table(X,Z,Teta_1,Teta_2,Teta_3,Teta_4,Teta_5,Teta_6)

```

EK C: İleri Kinematik Denklem Çözümleri.

```
%İleri Kinematik Çözümleri ve Kök Analiz.
%
cTeta_1=input('cTeta_1=');%Teta_1 (derece)
cTeta_2=input('cTeta_2=');%Teta_2 (derece)

a1=-325*cosd(cTeta_1);
if cTeta_1<0
b1=-325*sind(cTeta_1);
else
b1=-325*sqrt(1-(cosd(cTeta_1))^2);
end
c1=600;
d1=((c1*c1)+(106*a1)-(a1*a1)-(53*53)-(b1*b1));

a2=325*cosd(cTeta_2);
if cTeta_2<0
b2=-325*sind(cTeta_2);
else
b2=-325*sqrt(1-(cosd(cTeta_2))^2);
end

c2=600;
d2=c2*c2-(106*a2)-a2*a2-53*53-b2*b2;

t1=a1-a2-106;
t2=b1-b2;
t3=(d1-d2)/2;

p1=(1+((t2*t2)/(t1*t1)));
p2=((-2*t3*t2)/(t1*t1))-(2*a1*(t2/t1))+(106*(t2/t1))+(2*b1);
p3=((t3/t1)*(t3/t1))+(2*a1*(t3/t1))-(106*(t3/t1))-d1;
delta1=(p2*p2)-(4*p1*p3);
Zkok1=(-p2-sqrt(delta1))/(2*p1);
Zkok2=(-p2+sqrt(delta1))/(2*p1);
Xkok1=(t3/t1)-(t2/t1)*Zkok1;
Xkok2=(t3/t1)-(t2/t1)*Zkok2;

p21=(1+((t2*t2)/(t1*t1)));
p22=((-2*t3*t2)/(t1*t1))-(2*a2*(t2/t1))-(106*(t2/t1))+(2*b2);
p23=((t3/t1)*(t3/t1))+(2*a2*(t3/t1))+(106*(t3/t1))-d2;
delta21=(p22*p22)-(4*p21*p23);
Zkok21=(-p22-sqrt(delta21))/(2*p21);
Zkok22=(-p22+sqrt(delta21))/(2*p21);
Xkok21=(t3/t1)-(t2/t1)*Zkok21;
Xkok22=(t3/t1)-(t2/t1)*Zkok22;
%
table(Zkok1,Zkok2,Xkok1,Xkok2)
table(Zkok21,Zkok22,Xkok21,Xkok22)
```

EK D: Fiziksel sınırların gösteren Matlab kodları.

```
%İki Sebestlik Dereceli Paralel Mekanizma Prototip
%      KÇÜ      Ünsal Dincer
%+Z bölgesi & Mekanik Sınırlamalar

clc
clear all
close all
Workspace(2000,2000) = 0;
AA=0;
i=0;
j=0;
%X=388.87;
%Z=567.90;
for Z=0:1:999;% +Z Bölgesi
    i=i+1;
    for X=-999:1:999;% +-X Bölgesi;
        j=j+1;
La=325; %Tahrik uzvu uzunluk(mm)
Lac=600;% Uzuv2-B ve Uzuv-1B uzvu uzunluk(mm)
ra=120; %Tahrik mafsalı sabit platform arası mesafe (mm)
rb=67; % Hareketli platform merkezi ve mafsal arası uzaklık (mm)
r=53; % r=ra-rb= 53

%Teta1 için 2. derece Cos(x) 1. kinematik denklemden
e1=((X-r)^2+La^2+Z^2-Lac^2)/(2*Z*La);
f1=(X-r)/Z;
a1=1+f1^2;
b1=-2*e1*f1;
c1=e1^2-1;
Delta1=b1^2-(4*a1*c1);
T11=(-b1-sqrt(Delta1))/(2*a1);
T12=(-b1+sqrt(Delta1))/(2*a1);
%Teta2 için 2. derece Cos(x) 2. kinematik denklemden
e2=((X+r)^2+La^2+Z^2-Lac^2)/(2*Z*La);
f2=(X+r)/Z;
a2=1+f2^2;
b2=2*e2*f2;
c2=e2^2-1;
Delta2=b2^2-(4*a2*c2);
T21=(-b2-sqrt(Delta2))/(2*a2);
T22=(-b2+sqrt(Delta2))/(2*a2);

Teta_11= acosd(T11); % Teta1 kok1
Teta_21= acos(T21); % Teta2 kok1
Teta_1= acosd(T12); % Teta1 kok2
Teta_2= acosd(T22); % Teta2 kok2

%Teta1 için 2. derece Sin(x) denklem. (Teta_1'in İşareti için )
if X~=53
    se1=((X-r)^2+La^2+Z^2-Lac^2)/(2*(X-r)*La);
    sf1=Z/(X-r);
else
    se1=((X-(r))^2+La^2+Z^2-Lac^2)/(2*(X-(r-0.001))*La);
    sf1=Z/(X-(r-0.001));
end
sa1=1+sf1^2;
sb1=-2*se1*sf1;
sc1=se1^2-1;
sDelta1=sb1^2-(4*sa1*sc1);
```

```

sT11=(-sb1-sqrt(sDelta1))/(2*sa1);
sT12=(-sb1+sqrt(sDelta1))/(2*sa1);

%Teta2 için 2. derece Sin(x) denklemden ( Teta_2'in İşareti için )
if X~-53
se2=((X+r)^2+La^2+Z^2-Lac^2)/(2*(X+r)*La);
sf2=Z/(X+r);
else
    se2=((X+r)^2+La^2+Z^2-Lac^2)/(2*(X+(r-0.001))*La);
sf2=Z/(X+(r-0.001));
end
sa2=1+sf2^2;
sb2=-2*se2*sf2;
sc2=se2^2-1;
sDelta2=sb2^2-(4*sa2*sc2);
sT21=(-sb2-sqrt(sDelta2))/(2*sa2);
sT22=(-sb2+sqrt(sDelta2))/(2*sa2);

sTeta_11= asind(sT11); % sTeta1 Sin kok1
sTeta_1= asind(sT12); % sTeta1 Sin kok2
sTeta_21= asind(sT21); % sTeta2 Sin kok1
sTeta_2= asind(sT22); % sTeta2 Sin kok2

Workspace(i+1,1) = Z;
Workspace(1,j+1) = X;
WS=1;
%Sin denklemlerinden gelen işaretlerin Teta_1 ve Teta_2 ye
%eklentisi.
if X<53 && sTeta_1<0
    Teta_1=-1*Teta_1;
end
if X<53 && sTeta_1>=0
    Teta_1=1*Teta_1;
end
if X==53 && sTeta_1<0
    Teta_1=-1*Teta_1;
end
if X==53 && sTeta_1>0
    Teta_1=Teta_1;
end

if X>53 && sTeta_11<0
    Teta_1=-1*Teta_1;
end
if X>53 && sTeta_11>=0
    Teta_1=Teta_1;
end

if X>-53 && sTeta_2<0
    Teta_2=-1*Teta_2;
end
if X>-53 && sTeta_2>=0
    Teta_2=Teta_2;
end
if X==53 && sTeta_21<0
    Teta_2=-1*Teta_2;
end
if X==53 && sTeta_21>0
    Teta_2=Teta_2;
end

```

```

end

if X<-53 && sTeta_21<0
    Teta_2=-1*Teta_2;
end
if X<-53 && sTeta_21>=0
    Teta_2=Teta_2;
end

%Özdeş uzuvların mekanik sınırlar için iç açı hesapları
Teta_3=acosd((- (X-53)^2-Z^2+La^2+Lac^2)/(2*La*Lac));
Teta_4=acosd((- (X+53)^2-Z^2+La^2+Lac^2)/(2*La*Lac));
Teta_5=180-Teta_3+Teta_1;
Teta_6=180-Teta_4+Teta_2;

%Sınırlamalar.
if ((round(Teta_3*100^1)/100^1)==0 || (round(Teta_4*100^1)/10^1)==0
)%&&(Teta_1>0 || Teta_2>0)
AA=AA+1;
    WS1=1;
    hold on

plot(Workspace(1,j+1),Workspace(i+1,1),'b*')
elseif ((round(Teta_3*100^1)/100^1)==180 ||
(round(Teta_4*100^1)/100^1)==180)%&&(Teta_1>0 || Teta_2>0)
    WS1=1;
    hold on t

plot(Workspace(1,j+1),Workspace(i+1,1),'r*')
elseif ((round(Teta_5*100^1)/100^1)==71.5
|| (round(Teta_6*100^1)/100^1)==71.5)%&&(Teta_1>0 || Teta_2>0)
    WS1=1;
    hold on

plot(Workspace(1,j+1),Workspace(i+1,1),'g*')
elseif ((round(Teta_1*100^1)/100^1)==0
|| (round(Teta_2*100^1)/100^1)==0)
    WS1=1;
    hold on
    plot(Workspace(1,j+1),Workspace(i+1,1),'y*')
%V plakası - Paralel 1 arası açı < 180
elseif ((round(Teta_1*100^1)/100^1)== 120 )
    WS1=1;
    hold on
    plot(Workspace(1,j+1),Workspace(i+1,1),'k+')

else
    WS1=0;
    AA=AA+1;
end

end
j=0;
end

```

EK E: Mekanizmanın çalışma alanı Matlab kodları.

```
%iki Sebestlik Dereceli Paralel Mekanizma Prototip
%      KÇÜ      Ünsal Dincer
%Max Çalışma Alanı

clc
clear all
close all
AA=0;
i=0;
j=0;
%X=388.87;
%Z=567.90;
for Z=1:1:999;% +Z Bölgesi
    i=i+1;
    for X=-999:1:999;% +-X Bölgesi;
        j=j+1;
La=325; %Tahrik uzvu uzunluk(mm)
Lac=600;% UzuV2-B ve UzuV-1B uzvu uzunluk(mm)
ra=120; %Tahrik mafsali sabit platform arası mesafe (mm)
rb=67; % Hareketli platform merkezi ve mafsali arası uzaklık (mm)
r=53; % r=ra-rb= 53
%Teta1 için 2. derece Cos(x) 1. kinematik denklemden
e1=( (X-r)^2+La^2+Z^2-Lac^2)/(2*Z*La);
f1=(X-r)/Z;
a1=1+f1^2;
b1=-2*e1*f1;
c1=e1^2-1;
Delta1=b1^2-(4*a1*c1);
T11=(-b1-sqrt(Delta1))/(2*a1);
T12=(-b1+sqrt(Delta1))/(2*a1);
%Teta2 için 2. derece Cos(x) 2. kinematik denklemden
e2=( (X+r)^2+La^2+Z^2-Lac^2)/(2*Z*La);
f2=(X+r)/Z;
a2=1+f2^2;
b2=2*e2*f2;
c2=e2^2-1;
Delta2=b2^2-(4*a2*c2);
T21=(-b2-sqrt(Delta2))/(2*a2);
T22=(-b2+sqrt(Delta2))/(2*a2);

Teta_11= acosd(T11); % Teta1 kok1
Teta_21= acos(T21); % Teta2 kok1
Teta_1= acosd(T12); % Teta1 kok2
Teta_2= acosd(T22); % Teta2 kok2

%Teta1 için 2. derece Sin(x) denklem. (Teta_1'in İşareti için )
if X~=53
    se1=( (X-r)^2+La^2+Z^2-Lac^2)/(2*(X-r)*La);
    sf1=Z/(X-r);
else
    se1=( (X-(r))^2+La^2+Z^2-Lac^2)/(2*(X-(r-0.001))*La);
    sf1=Z/(X-(r-0.001));
end
sa1=1+sf1^2;
sb1=-2*se1*sf1;
sc1=se1^2-1;
sDelta1=sb1^2-(4*sa1*sc1);
```



```

sT11=(-sb1-sqrt(sDelta1))/(2*sa1);
sT12=(-sb1+sqrt(sDelta1))/(2*sa1);

%Teta2 için 2. derece Sin(x) denklemden ( Teta_2'in İşareti için )
if X~-53
se2=((X+r)^2+La^2+Z^2-Lac^2)/(2*(X+r)*La);
sf2=Z/(X+r);
else
se2=((X+r)^2+La^2+Z^2-Lac^2)/(2*(X+(r-0.001))*La);
sf2=Z/(X+(r-0.001));
end
sa2=1+sf2^2;
sb2=-2*se2*sf2;
sc2=se2^2-1;
sDelta2=sb2^2-(4*sa2*sc2);
sT21=(-sb2-sqrt(sDelta2))/(2*sa2);
sT22=(-sb2+sqrt(sDelta2))/(2*sa2);

sTeta_11= asind(sT11); % sTeta1 Sin kok1
sTeta_1= asind(sT12); % sTeta1 Sin kok2
sTeta_21= asind(sT21); % sTeta2 Sin kok1
sTeta_2= asind(sT22); % sTeta2 Sin kok2

WSM(i+1,1) = Z;
WSM(1,j+1) = X;
WSMTeta_1(i+1,1) = Z;
WSMTeta_1(1,j+1) = X;
WSMTeta_2(i+1,1) = Z;
WSMTeta_2(1,j+1) = X;
WSMsTeta_1(i+1,1) = Z;
WSMsTeta_1(1,j+1) = X;
WSMsTeta_11(i+1,1) = Z;
WSMsTeta_11(1,j+1) = X;
WSMsTeta_2(i+1,1) = Z;
WSMsTeta_2(1,j+1) = X;
WSMsTeta_21(i+1,1) = Z;
WSMsTeta_21(1,j+1) = X;
WS=1;

%Sin denklemlerinden gelen işaretlerin Teta_1 ve Teta_2 ye
eklentisi.
if X<53 && sTeta_1<0
Teta_1=-1*Teta_1;
end
if X<53 && sTeta_1>=0
Teta_1=1*Teta_1;
end
if X==53 && sTeta_1<0
Teta_1=-1*Teta_1;
end
if X==53 && sTeta_1>0
Teta_1=Teta_1;
end

if X>53 && sTeta_11<0
Teta_1=-1*Teta_1;
end
if X>53 && sTeta_11>=0

```

```

Teta_1=Teta_1;
end

if X>-53 && sTeta_2<0
    Teta_2=-1*Teta_2;
end
if X>-53 && sTeta_2>=0
    Teta_2=Teta_2;
end
if X== -53 && sTeta_21<0
    Teta_2=-1*Teta_2;
end
if X== -53 && sTeta_21>0
    Teta_2=Teta_2;
end

if X<-53 && sTeta_21<0
    Teta_2=-1*Teta_2;
end
if X<-53 && sTeta_21>=0
    Teta_2=Teta_2;
end

%Özdeş uzuvların mekanik sınırlar için iç açı hesapları
Teta_3=acosd((- (X-53)^2-Z^2+La^2+Lac^2)/(2*La*Lac));
Teta_4=acosd((- (X+53)^2-Z^2+La^2+Lac^2)/(2*La*Lac));
Teta_5=180-Teta_3+Teta_1;
Teta_6=180-Teta_4+Teta_2;

if ((imag(sTeta_21)~=0) || (imag(sTeta_11)~=0) || (imag(sTeta_2)~=0)
|| (imag(sTeta_1)~=0) || (imag(Teta_2)~=0) || (imag(Teta_1)~=0) ||
Teta_3>179 || Teta_4>179 || Teta_5<71.5 || Teta_6<71.5 ||
Teta_1<=0 || Teta_2<=0)

AA=AA+1;
    WS=0;
else
    WS=1;
    AA=AA+1;

    %hold on % Çizim lmm Hassasiyet

    %plot(Workspace(1,j+1),Workspace(i+1,1),'k.')

end

%köklerinin Kompleks olduğu bölgeleri görme
if (imag(Teta_1)~=0)
    WSMTeta_1(i+1,j+1)=0;
else
    WSMTeta_1(i+1,j+1)=Teta_1;
end

if (imag(Teta_11)~=0)
    WSMTeta_11(i+1,j+1)=0;
else

```

```

    WSMsTeta_11(i+1,j+1)=1;
end

if (imag(Teta_2)~=0)
WSMsTeta_2(i+1,j+1)=0;
else
    WSMsTeta_2(i+1,j+1)=1;
end
if (imag(Teta_21)~=0)
WSMsTeta_21(i+1,j+1)=0;
else
    WSMsTeta_21(i+1,j+1)=1;
end

if sTeta_1<0 || (imag(sTeta_1)~=0)
WSMsTeta_1(i+1,j+1)=0;
else
    WSMsTeta_1(i+1,j+1)=1;
end
if sTeta_11<0 || (imag(sTeta_11)~=0)
WSMsTeta_11(i+1,j+1)=0;
else
    WSMsTeta_11(i+1,j+1)=1;
end
if sTeta_2<0 || (imag(sTeta_2)~=0)
WSMsTeta_2(i+1,j+1)=0;
else
    WSMsTeta_2(i+1,j+1)=1;
end
if sTeta_21<0 || (imag(sTeta_21)~=0)
WSMsTeta_21(i+1,j+1)=0;
else
    WSMsTeta_21(i+1,j+1)=1;
end

Workspace(i,j)=WS; %Workspace
WSM1(i,j)=WS;

    end
    j=j+1;
end
spy(Workspace)

```

EK F: Bezier eğrileri yörünge planlama Matlab kodları.

```
%Bezier Eğrisi - Yörünge Planlama
%Ünsal Dincer.
clc
clear all
close all
Z(1000)=1;
X_0=0;
Z_0=466.6;
p0 = 0;
pf = 0;
tat(1,1)=0;
c=0;
d=0;
axis ij
xlim([-400 400]);
ylim([600 850]);
grid on
grid minor
Hedef_konum_N=input('Hedef Konum Sayısı(Başlangıç Hariç) =');
X_d=input('Baslangic X=');
Z_d=input('Baslangic Z=');
plot(X_d,Z_d,'r>')
axis ij
xlim([-400 400]);
ylim([600 850]);
grid on
grid minor
say=0;
strmin = [' ',num2str(say),'(',num2str(X_d),',',num2str(Z_d),')'];
text((X_d+10),(Z_d+5),strmin,'HorizontalAlignment','left');

tat(1,1)=X_d;
tat(1,2)=Z_d;
tat_spline(1,1)=X_d;
tat_spline(1,2)=Z_d;
tat_spline(1,5)=0;
%%%%%%
La=325;
Lac=600;
ra=120;
rb=67; % r=ra-rb= 53
r=53;
X=X_d;
Z=Z_d;
%Teta1 için 2. derec Sin(x) 1. kinematik denklemden ( İşaret )
if X~=53
sel=((X-r)^2+La^2+Z^2-Lac^2)/(2*(X-r)*La);
sf1=Z/(X-r);
else
sel=((X-(r))^2+La^2+Z^2-Lac^2)/(2*(X-(r-0.001))*La);
sf1=Z/(X-(r-0.001));
end
sa1=1+sf1^2;
sb1=-2*sel*sf1;
sc1=sel^2-1;
sDelta1=sb1^2-(4*sa1*sc1);
sT11=(-sb1-sqrt(sDelta1))/(2*sa1);
sT12=(-sb1+sqrt(sDelta1))/(2*sa1);
```

```

%Teta2 için 2. derec Sin(x) 2. kinematik denklemden ( İşaret )
if X~-=-53
se2=(( (X+r)^2+La^2+Z^2-Lac^2)/(2*(X+r)*La));
sf2=Z/(X+r);
else
    se2=(( (X+r)^2+La^2+Z^2-Lac^2)/(2*(X+(r-0.001))*La));
sf2=Z/(X+(r-0.001));
end
sa2=1+sf2^2;
sb2=-2*se2*sf2;
sc2=se2^2-1;
sDelta2=sb2^2-(4*sa2*sc2);
sT21=(-sb2-sqrt(sDelta2))/(2*sa2);
sT22=(-sb2+sqrt(sDelta2))/(2*sa2);

sTeta_11= round(asind(sT11)*10000)/10000; % Teta1 kok1
sTeta_1= round(asind(sT12)*10000)/10000; % Teta1 kok2

sTeta_21= round((asind(sT21)*10000))/10000; % Teta2 kok1
sTeta_2= round(asind(sT22)*10000)/10000; % Teta2 kok2

%Teta1 1. kinematik denklemden
e1=(( (X-r)^2+La^2+Z^2-Lac^2)/(2*Z*La);
f1=(X-r)/Z;
a1=1+f1^2;
b1=-2*e1*f1;
c1=e1^2-1;
Delta1=b1^2-(4*a1*c1);
T11=(-b1-sqrt(Delta1))/(2*a1);
T12=(-b1+sqrt(Delta1))/(2*a1);

%Teta2 2. kinematik denklemden
e2=(( (X+r)^2+La^2+Z^2-Lac^2)/(2*Z*La);
f2=(X+r)/Z;
a2=1+f2^2;
b2=2*e2*f2;
c2=e2^2-1;
Delta2=b2^2-(4*a2*c2);
T21=(-b2-sqrt(Delta2))/(2*a2);
T22=(-b2+sqrt(Delta2))/(2*a2);

Teta_11= round( acosd(T11)*10000)/10000; % Teta1 kok1
Teta_1= round(acosd(T12)*10000)/10000; % Teta1 kok2

Teta_21= round(acosd(T21)*10000)/10000; % Teta2 kok1
Teta_2= round(acosd(T22)*10000)/10000; % Teta2 kok2

%Mekanik Sınırlama Açılarının Hesabı
Teta_3=acosd((- (X-53)^2-Z^2+La^2+Lac^2)/(2*La*Lac));
Teta_4=acosd((- (X+53)^2-Z^2+La^2+Lac^2)/(2*La*Lac));

```

```

%Z>0 için Teta açılarının işaretli bulunması
if X<53 && sTeta_1<0
    Teta_1=-1*Teta_1;
end
if X<53 && sTeta_1>=0
    Teta_1=1*Teta_1;
end
if X==53 && sTeta_1<0
    Teta_1=-1*Teta_1;
end
if X==53 && sTeta_1>0
    Teta_1=Teta_1;
end
if X>53 && sTeta_11<0
    Teta_1=-1*Teta_1;
end
if X>53 && sTeta_11>=0
    Teta_1=Teta_1;
end

if X>-53 && sTeta_2<0
    Teta_2=-1*Teta_2;
end
if X>-53 && sTeta_2>=0
    Teta_2=Teta_2;
end

if X==53 && sTeta_21<0
    Teta_2=-1*Teta_2;
end
if X==53 && sTeta_21>0
    Teta_2=Teta_2;
end
if X<-53 && sTeta_21<0
    Teta_2=-1*Teta_2;
end
if X<-53 && sTeta_21>=0
    Teta_2=Teta_2;
end
end
tat(1,3)=Teta_1;
tat(1,4)=Teta_2;
tat_spline(1,3)=Teta_1;
tat_spline(1,4)=Teta_2;
%%%%%%
t_dur=0;
t_dest=1;

format short
i=1;
k=1;
AreaTeta_2=0;
AreaTeta_1=0;
%X=input('X eksenini değeri=')
%Z=input('Z eksenini değeri=')
for j=0:1:Hedef_konum_N-1
    disp('X ve Z konumu=');
    disp(X_d);
end

```

```

disp(Z_d);

X_d=input('Nokta X=');
if X_d>350 ||X_d<-350
    msgbox('Çalışma uzayınız X de +350/-350 aralığında olmalı')
    X_d=input('Tekrarlama.Bitiş X=');
end
Z_d=input('Nokta Z=');
if Z_d>825 || Z_d<605
    msgbox('Çalışma uzayınız Z de 605/825 aralığında olmalı')
    Z_d=input('Tekrarlama.,Bitiş Z=');
end
%T_d=input('Bitiş Zaman t(sn)=');
%%%%
%%%%
La=325;
Lac=600;
ra=120;
rb=67; % r=ra-rb= 53
r=53;
X=X_d;
Z=Z_d;
hold on
axis ij
xlim([-400 400]);
ylim([600 850]);
grid on
grid minor
plot(X_d,Z_d,'r>')
say=say+1;
strmin = [num2str(say), '(', num2str(X_d), '/', num2str(Z_d), ')'];
text((X_d+10), (Z_d+5), strmin, 'HorizontalAlignment', 'left');
%Teta1 için 2. derec Sin(x) 1. kinematik denklemden ( İşaret )
if X~=53
se1=((X-r)^2+La^2+Z^2-Lac^2)/(2*(X-r)*La);
sf1=Z/(X-r);
else
    se1=((X-(r))^2+La^2+Z^2-Lac^2)/(2*(X-(r-0.001))*La);
sf1=Z/(X-(r-0.001));
end
sa1=1+sf1^2;
sb1=-2*se1*sf1;
sc1=se1^2-1;
sDelta1=sb1^2-(4*sa1*sc1);
sT11=(-sb1-sqrt(sDelta1))/(2*sa1);
sT12=(-sb1+sqrt(sDelta1))/(2*sa1);

%Teta2 için 2. derec Sin(x) 2. kinematik denklemden ( İşaret )
if X==53
se2=((X+r)^2+La^2+Z^2-Lac^2)/(2*(X+r)*La);
sf2=Z/(X+r);
else
    se2=((X+r)^2+La^2+Z^2-Lac^2)/(2*(X+(r-0.001))*La);
sf2=Z/(X+(r-0.001));
end
sa2=1+sf2^2;
sb2=-2*se2*sf2;
sc2=se2^2-1;
sDelta2=sb2^2-(4*sa2*sc2);
sT21=(-sb2-sqrt(sDelta2))/(2*sa2);

```

```

sT22=(-sb2+sqrt(sDelta2))/(2*sa2);

sTeta_11= round(asind(sT11)*10000)/10000; % Teta1 kok1
sTeta_1= round(asind(sT12)*10000)/10000; % Teta1 kok2

sTeta_21= round((asind(sT21)*10000))/10000; % Teta2 kok1
sTeta_2= round(asind(sT22)*10000)/10000; % Teta2 kok2

%Teta1 1. kinematik denklemden
e1=((X-r)^2+La^2+Z^2-Lac^2)/(2*Z*La);
f1=(X-r)/Z;
a1=1+f1^2;
b1=-2*e1*f1;
c1=e1^2-1;
Delta1=b1^2-(4*a1*c1);
T11=(-b1-sqrt(Delta1))/(2*a1);
T12=(-b1+sqrt(Delta1))/(2*a1);

%Teta2 2. kinematik denklemden
e2=((X+r)^2+La^2+Z^2-Lac^2)/(2*Z*La);
f2=(X+r)/Z;
a2=1+f2^2;
b2=2*e2*f2;
c2=e2^2-1;
Delta2=b2^2-(4*a2*c2);
T21=(-b2-sqrt(Delta2))/(2*a2);
T22=(-b2+sqrt(Delta2))/(2*a2);

Teta_11= round( acosd(T11)*10000)/10000; % Teta1 kok1
Teta_1= round(acosd(T12)*10000)/10000; % Teta1 kok2

Teta_21= round(acosd(T21)*10000)/10000; % Teta2 kok1

Teta_2= round(acosd(T22)*10000)/10000; % Teta2 kok2

%Mekanik Sınırlama Açılarının Hesabı
Teta_3=acosd((- (X-53)^2-Z^2+La^2+Lac^2)/(2*La*Lac));
Teta_4=acosd((- (X+53)^2-Z^2+La^2+Lac^2)/(2*La*Lac));

%Z>0 için Teta açıların işaretli bulunması
if X<53 && sTeta_1<0
    Teta_1=-1*Teta_1;
end
if X<53 && sTeta_1>=0
    Teta_1=1*Teta_1;
end
if X==53 && sTeta_1<0
    Teta_1=-1*Teta_1;
end
if X==53 && sTeta_1>0
    Teta_1=Teta_1;
end
if X>53 && sTeta_11<0
    Teta_1=-1*Teta_1;
end
if X>53 && sTeta_11>=0

```



```

Teta_1=Teta_1;
end

if X>-53 && sTeta_2<0
    Teta_2=-1*Teta_2;
end
if X>-53 && sTeta_2>=0
    Teta_2=Teta_2;
end

if X== -53 && sTeta_21<0
    Teta_2=-1*Teta_2;
end
if X== -53 && sTeta_21>0
    Teta_2=Teta_2;
end
if X<-53 && sTeta_21<0
    Teta_2=-1*Teta_2;
end
if X<-53 && sTeta_21>=0
    Teta_2=Teta_2;
end
end
% Mekanik Sınırlama açılarının hesabı
Teta_5=180-Teta_3+Teta_1;
Teta_6=180-Teta_4+Teta_2;

tat(i,1)=X;
tat(i,2)=Z;

tat(i,3)=Teta_1;
tat(i,4)=Teta_2;

k=k+1;
tat_spline(k,1)=X_d;
tat_spline(k,2)=Z_d;
tat_spline(k,3)=Teta_1;
tat_spline(k,4)=Teta_2;

end

h=0;%%%%%%%%%%%%%
n=1;
s=0;%%%%%%%%%%%%%

step=0;

e1=0.25;%10
e2=1.5;
e3=0.25;%bitiş rampası
tr1=0.2;%limit
tr2=0.8;%limit
t_s=0;
t_x=0;
Olcum_Hassasiyet=0.0055555554;%Zaman sn =(1/360)*2
r_ramp_val=Olcum_Hassasiyet/Hedef_konum_N;%Zaman sn =(1/360)

```

```

%Zaman sn =(1/360), (360 derece/(360 derece/sn) hız)
for t_ramp=0:r_ramp_val:1

step1=2;%%%%%%%%%%
h=h+1; %20
    s=s+1;

    %%%Yumuşak kalkış - duruş için seçilen kübik fonksiyon.

a2 = (3/1);
a3 = -(2/(1));
%step =t_ramp;
step = a2*((t_ramp)^(2)) + a3*((t_ramp)^(3));
    %t=t_ramp;
    step1=step1+step;
tt(1,h)=step1;

if Hedef_konum_N==2
Poz_11(1,h)=...
    1 *(step^0)*((1-step)^2)*tat_spline(n,3)...
    + 2 *(step^1)*((1-step)^1)*tat_spline(n+1,3)...
    + 1 *(step^2)*((1-step)^0)*tat_spline(n+2,3);
Poz_21(1,s)=...
    1 *(step^0)*((1-step)^2)*tat_spline(n,4)...
    + 2 *(step^1)*((1-step)^1)*tat_spline(n+1,4)...
    + 1 *(step^2)*((1-step)^0)*tat_spline(n+2,4);

End
% 1. Türevler. Hız
Hiz_11t(1,h)=2*tat_spline(n,3)*(1+2*step*step*step-
3*step*step)*(6*step*step-6*step)...
    +2*tat_spline(n+1,3)*(6*step*step-6*step)*(-
2*step*step*step+3*step*step)...
    +2*tat_spline(n+1,3)*(1+2*step*step*step-3*step*step)*(-
6*step*step+6*step)...
    +2*tat_spline(n+2,3)*(-6*step*step+6*step)*(-
2*step*step*step+3*step*step);

Hiz_21t(1,h)=2*tat_spline(n,4)*(1+2*step*step*step-
3*step*step)*(6*step*step-6*step)...
    +2*tat_spline(n+1,4)*(6*step*step-6*step)*(-
2*step*step*step+3*step*step)...
    +2*tat_spline(n+1,4)*(1+2*step*step*step-3*step*step)*(-
6*step*step+6*step)...
    +2*tat_spline(n+2,4)*(-6*step*step+6*step)*(-
2*step*step*step+3*step*step);

% 2. Türevler. Ivme
Ivme_11t(1,h)=2*tat_spline(n,3)*((6*step*step-6*step)*(6*step*step-
6*step)+(12*step-6)*(1+2*step*step*step-3*step*step))...
    +2*tat_spline(n+1,3)*((12*step-6)*(-
2*step*step*step+3*step*step)+(-6*step*step+6*step)*(6*step*step-
6*step))...
    +2*tat_spline(n+1,3)*((6*step*step-6*step)*(-
6*step*step+6*step)+(1+2*step*step*step-3*step*step)*(-
12*step+6))...
    +2*tat_spline(n+2,3)*((-6*step*step+6*step)*(-
6*step*step+6*step)+(-2*step*step*step+3*step*step)*(-12*step+6));

```

```

Ivme_21t(1,h)=2*tat_spline(n,4)*((6*step*step-6*step)*(6*step*step-
6*step)+(12*step-6)*(1+2*step*step*step-3*step*step))...
+2*tat_spline(n+1,4)*( (12*step-6)*(-
2*step*step*step+3*step*step)+(-6*step*step+6*step)*(6*step*step-
6*step))...
+2*tat_spline(n+1,4)* ( (6*step*step-6*step)*(-
6*step*step+6*step)+(1+2*step*step*step-3*step*step)*(-
12*step+6))...
+2*tat_spline(n+2,4)*( (-6*step*step+6*step)*(-
6*step*step+6*step)+(-2*step*step*step+3*step*step)*(-12*step+6));

```

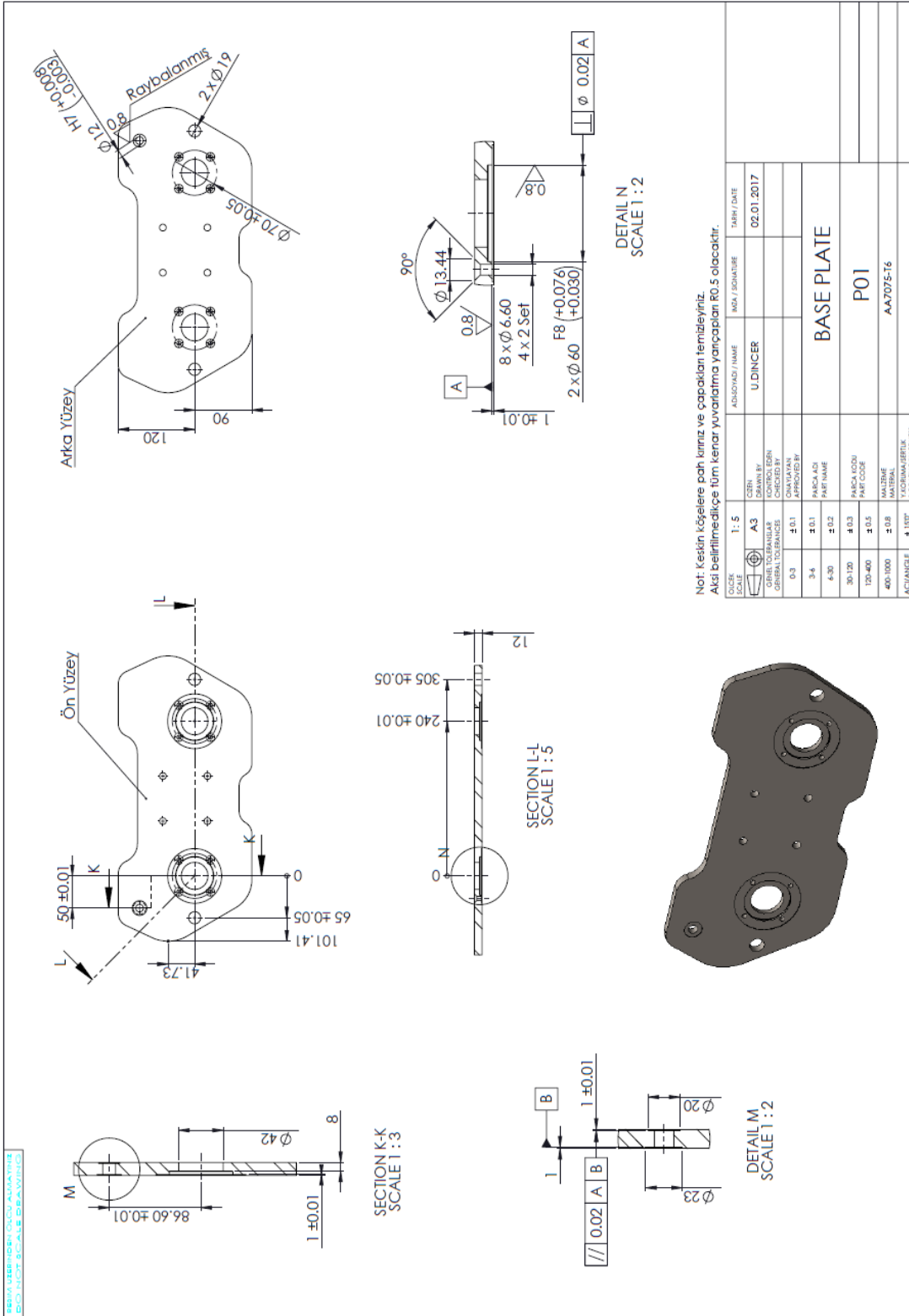
```

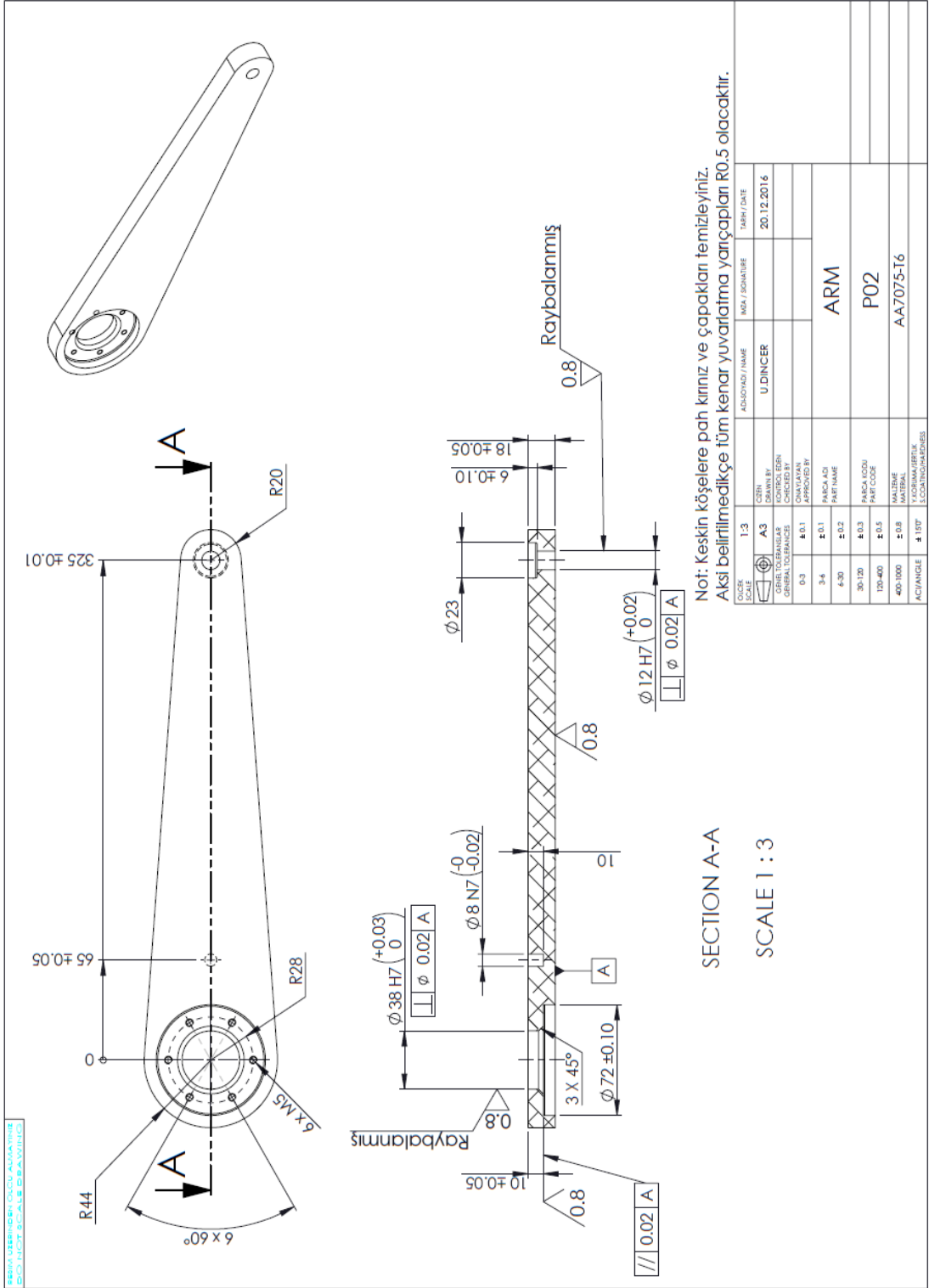
if Hedef_konum_N==10
Poz_11(1,h)=...
1 *(step^0)*((1-step)^10)*tat_spline(n,1)...
+ 10 *(step^1)*((1-step)^9)*tat_spline(n+1,1)...
+ 45 *(step^2)*((1-step)^8)*tat_spline(n+2,1)...
+ 120*(step^3)*((1-step)^7)*tat_spline(n+3,1)...
+ 210*(step^4)*((1-step)^6)*tat_spline(n+4,1)...
+ 252*(step^5)*((1-step)^5)*tat_spline(n+5,1)...
+ 210*(step^6)*((1-step)^4)*tat_spline(n+6,1)...
+ 120*(step^7)*((1-step)^3)*tat_spline(n+7,1)...
+ 45 *(step^8)*((1-step)^2)*tat_spline(n+8,1)...
+ 10 *(step^9)*((1-step)^1)*tat_spline(n+9,1)...
+ 1 *(step^10)*((1-step)^0)*tat_spline(n+10,1);
Poz_21(1,s)=...
1 *(step^0)*((1-step)^10)*tat_spline(n,2)...
+ 10 *(step^1)*((1-step)^9)*tat_spline(n+1,2)...
+ 45 *(step^2)*((1-step)^8)*tat_spline(n+2,2)...
+ 120*(step^3)*((1-step)^7)*tat_spline(n+3,2)...
+ 210*(step^4)*((1-step)^6)*tat_spline(n+4,2)...
+ 252*(step^5)*((1-step)^5)*tat_spline(n+5,2)...
+ 210*(step^6)*((1-step)^4)*tat_spline(n+6,2)...
+ 120*(step^7)*((1-step)^3)*tat_spline(n+7,2)...
+ 45 *(step^8)*((1-step)^2)*tat_spline(n+8,2)...
+ 10 *(step^9)*((1-step)^1)*tat_spline(n+9,2)...
+ 1 *(step^10)*((1-step)^0)*tat_spline(n+10,2);
end

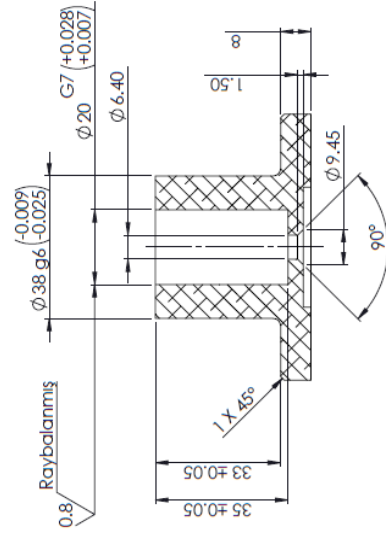
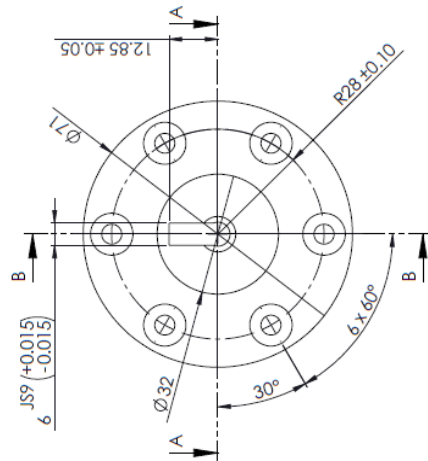
end

```

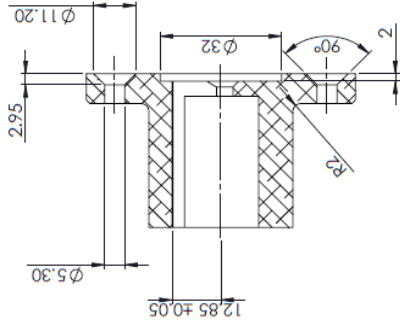
EK G: Mekanizmanın teknik çizimleri.



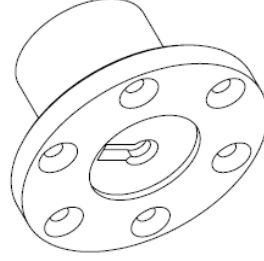




SECTION A-A

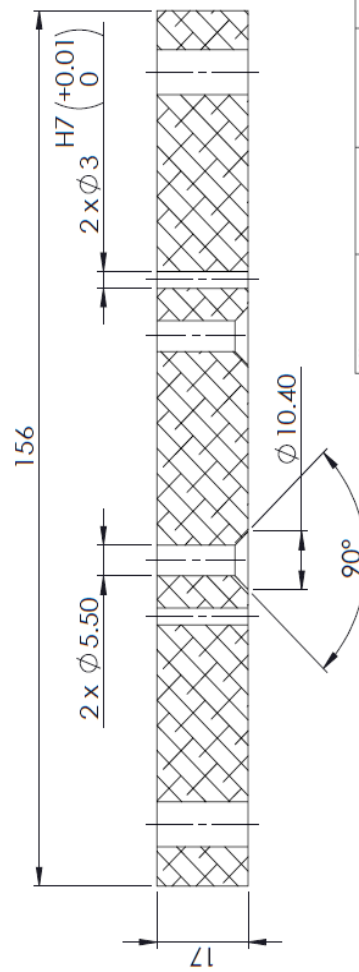
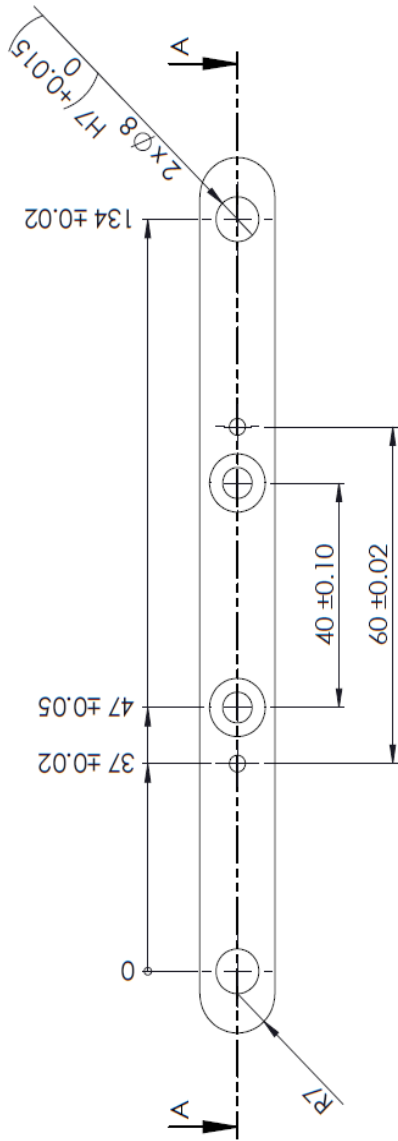


SECTION B-B



ÇİZİM SCALE	1:1	ADISYAD / İSİM	U.DINCER	MOK / İMZA	02.01.2017
GENEL TOLERANSLAR	A3	KONTROL EDEN			
GENEL TOLERANSLAR	0-3	YAPILAN KONTROL			
0-3	± 0.1	YAPILAN KONTROL			
3-4	± 0.1	PARÇAYA İSİM	HUB		
4-30	± 0.2	PARÇAYA İSİM	P04		
30-100	± 0.3	MALİME KODU	AS11050		
100-400	± 0.5	MALİME KODU			
400-1000	± 0.8	MALİME KODU			
1000-4000	± 1.0	MALİME KODU			
4000-10000	± 1.5	MALİME KODU			
10000-40000	± 2.0	MALİME KODU			
40000-100000	± 3.0	MALİME KODU			
100000-400000	± 4.0	MALİME KODU			
400000-1000000	± 5.0	MALİME KODU			
1000000-4000000	± 6.0	MALİME KODU			
4000000-10000000	± 7.0	MALİME KODU			
10000000-40000000	± 8.0	MALİME KODU			
40000000-100000000	± 9.0	MALİME KODU			
100000000-400000000	± 10.0	MALİME KODU			
400000000-1000000000	± 11.0	MALİME KODU			
1000000000-4000000000	± 12.0	MALİME KODU			
4000000000-10000000000	± 13.0	MALİME KODU			
10000000000-40000000000	± 14.0	MALİME KODU			
40000000000-100000000000	± 15.0	MALİME KODU			
100000000000-400000000000	± 16.0	MALİME KODU			
400000000000-1000000000000	± 17.0	MALİME KODU			
1000000000000-4000000000000	± 18.0	MALİME KODU			
4000000000000-10000000000000	± 19.0	MALİME KODU			
10000000000000-40000000000000	± 20.0	MALİME KODU			
40000000000000-100000000000000	± 21.0	MALİME KODU			
100000000000000-400000000000000	± 22.0	MALİME KODU			
400000000000000-1000000000000000	± 23.0	MALİME KODU			
1000000000000000-4000000000000000	± 24.0	MALİME KODU			
4000000000000000-10000000000000000	± 25.0	MALİME KODU			
10000000000000000-40000000000000000	± 26.0	MALİME KODU			
40000000000000000-100000000000000000	± 27.0	MALİME KODU			
100000000000000000-400000000000000000	± 28.0	MALİME KODU			
400000000000000000-1000000000000000000	± 29.0	MALİME KODU			
1000000000000000000-4000000000000000000	± 30.0	MALİME KODU			

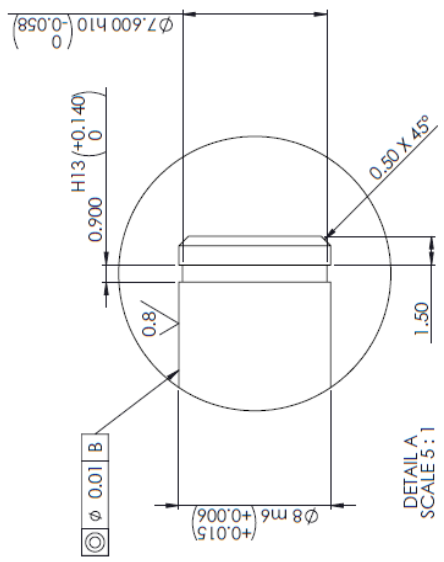
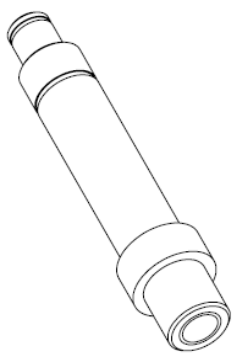
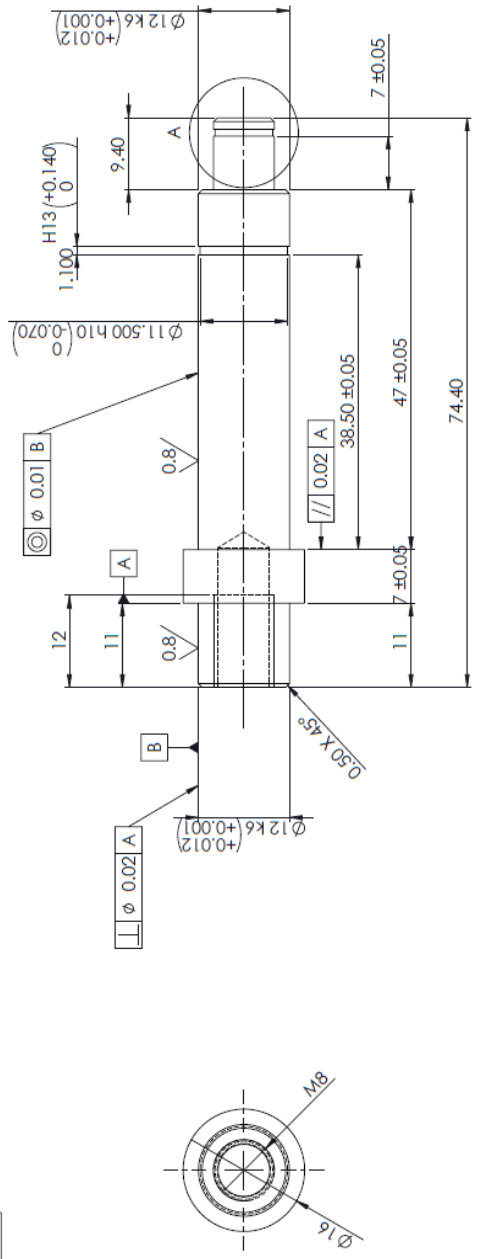
BEKİM ÜZERİNDEKİ ÖLÇÜ ALMAYINIZ
DO NOT SCALE DRAWING



SECTION A-A
SCALE 1 : 1

ÖLÇEK / SCALE	1:1	ADYONUZ / NAME	U DINCER	İMZA / SIGNATURE	TARİH / DATE
GENEL TOLERANSLAR / GENERAL TOLERANCES	A4	KONTROL EDEN / CHECKED BY			20.12.2016
0-3	0.1	ONAY / APPROVED BY			
3-6	0.1	PARÇA ADI / PART NAME	END EFFECTOR_1		
6-30	0.2	PARÇA KODU / PART CODE	P05		
30-120	0.3	YERLEŞTİRME MALZEMESİ / MOUNTING MATERIAL	AA 7075-T6		
120-400	0.5	ACTUANGLE	130°		
400-1000	0.8				
1000-10000	1.2				

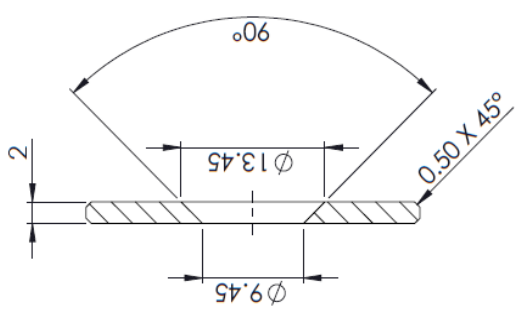
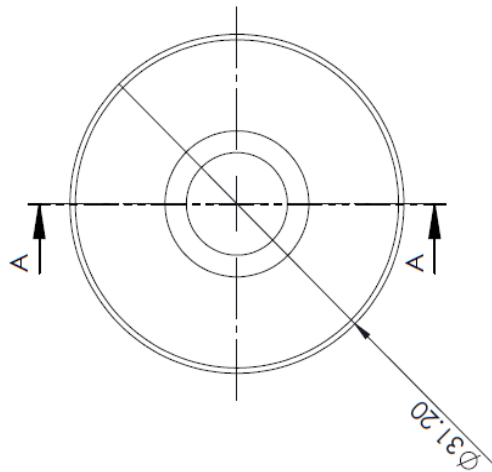
PERBAI MARIHIN CALO ALMAYINE
 2017/10/07 SCALE 5:1



DETAIL A
 SCALE 5:1

QUICK SCALE	1:1	ADDITIONS / NAME	MDA / SIGNATURE	DATE / DATE
SCALE	A3	DRAWN BY	U DINCER	02.01.2017
GENE TOLERANS	0.3	CONTROL EDIN		
GENE TOLERANS	0.3	CHECKED BY		
GENE TOLERANS	0.3	APPROVED BY		
GENE TOLERANS	0.3	PART NAME	Arm_Pin_L	
GENE TOLERANS	0.3	PART CODE	P09	
GENE TOLERANS	0.3	MATERIAL	16MnCr5	
GENE TOLERANS	0.3	ACFINANCE		

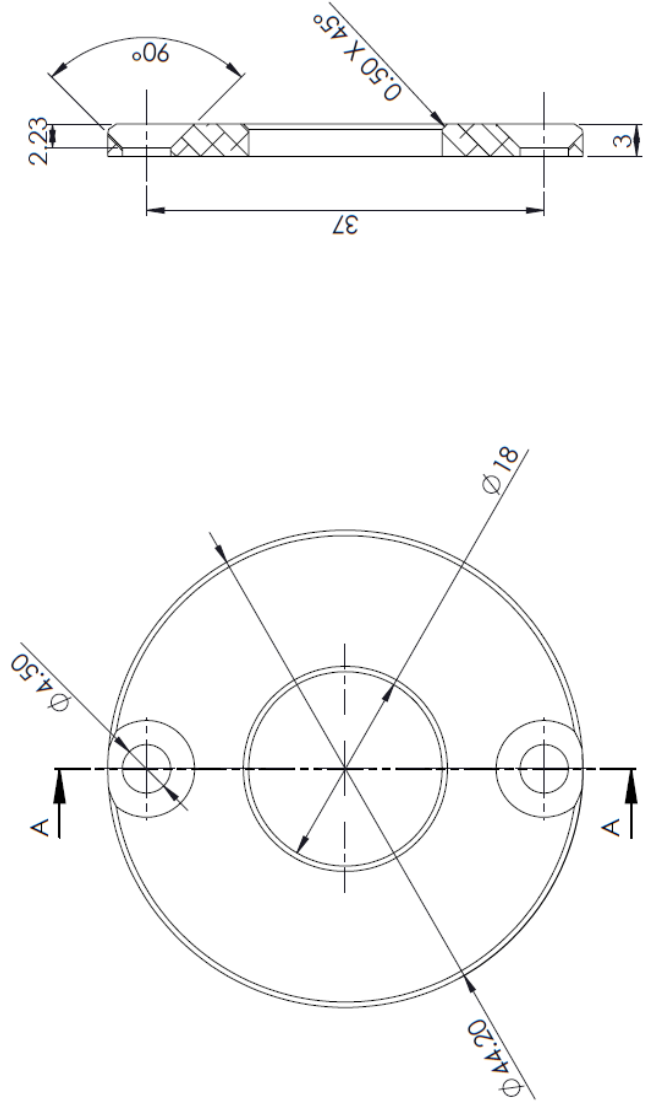
REMI TERBEBERHAKU ANDAHNIR
DO NOT SCALE DRAWING



SECTION A-A

DOKUMEN SKALA 2:1	DESAIN DIBAWA OLEH A4	KONTROL UJI GEBEL TOEBANJAR GEBEL TOLERANSI 0-3 ±0.1 3-4 ±0.1 4-30 ±0.2 30-120 ±0.3 120-400 ±0.5 400-1000 ±0.8 AC/ANGLE ± 15°	ADISONO/NO/NAME U DINCER	TARIKH/DATE 20.12.2016
PART NAME Arm Washer		PART CODE P13		
MATERIAL AA 7075-T6		Y.KORUMAS/BERUK L.COAT/HAARDNESS		

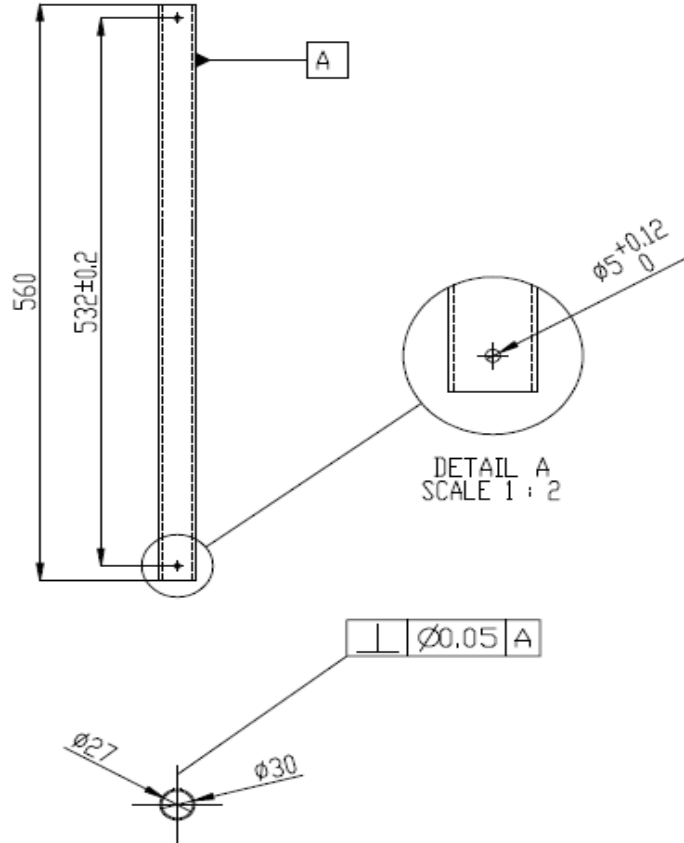
ŞİŞİNE ÜZERİNDEN YOKLAMA AVANTAJI
BİRİNCİ ÖLÇEK ÇİZİMİ



SECTION A-A

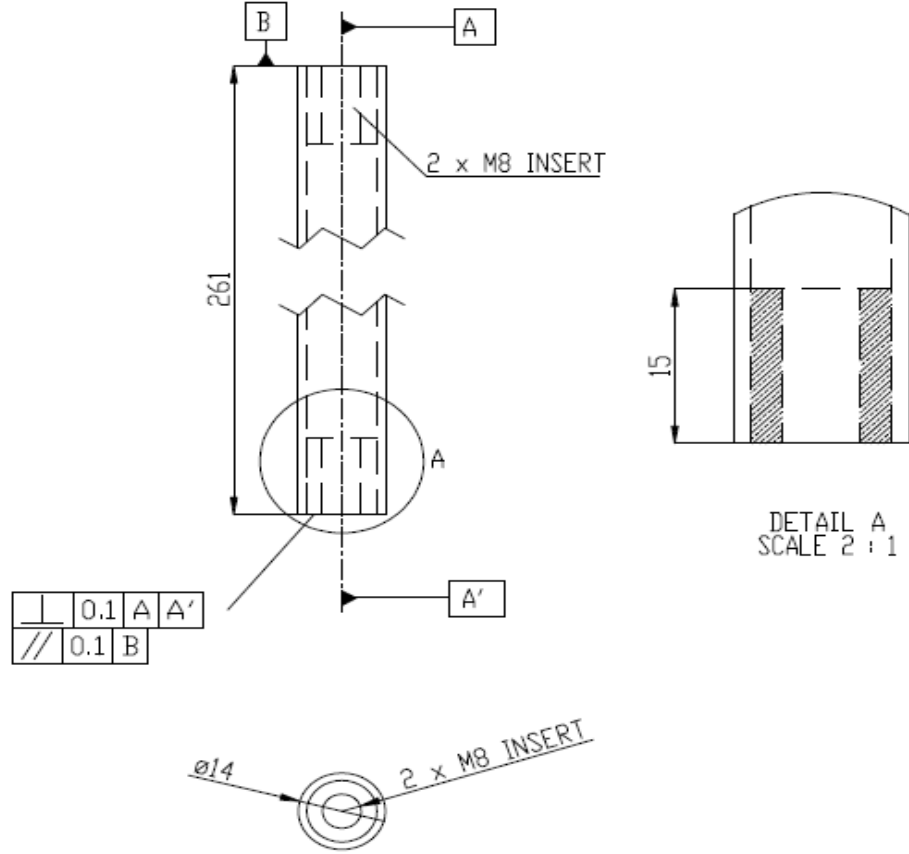
ÖLÇEK SCALE	2:1	ADDED / İSİMİ	İMZA / SÖZMÜRE	TARİH / TARİHİ	DATE
GENEL TOLERANSLAR GENERAL TOLERANCES	A4	U. DİNÇER		20.12.2016	
0-3	±0.1	CONTROLERİN KONTROLÜ ENİ			
3-6	±0.1	CONTROLERİN KONTROLÜ ENİ			
6-30	±0.2	CONTROLERİN KONTROLÜ ENİ			
30-120	±0.3	CONTROLERİN KONTROLÜ ENİ			
120-400	±0.5	CONTROLERİN KONTROLÜ ENİ			
400-1000	±0.8	CONTROLERİN KONTROLÜ ENİ			
AKIŞ ANJİ ANGLE	±15°	Link Washer			
		P14			
		AA 7075-T6			

RESİM ÜZERİNDEN ÖLÇÜ ALMAYINIZ
DO NOT SCALE DRAWING



A							
NO DEĞİŞİKLİKLER ITEM MODIFICATIONS							
ÖLÇEK SCALE		1:5	ADI-SOYADI / NAME	İMZA / SIGNATURE	TARİH / DATE		
A4		ÇİZEN DRAWN BY	U.DINCER		12.12.2016		
GENEL TOLERANSLAR GENERAL TOLERANCES		KONTROL EDEN CHECKED BY					
0-3	0.1	ONAYLAYAN APPROVED BY					
3-6	0.1	PARÇA ADI PART NAME	Carbon Fiber Tube				
6-30	0.2	PARÇA KODU PART CODE	P_016				
30-120	0.3	MALZEME MATERIAL	Carbon Fiber				
120-400	0.5	YKORUMA/SERTLİK S.COATING/HARDNESS					
400-1000	0.8						
ACI/ANGLE	15°0'						

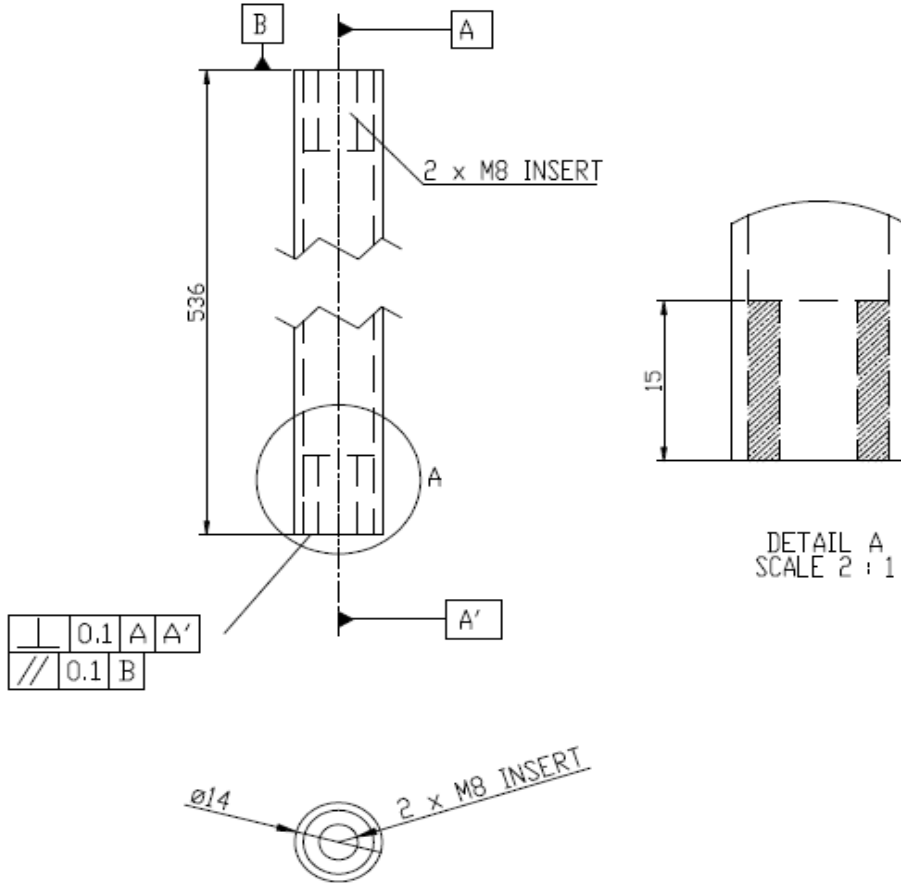
RESİM ÜZERİNDEN ÖLÇÜ ALMAYINIZ
DO NOT SCALE DRAWING



Not: $\varnothing 14$ olarak belirtilen dış çap M8 insert montajına imkan verecek şekilde 16mm'ye kadar artırılabilir.

A					
NOT ITEM	DEĞİŞİKLİKLER MODIFICATIONS				
ÖLÇEK SCALE	1:1	ADI-SOYADI / NAME	İMZA / SIGNATURE	TARİH / DATE	
	A4	ÇİZEN DRAWN BY	U.DINCER	12.12.2016	
GENEL TOLERANSLAR GENERAL TOLERANCES	KONTROL EDEN CHECKED BY				
0-3	0.1	ONAYLAYAN APPROVED BY			
3-6	0.1	PARÇA ADI PART NAME	Carbon Fiber Short Parallel Arm		
6-30	0.2				
30-120	0.3	PARÇA KODU PART CODE	P_017		
120-400	0.5				
400-1000	0.8	MALZEME MATERIAL	Carbon Fiber		
ACI/ANGLE	15°	Y.KIRILMA/SERTLİK S.C/DATZNG/HARDNESS			

RESİM ÜZERİNDEN ÖLÇÜ ALMAYINIZ
DO NOT SCALE DRAWING



Not: Ø14 olarak belirtilen dış çap M8 insert montajına imkan verecek şekilde 16mm'ye kadar artırılabilir.

A					
NO	DEĞİŞİKLİKLER				
ITEM	MODIFICATIONS				
ÖLÇEK	1:1	ADI-SOYADI / NAME	İMZA / SIGNATURE	TARİH / DATE	
SCALE					
	A4	ÇİZEN	U.DINCER	12.12.2016	
		DRAWN BY			
GENEL TOLERANSLAR	KONTROL EDEN				
GENERAL TOLERANCES	CHECKED BY				
0-3	0.1	İNHAZLAYAN			
		APPROVED BY			
3-6	0.1	PARÇA ADI	Carbon Fiber Long Parallel Arm		
6-30	0.2	PART NAME			
30-120	0.3	PARÇA KODU	P_018		
120-400	0.5	PART CODE			
400-1000	0.8	MALZEME	Carbon Fiber		
		MATERIAL			
ACI/ANGLE	15°0'	YKORUMA/SERTLİK			
		SCORING/HARDNESS			

EK H: Talaşlı imalatta kullanılan malzemelerin sertifikaları.

CERTIFICATE OF QUALITY	No: 1739	CERTIFIED SRAC-IQNet	vimetco dii U SLATINA
	Date: 2/26/2010	ISO 9001/2001 No. 10/4-2008	

CUSTOMER :

CONTRACT/ORDER : 1210
BILL OF DELIVERY : 80062109
TRUCK/CONTAINER : B 25 ZHR

MATERIAL : ALUMINIUM PLATES
ALLOY : EN AW-7075
DIMENSIONS (mm) : 70020870 25X1520X3020

TEMPER: T651

ACCORDING TO : EN 485 - 515 - 573

MECHANICAL PROPERTIES						1 MPa = 1 N/mm ² = 0.145 ksi = 0.102 kgf/mm ²				
1 lbs = 0.4536 kg			Rm MPa		Rp0.2 MPa		Elong. % 50mm		Hardness HB	
			min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
Specified values:			540		470		6		161	
LOT / BATCH	CASE	NET WEIGHT kg	Measured values:							
70020870	33353	1300	578		511		11		168	
S29120814			579		509		11		167	

CHEMICAL PROPERTIES %												
BATCH	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Ga	V	Al
S29120814	0.1	0.16	1.43	0.057	2.63	0.21	0.005	5.73	0.031	0.014	0.013	REM. REM. REM.
Acc. Standard	Min.		1.2		2.1	0.18		5.1				REM.
	Max.	0.4	0.5	0.3	2.9	0.28	0.05	6.1	0.2	0.05	0.05	
Remarks:						Other- Each- Max.: 0.05			OthersTotal- Max.: 0.15			

REMARKS:

ACCORDING TO: EN 485-2:2006; EN 515:1993; EN 573-3:2007

We hereby certify that the material detailed herein has been produced and tested according to the requirements of the relevant specification and/or order. Keep in dry conditions, without large temperature variations. The difference between metal and air must be maxim 11 degrees C.

According to EN 10204:2004 3.1

QUALITY CONTROL DEPT.

ALRO S.A. No.116, Pilesti St/rd Phone: +(40) 0249 435 117; 0249 432 966 alro@alro.ro
230048-Slatina-ROMANIA Fax: (40) 0249 411 487; 0249 415 982 www.alro.ro



cod 21/PO-051/Rev.1/2008

Saarstahl - C40E (Ck40)

1.1186

BS: 080M40, 080A40, 060A40
 AFNOR: C40E, 2C40, XC42-H1
 SAE: 1040

Material group: Steel for quenching and tempering according to DIN EN 10083

Chemical composition: (Typical analysis in %)	C	Si	Mn	S	other
	0,40	0,25	0,65	<=0,03	(Pb)

Application: Plain carbon steel for mechanical engineering and automotive components

Hot forming and heat treatment:	Forging or hot rolling:	1100 - 850°C
	Normalising:	850 - 890°C/air
	Soft annealing:	680 - 710°C/furnace
	Hardening:	830 - 870°C/water, oil
	Tempering:	550 - 660°C/air

Mechanical Properties: Treated for cold shearability +S: Shearable in as rolled condition

Soft annealed +A: -

Quenched and tempered, +QT:

Diameter d [mm]	< 16	>16 - 40	>40 - 100	>100 - 160	>160 - 250
Thickness t [mm]	< 8	8<t<20	20<t<60	60<t<100	100<t<160
0,2% proof stress R _{0,2} [N/mm ²]	min. 460	min. 400	min. 350	-	-
Tensile strength R _m [N/mm ²]	650 - 800	630 - 780	600 - 750	-	-
Fracture elongation A ₅ [%]	min. 18	min. 18	min. 19	-	-
Reduction of area Z [%]	min. 35	min. 40	min. 45	-	-
Notch impact energy ISO-V [J]	min. 30	min. 30	min. 30	-	-

SEZGINTAY
 ENÜSTRİ MALZEMELER METAL SAN. TİC. LTD. ŞTİ.
 2827 Sokak No: 12/A 11 San. Sit. İZMİR
 Tel: 0.232.468 18 18 - 449 78 99
 Fax: 0.232.468 61 59
 Ege V.D. 769 040 3103

Quality	16MnCr5	Case-hardening Steel
According to standards	EN 10084: 2008	
Number	1.7131	



Chemical composition

C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	
0,14-0,19	max	1,00-1,30	max	max	0,80-1,10	Product deviations are allowed
± 0,02	0,40	± 0,05	0,025	0,035	± 0,05	
	+ 0,03		+ 0,005	+ 0,005		

16MnCr5 n° 1.7139 S% 0.020-0.040 product deviation ± 0.005%

On request, this steel grade can be supplied with addition of lead (Pb) 0.15-0.35%

Temperature °C

Hot-forming	Normalizing +N	Core hardening	Carbonitriding	Carburizing	Hardening carburizing surf.	Str-reliev. +SR
1150-850	880 air (HB 138-187)	860-900 oil-polymer salt bath	750-930 gas	880-980	810-840 oil polymer salt bath (160-250 °C)	150 200
Soft annealing +A	Isothermal annealing +I	Spheroidizing +AC	End quench hardenability	Pre-heating welding	Stress-relieving after welding	
650-700 furnace cooling	870 furnace cooling to 650, then air	730-750 furnace cooling 50 °C/h to 680, pause, cooling to 400 then air	870 water	welding must be carried out on the annealed state and before carburizing	600 furnace cooling	
(HB max 207)	(HB 156-207)	(HB 140-187)		150-350 Ac1 Ac3	Ms * core ** carburizing surface 400* 200**	
				740 840		
				As-rolled +AR	Stress-relieving +SR	
				(HB max 230)	600-620	

Mechanical properties

Hot-rolled values obtained on test blanks after core hardening + stress-relieving UNI 7846: 1978. Use only as reference

size mm	Testing at room temperature (longitudinal)					
test blanks	R	Rp 0.2	A%	C%	Kcu	HB
	N/mm ²	N/mm ² min.	min.	min.	J min.	
11	1030-1370	735	8		25	311-394
30	740-1030	490	9		25	224-311 for information only
63	640-930	440	10		25	198-278 for information only

Hot-rolled natural state, Lucefin experience

size mm	R	Rp 0.2	A%	C%	Kcu	HB
	N/mm ²	N/mm ² min.	min.	min.	J min.	max
from 10 to 100	560-720	350	15	25		207

Table of tempering values at room temperature on rounds of Ø 10 mm after quenching at 870 °C in oil

HB	390	385	385	385	385	381	376	362	348	319	286	240	213	200
HRC	42	41.5	41.5	41.5	41.5	41	40.5	39	37.5	34	30	22.5		
R	N/mm ²	1340	1335	1330	1330	1320	1300	1260	1210	1150	1050	950	800	700
Rp 0.2	N/mm ²	1020	1060	1110	1140	1145	1140	1110	1070	1010	930	830	710	620
A	%	12.0	12.5	12.5	12.5	12.0	12.0	12.5	13.0	14.0	15.5	17.5	20.0	23.0
C	%	52.0	52.0	53.0	54.0	55.0	57.0	59.0	61.0	63.0	64.0	68.0	72.0	75.0
Kv	J	42	46	46	45	42	40	42	62	90	124	135	155	180
HRC carburizing		64	63	62	60.5	59	57							
Tempering at °C		50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650

SEZGINTAY
 ENDÜSTRİYEL MALZEMELER İÇİTİM VE İÇİTİM LTD. ŞTİ.
 2627 Sokak No: 12/A T.S.Ş. Şişli, ZMİR
 Tel: 0.232.458 11 20 - 449 78 99
 Fax: 0.232.458 81 59
 Ege V.D. 769 040 3103

3K A-38 TECHNICAL DATA SHEET

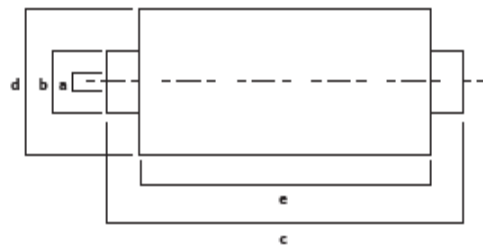
FIBER PROPERTIES

	English		Metric		Test Method
Tensile Strength	552	ksi	3800	MPa	ISO 10618
Tensile Modulus	34,8	Msi	240	GPa	ISO 10618
Strain	1,6	%	1,6	%	ISO 10618
Density	0,064	lbs/in ³	1,78	g/cm ³	ISO 10119
Yield	7.448	ft/lbs	200	g/1000m	ISO 1889
Sizing Type & Amount	Do12		1,0-1,5	%	ISO 10548
Twist	Never twisted				

PACKAGING

The table below summarizes the standard packaging; other bobbin sizes can be supplied to satisfy special needs.

Tow Sizes	Bobbin Net Weight (kg)	Bobbin Size (mm)					Spools per Case	Case Net Weight (kg)
		a	b	c	d	e		
3K	1	76	83	280	110	250	13	13



DowAksa İleri Kompozit Malzemeler Sanayi LTD. ŞTİ.

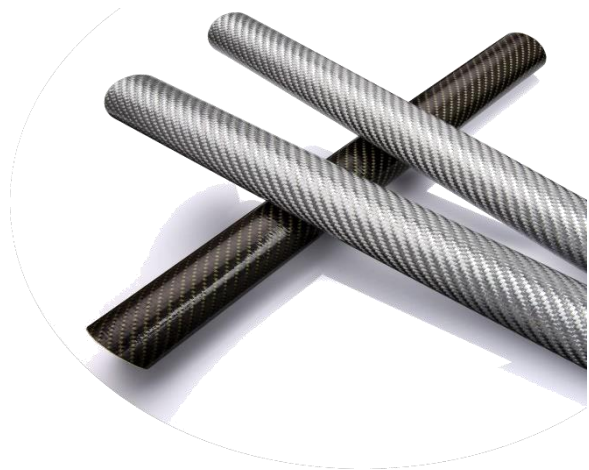
Miraley Şefik Bey Sok. Akhan No: 15 34437 Gümüşsuyu - İstanbul / TÜRKİYE
T: +90(212) 251 45 00 • F: +90(212) 249 35 99

www.dowaksa.com • cfsales@dowaksa.com

Pre-Preg Moulding

Product Information Sheet

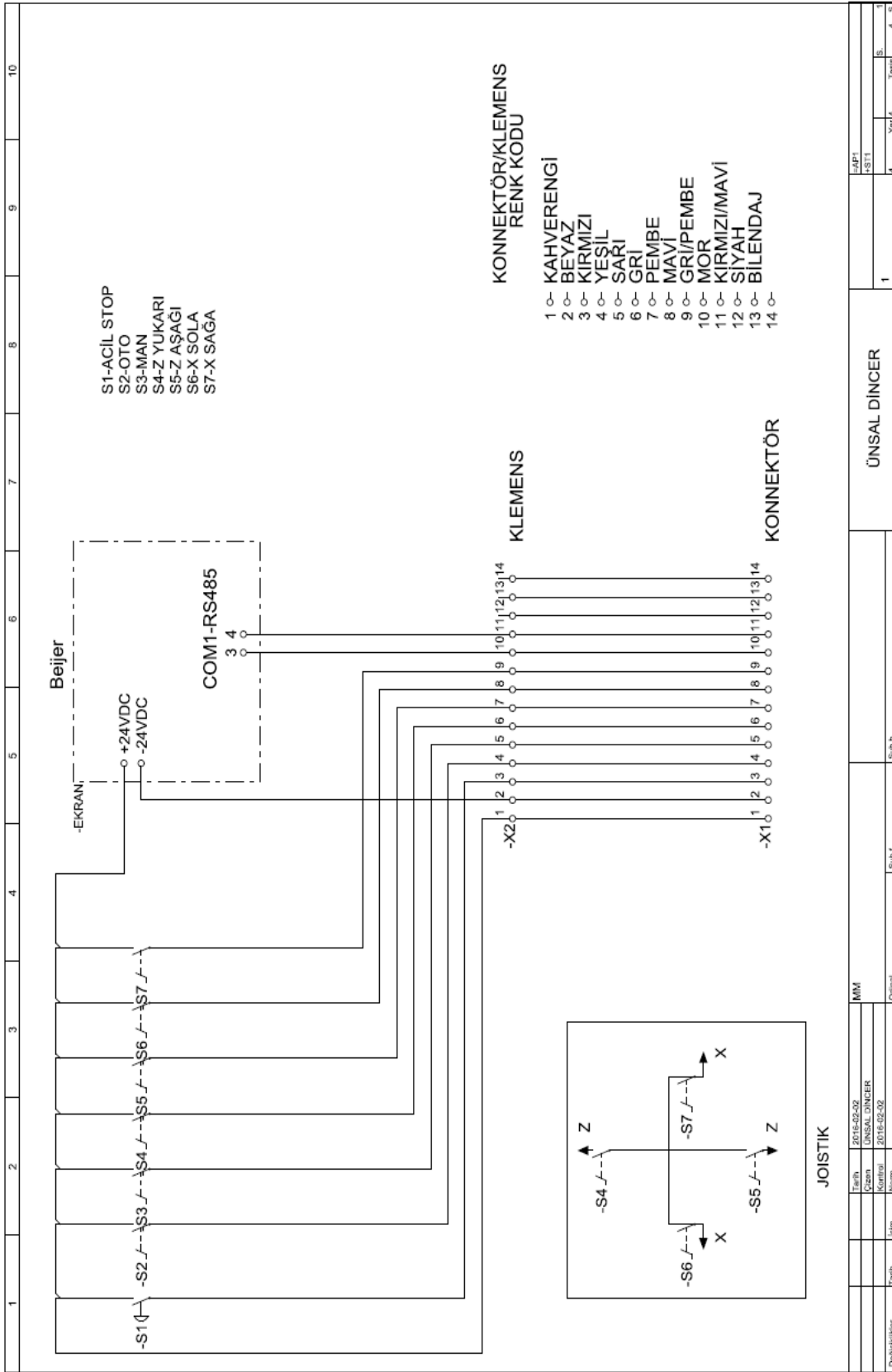
Designing and Manufacturing Composite Solutions



$\pm 90^\circ$
 $\nearrow 0^\circ$
 Volume content of fibres:
 - 60% (Carbon)
 - 50% (E-glass - Aramid)

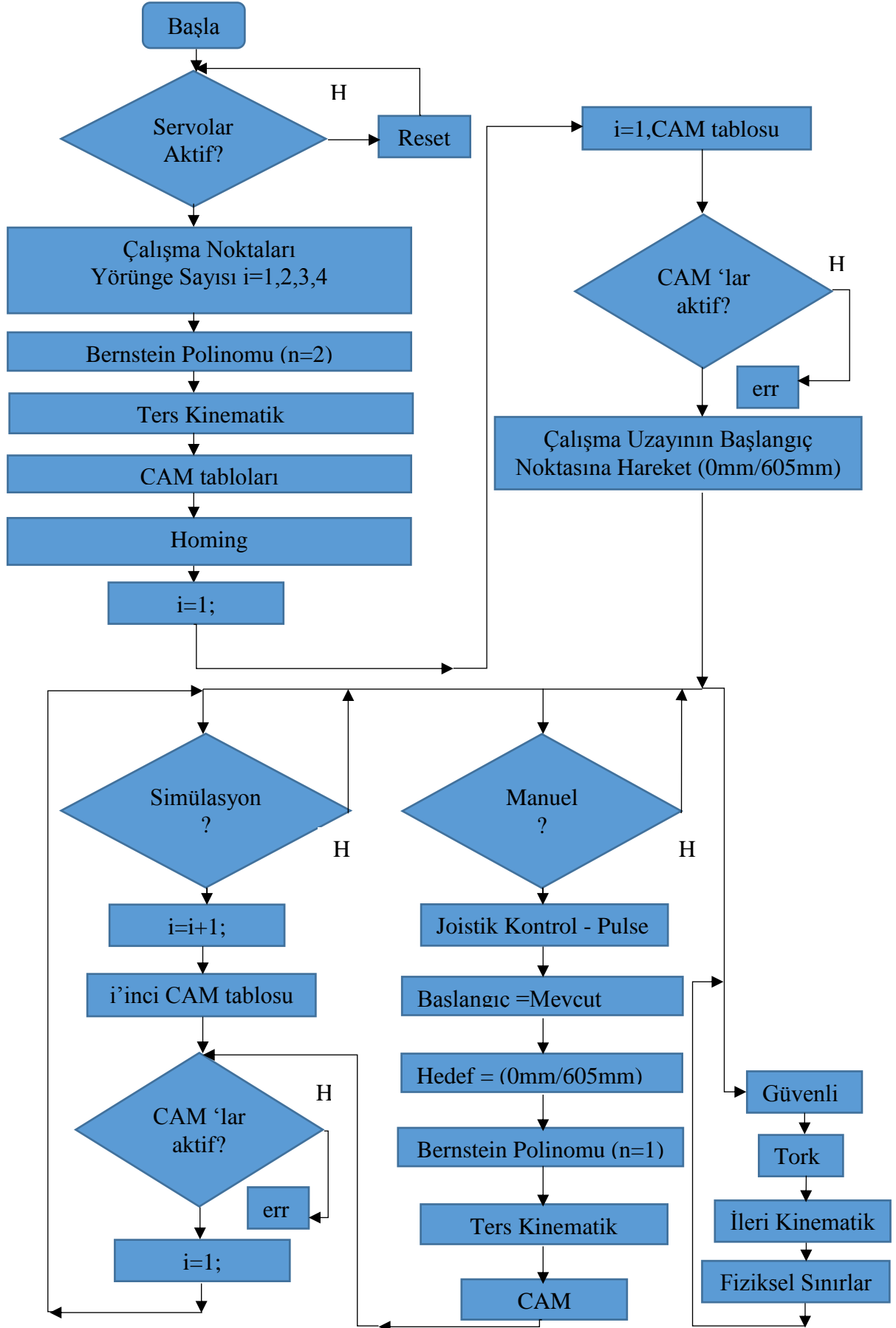
UNITS	E-GLASS		ARAMID		HIGH STRENGTH CARBON		INTERMEDIATE MODULUS CARBON			
	UD	FABRIC	UD	FABRIC	UD	FABRIC	UD	FABRIC		
Tensile	σ'	MPa	1100	600	1100	500	2000	800	2400	900
	σ_c	MPa	35	550	35	450	80	750	80	850
	E'	GPa	43	20	60	30	130	70	170	90
	E_c	GPa	8	19	8	30	9	65	9	90
	Poisson's Ratio ν'		0.28	0.13	0.34	0.2	0.25	0.05	0.27	0.05
Compression	σ'	MPa	900	550	250	150	1300	700	1600	800
	σ_c	MPa	150	500	150	150	250	650	250	750
	E'	GPa	42	17	75	31	115	60	150	80
	E_c	GPa	10	16	5.5	30	10	55	11	75
Flexure	σ'	MPa	1200	700	550	400	1800	1000	1400	1200
	E'	GPa	42	20	40	25	120	65	140	75
In-plane	σ_c	MPa	60	55	45	40	95	80	95	80
	G_c	GPa	4	4.2	2.1	4	4.4	5.5	4.4	5
Interlaminar shear	σ	MPa	75	50	60	50	95	70	90	70

EK I : Elektrik projesi.



Değiştirilmez	Tarih	İsim	Norm	Çizim	2016-02-02	MM
				ÜNSAL DINCER	2016-02-02	
				Sub.f.	Sub.b.	
ÜNSAL DINCER						LAP1
1						HST1
						4
						Yar.4
						5
						4
						3

EK İ : Programın genişletilmiş akış şeması.



EK J : İleri kinematik denklemlerin çözümü ile ilgili Codesys kodları.

FUNCTION_BLOCK Ileri_Kinematik

VAR_INPUT

cTeta_1: REAL;

cTeta_2: REAL;

e_ik: BOOL;

END_VAR

VAR_OUTPUT

Zkok1: REAL;

Zkok2: REAL;

Xkok1: REAL;

Xkok2: REAL;

Zkok21: REAL;

Zkok22: REAL;

Xkok21: REAL;

Xkok22: REAL;

X_ik:Real;

Z_ik:REAL;

END_VAR

VAR

a1: REAL;

b1: REAL;

c1: REAL;

d1: REAL;

a2: REAL;

b2: REAL;

c2: REAL;

d2: REAL;

t1: REAL;

t2: REAL;

t3: REAL;

p1: REAL;

p2: REAL;

p3: REAL;

delta1: REAL;

p21: REAL;

p22: REAL;

p23: REAL;

delta21: REAL;

enable_IK_R: R_TRIG;

END_VAR

enable_IK_R (CLK:=e_ik , Q=>);

IF e_ik THEN

a1:=-325*COS(cTeta_1*(3.1416/180));

```

IF cTeta_1<0 THEN
b1:=-325*SIN(cTeta_1*(3.1416/180));
else
b1:=-325*SQRT(1-((COS(cTeta_1*(3.1416/180)))*(COS(cTeta_1*(3.1416/180)))));
END_IF;
c1:=600;
d1:=((c1*c1)+(106*a1)-(a1*a1)-(53*53)-(b1*b1));
a2:=325*COS(cTeta_2*(3.1416/180));
IF cTeta_2<0 THEN
b2:=-325*SIN(cTeta_2*(3.1416/180));
else
b2:=-325*SQRT(1-( (COS(cTeta_2*(3.1416/180)))*(COS(cTeta_2*(3.1416/180)))
));
END_IF;
c2:=600;
d2:=(c2*c2)-(106*a2)-(a2*a2)-(53*53)-(b2*b2);
t1:=a1-a2-106;
t2:=b1-b2;
t3:=(d1-d2)/2;
p1:=(1+((t2*t2)/(t1*t1)));
p2:=((-2*t3*t2)/(t1*t1))-(2*a1*(t2/t1))+(106*(t2/t1))+(2*b1);
p3:=((t3/t1)*(t3/t1))+(2*a1*(t3/t1))-(106*(t3/t1))-d1;
delta1:= (p2*p2)-(4*p1*p3);
Zkok1:= (-p2-SQRT(delta1))/(2*p1);
Zkok2:= (-p2+SQRT(delta1))/(2*p1);
Xkok1:=(t3/t1)-(t2/t1)*Zkok1;
Xkok2:=(t3/t1)-(t2/t1)*Zkok2;

p21:=(1+((t2*t2)/(t1*t1)));
p22:=((-2*t3*t2)/(t1*t1))-(2*a2*(t2/t1))-(106*(t2/t1))+(2*b2);
p23:=((t3/t1)*(t3/t1))+(2*a2*(t3/t1))+(106*(t3/t1))-d2;

```



```
delta21:= (p22*p22)-(4*p21*p23);  
Zkok21:= (-p22-SQRT(delta21))/(2*p21);  
Zkok22:= (-p22+SQRT(delta21))/(2*p21);  
Xkok21:=(t3/t1)-(t2/t1)*Zkok21;  
Xkok22:=(t3/t1)-(t2/t1)*Zkok22;  
X_ik:=Xkok2;  
Z_ik:=Zkok2;  
END_IF;
```


ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Ünsal DİNCER
Doğum Tarihi ve Yeri : 21.09.1974 – Bornova/İzmir
E-posta : unsal.dincer@dalan.com.tr / eedproje@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 1997, Kocaeli Üniversitesi, Elektronik Haberleşme Müh.

MESLEKİ DENEYİM:

- 1997-2002 yılları arasında Dalan Kimya End. A.Ş.'de bakım mühendisi olarak çalıştı.
- 2002'den beri Dalan Kimya End. A.Ş.'de enerji yöneticisi görevine devam etmektedir.

