

**Çamaşır Makinelerinde Kullanılan Plastik Kasnakların Seri Üretim Otomasyon Sistemi Tasarım  
Doğrulama Analizi**  
**Mass Production Automation System Design Verification Analysis of Plastic Pulley Used in Washing Machines**  
*Hilal Yıldız<sup>1</sup>, Orhan Güccüyen<sup>2</sup>, Siddık Murat Yeşiloğlu<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Mekatronik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
bath@itu.edu.tr<sup>1</sup>

<sup>2</sup>Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Bölümü  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
gucuyen17@itu.edu.tr<sup>2</sup>, yesiloglu@itu.edu.tr<sup>2</sup>

### Özetçe

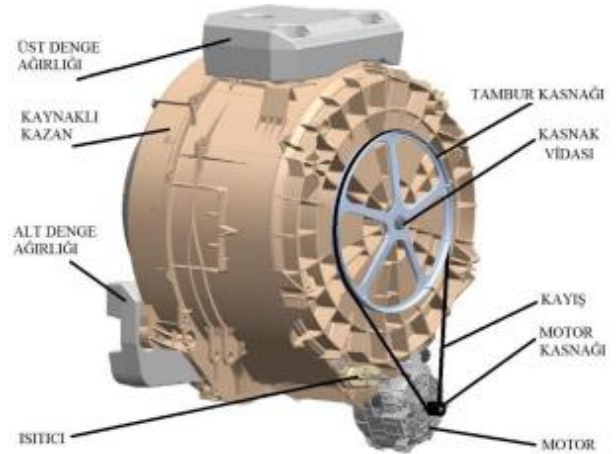
Bu çalışmada, çamaşır makinelerinde tamburu döndürmek için tahrik elemanı olarak kullanılan plastik kasnakların kalite isterlerinden ve bu kalite isterlerinin kontrol edilebileceği otomasyon sisteminden bahsedilmiştir. Plastik kasnaklarda teknik isterlere uyumsuzluk çamaşır makinesinin yıkama performansını etkiler. Bundan dolayı yüksek adetli bir seri üretimde kritik olan teknik isterlerin eksiksiz bir şekilde kontrol edilmesi gerekir. Bu ise ancak plastik kasnak üretimine özel bir otomasyon sistemi sayesinde sağlanır. Arçelik tesisinde mevcut olan bu otomasyon sisteminin temel elemanı 6 eksenli endüstriyel robot koludur. Endüstride yaygın olarak kullanılan genel amaçlı bu robot kolu, plastik kasnak üretimi için özel tasarlanmış bir manipülatör değildir. Bu çalışmada Arçelik tesisinde kullanılan 6 serbestlik dereceli endüstriyel robot kolu yerine daha düşük serbestlik dereceli özel tasarlanmış bir manipülatörün aynı işi yapması hedeflenmiştir. Çamaşır makinelerinde kullanılan plastik kasnakların imalatı için yatırım maliyetini düşürmeyi amaçlayan bu çalışmada yapılan analiz ve önerilen tasarım süreci sunulmuştur.

### Abstract

This study discusses the quality requirements of plastic pulleys used as drive components to rotate the drum in washing machines, and the automation system through which these quality requirements can be controlled. Non-compliance with technical requirements in plastic pulleys affects the washing performance of the washing machine. Therefore, in high-volume serial production, it is critical to fully control these technical requirements. This can only be achieved through an automation system specifically for plastic pulley production. The main component of this automation system existing at the Arçelik facility is a 6-axis industrial robot arm. This general-purpose robot arm, commonly used in the industry, is not a manipulator specifically designed for plastic pulley production. This study aims to have a specially designed manipulator with fewer degrees of freedom do the same job as the 6 degrees of freedom industrial robot arm used at the Arçelik facility. The mathematical modeling, analysis, and proposed design process used in this study, aiming to reduce investment costs for the manufacture of plastic pulleys used in washing machines, have been presented.

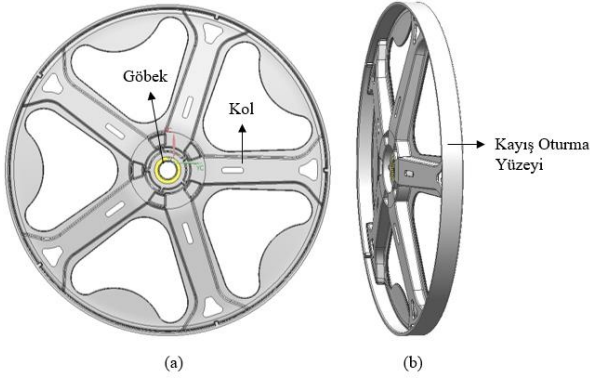
### 1. Giriş

Kasnak, çamaşır makinesinin tamburunu döndürmeye yarayan, genellikle alüminyum ya da yüksek cam elyafı ham maddeden üretilen dayanıklı parçadır. Görevi, motor hareketini kayış vasıtasıyla tambura iletmeektir. Şekil 1'de verilen çamaşır makinesinin tahrik grubu görselinde kasnağın bulunduğu konum gösterilmiştir [1]. Plastik kasnak kayış yardımıyla motorun miline, göbek bölgesinden ise flanşın miline bağlıdır. Böylece kayış, motor milinin dönmesiyle hareketi kasnağa aktarır, kasnak ise bağlı olduğu mil sayesinde dönme hareketini tambura aktarır.



Şekil 1: Çamaşır makinesi tahrik grubu görseli.

Arçelik önden yüklemeli çamaşır makinelerinde Şekil 2'de gösterilen 5 kollu yüksek cam elyaf ham maddeli plastik kasnak kullanılmaktadır. Çamaşır makinesinin sıkma devrine göre plastik kasnağın çap ölçüsü değişmektedir; yüksek devirli makinelerde küçük çaplı kasnak, düşük devirli makinelerde ise büyük çaplı plastik kasnaklar kullanılmaktadır.



Şekil 2: Plastik kasnak yapısı (a) önden görünüm (b) yandan görünüm.

Plastik kasnaklarda çap ölçülerinin yanı sıra, kullanıldığı ürünlerdeki flanşın miline bağlı olarak Şekil 2’de göbek olarak tanımlanan parça, 3 farklı yapıya sahiptir. Bu yapılar Şekil 3’te gösterilmiştir.



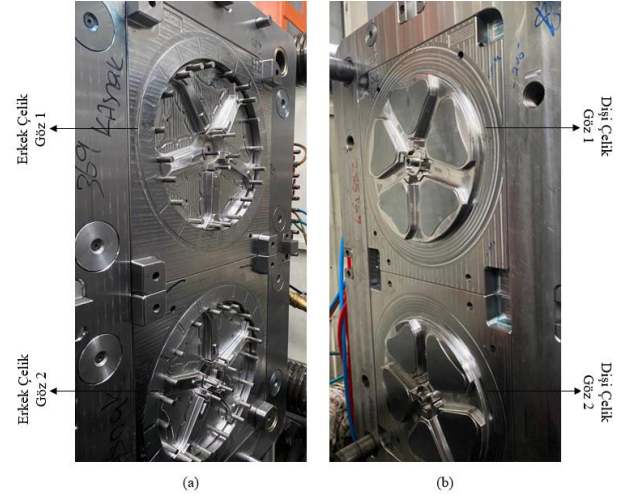
Şekil 3: Plastik kasnaklarda kullanılan göbeklerin yapısı (a) kademersiz, tip 1 (b) kademeli küçük broş çaplı, tip 2 (c) kademeli büyük broş çaplı, tip 3.

## 2. Plastik kasnak üretimi

Plastik kasnak üretiminde 3 ana proses vardır; alüminyum göbeklerin üretimi, plastik kasnakların üretimi ve kritik ölçülerin kontrolüdür. Plastik kasnaklar plastik enjeksiyon kalıplarında, alüminyum göbekler ise alüminyum enjeksiyon kalıbında üretilmektedir. Öncelikle alüminyum göbekler alüminyum enjeksiyon kalıbında basılır, enjeksiyondan çıkan parçalar torna ve CNC’de son ölçülerine getirilir ve broş çekilir. Broş çekilmiş ve son ölçülerine getirilmiş alüminyum göbekler plastik enjeksiyon kalıbının Şekil 4’te verilen dişi çeliğine robot kolu ile takılır ve yüksek cam elyaflı ham maddeyle plastik enjeksiyon gerçekleştirilir. Plastik enjeksiyondan sonra alüminyum göbekli plastik kasnak erkek çelikten alınır. Bu süreç tüm seri üretim boyunca aynı şekilde devam eder.

Bu üretim sürecinde plastik enjeksiyon kalıbının dişi çeliğine takılan alüminyum göbeğin Şekil 3’te verilen tipleri önemlidir. Çünkü farklı tiplerde alüminyum göbek kullanılırken kalıbın dişi ve erkek çeliğindeki göbek yapısının da değiştirilmesi gerekir. Eğer kullanılacak alüminyum tipine göre kalıp çeliğine uygun göbek takılmaz ise enjeksiyonun başlaması için kalıp kapanıp 600 tonluk enjeksiyon basıncıyla dişi ve erkek çelik sıkıştırılmaya başladığında, dişi ve erkek çelikteki göbekler ezilerek kullanılamaz duruma gelir. Bu hata ekstra maliyet oluşturur. Kullanılacak göbek tipine göre dişi ve erkek çelikte uygun göbeklerin kullanımı otomasyon

sistemi içerisinde kontrol edilir. Böylece operatörden bağımsız bir kontrol sistemi oluşturulmuştur.



Şekil 4: Plastik kasnak enjeksiyon kalıbı.

Plastik kasnak seri üretimi için oluşturan otomasyon sistemi, aşağıdaki süreçlerin tekrar edildiği bir döngüden meydana gelir.

1. Alüminyum göbeklerin vibratörlü çanakta robot kolunun alabileceği şekilde dizilmesi.
2. Alüminyum göbeklerin Şekil 4’te verilen plastik enjeksiyon kalıbının dişi ve erkek çelikteki göbeklere uygunluğunun kontrolör ile entegre kamera tarafından kontrol edilmesi.
3. Robot kolu ile alüminyum göbeklerin vibratörlü çanaktan alınması.
4. Plastik enjeksiyonu tamamlanan ve açılan kalıbın dişi çeliğine alüminyum göbeklerin yerleştirilmesi ve erkek çelikteki alüminyum göbekli plastik kasnak parçasının robot kolu ile alınması.
5. Dişi/erkek çelik sıcaklıklarının kontrolü.
6. Kalıbın plastik enjeksiyon için kapatılması.
7. Alüminyum göbekli plastik kasnakların yalpa/salgı ölçüm istasyonuna bırakılması.
8. Plastik kasnakların lazer sistemiyle yalpa/salgısının kontrolü.
9. Yalpa ve salgı değerleri tolerans içinde olan plastik kasnakların, izlenebilirlik için tip ve üretim tarihi bilgisinin lazer markalama istasyonunda yazılması.

Plastik kasnak otomasyon sisteminde beş ana istasyon bulunmaktadır, bu istasyonlar; alüminyum göbek tip kontrolü, alüminyum göbek alma, alüminyum göbeğin kalıba takılması, yalpa/salgı ölçümü ve lazer markalamadır. Bu istasyonlarda yapılan işlemler aşağıdaki başlıklarda tanımlanmıştır.

### 2.1. Alüminyum göbek tip kontrolü

Vibratörlü çanağın içerisine dökülen alüminyum göbekler doğrusal (ötelemeli) bir eyleyici besleme bandına iletilir. Bu eyleyiciler alüminyum göbeklerin tek sırada, Şekil 3’te verilen ön yüzeyleri üstte olacak şekilde dizilmesi için kullanılır.

Robot kolu alüminyum göbekleri ön yüzlerinden tutarak alır, eğer alüminyum göbekler ters alınır ve bu şekilde kalıba yerleştirilirse, enjeksiyonun başlaması için kalıp kapandığında kalıp çeliğine zarar verir. Bunu engellemek ve alüminyum göbeklerin robot kolunun alabileceği doğru pozisyonda olabilmesi için çanakta bir bariyer sistemi oluşturulmuştur. Bu sisteme göre alüminyum göbekler besleme bandına ön yüzleri üstte olacak şekilde gelmiyorsa, göbekler tekrar çanağa düşer. Burada göbeklerin ön ve arka yüzlerinin genişlik farkından yararlanır. Böylece robot kolunun alüminyum göbeği ters alması engellenmiş olur. Dolayısıyla insan etkileşimi olmayan bir sistem sağlanarak işlem hataları ve atlamalar önlenmiş olur. Sistemin çalışma hızını artırarak işlem zamanını kısaltır. Bu da üretim verimliliğini artırır.

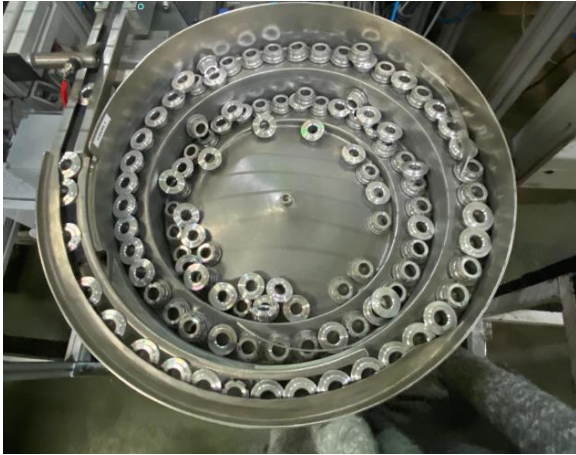
Çanakta doğrusal eyleyicilerin ucunda alüminyum göbeğin Şekil 3'te verilen tiplerini kontrol eden 2 adet entegre kamera sistemi vardır. Bu sistem Şekil 5'te gösterilmiştir. Buradaki amaç robot kolunun alacağı alüminyum göbeğin, kalıbın dişi ve erkek çeliğindeki göbeklere uygunluğunu kontrol etmektir.



Şekil 5: Alüminyum göbek tip kontrolü.

## 2.2. Alüminyum göbeğin robot kolu ile alınması

Şekil 6'daki gibi vibratörlü çanağın içerisine dökülen alüminyum göbekler titreşimle besleme bandına iletilir, burada entegre kamera sistemiyle alüminyum göbeklerin tipleri kontrol edilir ve robot kolu ile iki adet alüminyum göbek alınır.



Şekil 6: Vibratörlü çanakta alüminyum göbekler.



Şekil 7: Robot kolu.

## 2.3. Alüminyum göbeğin kalıba takılması

Robot kolu alınan alüminyum göbekler kalıbın dişi çeliğine Şekil 8'deki gibi takılır. Plastik enjeksiyonu tamamlayan alüminyum göbekli plastik kasnaklar Şekil 9'daki gibi erkek çelikten robot kolu ile alınır.



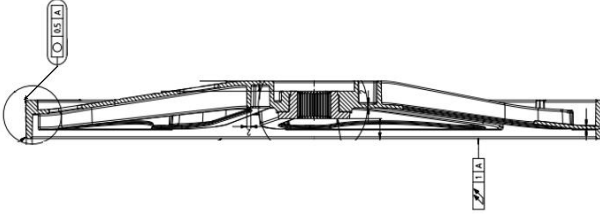
Şekil 8: Plastik enjeksiyon kalıbının dışına alüminyum göbeğin yerleştirilmesi.



Şekil 9: Enjeksiyon kalıbının erkeklerinden alüminyum göbekli plastik kasnağın alınması.

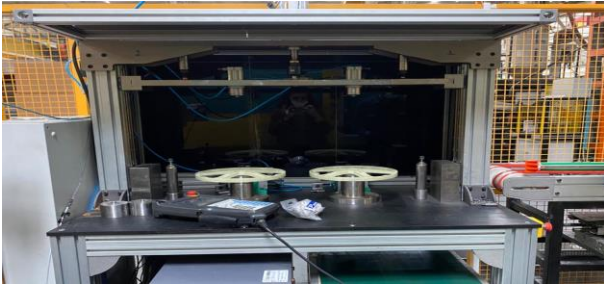
## 2.4. Yalpa/salgı ölçümü

Plastik kasnakların görevini uygun bir şekilde yerine getirebilmesi için Şekil 10'da verilen maksimum 1 mm'lik yalpa değeri ile maksimum 0.5 mm'lik salgı değerlerini sağlıyor olması gerekir.



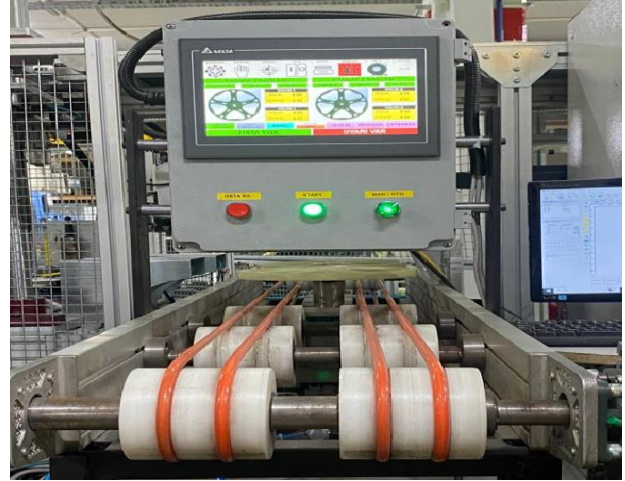
Şekil 10: Plastik kasnak yalpa/salgı teknik resim görseli.

Bu iki ölçü plastik enjeksiyon parametresine bağlı olarak değişebilir. Bundan dolayı tamamının kontrol ile üretim yapılması gerekir. Tamamının kontrolünün manuel olarak yapılması, yıllık 3 M üretim adedine sahip bir parça için işçilik maliyetini artırır ve ölçüm yapan operatörler arasındaki ölçüm farklılığından dolayı manuel ölçüm cihazından doğru yalpa/salgı değerini elde etmek zorlaşır. Bu nedenle plastik kasnakların yalpa/salgı kontrolünü yapmak için bir otomasyon sistemi tasarlanmıştır. Bu otomasyon sisteminde; servo tahrikli spindile üzerine robot ile bırakılan plastik kasnaklar, 12 devir/dakika hızla döndürülerek plastik kasnak çapının 72 noktasından (5° aralıklarla) ölçüm yapılır ve bilgisayara gönderilir. Bilgisayara gönderilen her ölçüm kaydedilir ve böylece herhangi bir tarihteki üretimin yalpa-salgı ölçümlerini geriye dönük alabiliriz. Bu da izlenebilirlik açısından önemli bir veridir.



Şekil 11: Plastik kasnak yalpa/salgı otomasyon sistemi.

Plastik kasnak ölçümleri yapıldıktan sonra Şekil 12'de verilen ekranda ölçüm istasyonuna bırakılan iki kasnağın yalpa-salgı değerinin sonucu yazılır. Eğer yalpa/salgı değerleri tolerans içerisindeyse ekranda "Sağlam" ibaresi gözükür, eğer toleransın dışındaysa "Hatalı" ibaresi gözükür ve sistem sesli uyarı verir. Herhangi bir tarihte üretilen plastik kasnaklarda yalpa problemi görülürse, veri kaydından belirtilen tarihteki tüm kasnakların yalpa ölçüm sonuçları görülebilir.



Şekil 12: Plastik kasnak yalpa/salgı ölçüm ekranı.

Manuel yalpa/salgı ölçümlerinde operatörün plastik kasnağı aparata bağlarken uyguladığı tork kuvveti değişken olduğu için tekrarlı yapılan ölçülerde farklı sonuçlar elde edilmektedir. Otomasyon sisteminde ise lazer ile 5°'lik aralıklarla mesafe ölçümü yapılarak sonuç elde edilir. Üretilen her parçanın yalpa/salgı istasyonunda ölçüsel kontrolü yapılır ve doğru olan parçalar tip ve üretim bilgisinin lazer ile markalanması için lazer istasyonundaki konveyör hattına bırakılır, yalpa /salgı değeri toleransın dışında olan parçalar ret olan parçaların toplandığı konveyör hattına bırakılır.

## 2.5. Lazer markalama ve otomasyon sistemi

Lazer sistemi ile plastik kasnakların üzerine; operatörün plastik kasnağı kazana montajlamasından sonra tip bilgisinin parça üzerinden okunabilmesi, alüminyum göbeğin tipinden bağımsız olarak plastik kasnak tipinin ayırt edilebilmesi ve plastik kasnağın üretildiği tarihin izlenebilir olmasından dolayı tip ve tarih bilgisi eklenir. Plastik kasnağın üretim tarihinin izlenebilir olması önemlidir, çünkü herhangi bir üretimde plastik kasnak özelinde yalpa/salgı kaynaklı bir kalite problemi çıkması sonucunda yalpa/salgı otomasyon cihazındaki geriye dönük yalpa/salgı değerleri okunarak o üretimdeki tüm parçaların durumu kontrol edilebilir, böylece hatanın sadece bir parça özelinde mi yoksa tüm üretimde mi olduğu tespit edilebilir. Yalpa/salgı istasyonundaki ölçümleri tamamlanan ve yalpa/salgı değeri tolerans içerisinde olan kasnaklar lazer markalama istasyonunun konveyöründeki 4 eksen 2 gözlü spindillara bırakılır. Spindiller x,y ve z eksen hareketleriyle plastik kasnağı lazer markalama cihazının optik alanına getirir ve parça üzerine tip ve tarih bilgisi eklenir. Markalama işlemi bittikten sonra plastik kasnaklar z eksen hareketi ile konveyöre bırakılıp fens dışına atılır.

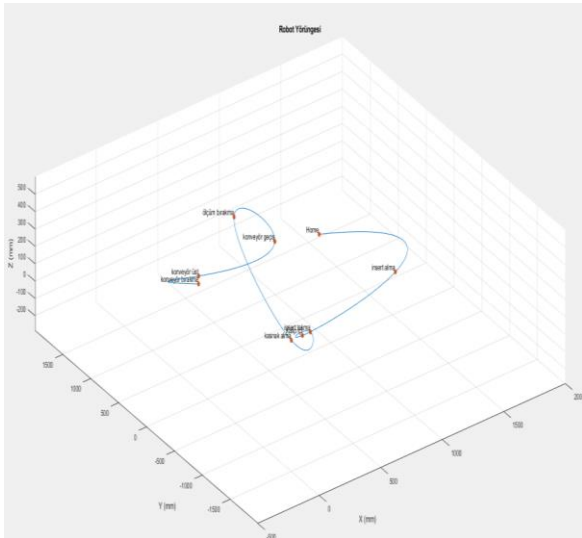
Plastik kasnak otomasyonunun temel elemanı olan Fanuc marka M710iC/50 model 6 serbestlik dereceli endüstriyel robotun görseli Şekil 13'te verilmiştir.



Şekil 13: Fanuc marka M710iC/50 model altı serbestlik dereceli endüstriyel robot.

### 3. Manipülâtör tasarım revizyonu

Mevcut sistemde kullanılan altı serbestlik dereceli robotun bir çevrim boyunca yörüngesini çıkartmak üzere eklem açıları 1 ms aralıkla kaydedildi. Fanuc marka M710iC/50 model robotun yaygın kullanılan bir endüstriyel robot olması, link uzunlukları, dönme eksenleri gibi bilgilere ulaşmamızda kolaylık sağladı. Simülasyon ortamı olarak MuJoCo [2] platformu seçildi. Fiziksel sistemden alınan eklem konum bilgileri Mujoco’da aynı robot koluna ilişkin model üzerinden uygulanarak mevcut yörünge simülasyon ortamına aktarıldı. Bu yörüngeye ilişkin görsel Matlab kullanılarak elde edilmiş ve Şekil 14’te verilmiştir.



Şekil 14: Mevcut sistemin Matlab ile çizdirilen yörüngesi.

Burada en önemli konu, manipülâtör tasarım revizyonu tamamlandığında elde edilecek olan kol ile eskisinin tüm çevrim boyunca aynı yörüngeyi takip etmesinin gerekli olmadığıdır. Mevcut yörünge üzerinde önemli olan istasyon noktaları belirlenmelidir. Bu noktaların bazılarının konumlarının değiştirilmesi de üzerinde çalışılabilecek bir alandır. İşin bu tarafı imalat bandında ne kadar değişiklik yapılabileceği ile ilgili olup detayları bildiri kapsamı dışındadır. Bir diğer önemli konu ise, manipülâtörün tüm yörünge boyunca oryantasyon kontrolünün gerekli olmadığıdır. Yörünge takibinin gerekmedikçe sadece konum üzerinden yapılarak oryantasyonun serbest bırakılması, manipülâtör modifikasyon sürecinde elimizi rahatlatan çok önemli bir katkıdır. Bu çalışma titizlikle yapılmış ve toplam sekiz istasyon noktası belirlenmiş ve bunların ikisinde oryantasyonun da dahil edilmesi gerektiği tespit edilmiştir.

x, y ve z koordinatları için ayrı ayrı polinomlar elde edilmiştir örnek olması adına sadece x eksenini için hesaplanan polinomlar aşağıda paylaşılmıştır, bu polinomlar spline interpolasyonu ile her ardışık istasyon noktaları arasında oluşturulan ayrı ayrı polinomlardır, bu nedenle her polinom segment olarak isimlendirilir. Her segment için ayrı bir polinom katsayısı bulunmuştur. Bu polinomlar sayesinde robotun izlediği yörünge bir eğri olarak oluşturulmuştur.

$$\text{Segment 1: } 931.93x^2 - 3883.08x^2 + 3572.96x + 971.92$$

$$\text{Segment 2: } 931.931053x^3 - 1087.29x^2 - 1397.41x + 1593.72$$

$$\text{Segment 3: } -869.29x^3 + 1708.5x^2 - 776.20x^3 + 9393x + 40.95$$

$$\text{Segment 4: } 713.53x^3 - 899.37x^2 + 32.91x + 103.95$$

$$\text{Segment 5: } -716.63x^3 + 1241.21x^2 + 374.76x - 48.97$$

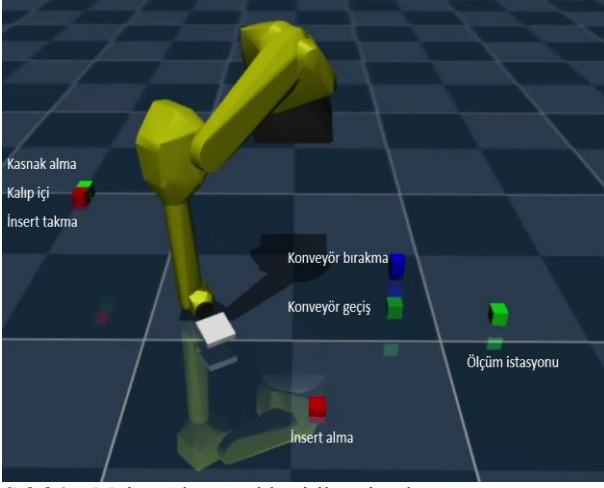
$$\text{Segment 6: } 208.94x^3 - 908.69x^2 + 707.28x + 850.37$$

$$\text{Segment 7: } 189.83x^3 - 281.85x^2 - 483.27x + 857.9$$

$$\text{Segment 8: } 189.83x^3 + 287.64x^2 - 477.48x + 282.6$$

Daha sonra bu yeni yörüngeyi izleyecek manipülâtör için dört serbestlik dereceli bir öneriyle çalışmaya başlanılmıştır. Ancak buradan sonuç elde edilemediği için beş serbestlik dereceli bir manipülâtör üzerine yoğunlaşmıştır. Matlab ortamında 1 ms aralıklarla jakobyen matrisi uzaysal vektör cebri (Spatial Operator Algebra) [3] kullanılarak elde edilmiştir. Bu 1 ms’lik her adımda jakobyen matrisinin transpozunun sıfır uzayının (null space) yörüngeyi kapsadığından emin olunana kadar gerekli link uzunluk verisi ve dönme eksen yönleri gözden geçirilmiştir.

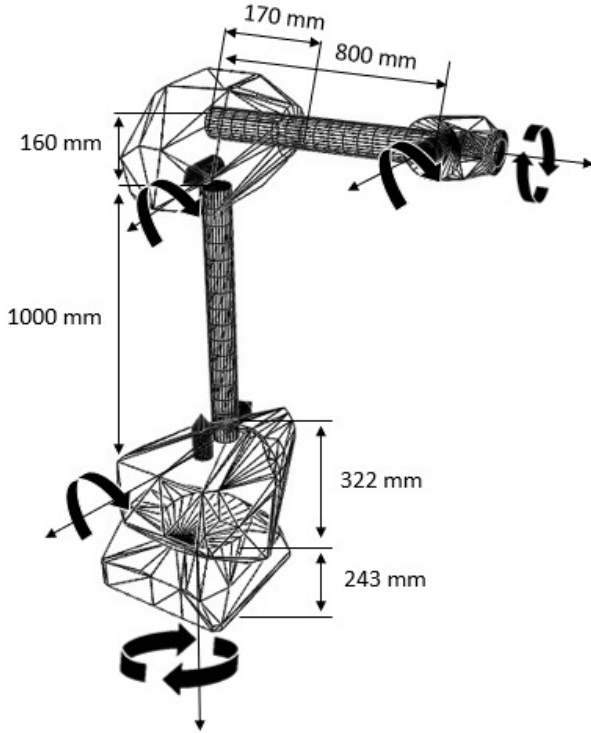
Bu çalışma sonunda elde edilen robota ilişkin STL formatındaki veri oluşturularak MuJoCo’ya verilmiştir. Böylece gerek görselliği ve gerekse çalışma uzayı içinde bulunduğu konfigürasyonu itibarıyla sonucun kabul edilip edilemediği Şekil 15’teki gibi simülasyon ortamında irdelemiştir.



Şekil 15: Mujoco'da gerçekleştirilen simülasyon ortamı.

#### 4. Sonuç

Tasarımı tamamlanan 5 serbestlik dereceli manipülatörün Şekil 16'da verilmiştir.



Şekil 16: Mujoco'da tasarlanan yeni 5 eksenli robotun dönme eksenleri ve link uzunlukları.

Mevcut sistemdeki 6 serbestlik derecesine sahip robotun izlediği yörüngenin x, y, z eksenlerindeki hata miktarı Mujoco'da Python koduyla hesaplanmıştır. Mevcut sistemin çevrim süresi 52 saniyedir, Mujoco'da 0.104 saniye aralıklarla toplamda 500 adımda robotun takip ettiği yörüngenin hata miktarı binde mertebesinde bulunmuştur. Örnek olması adına

170. ve 171. adımlardaki, yani toplam çevrim süresinin 17.6 ve 17.8 saniyeleri, hata miktarları Tablo 1'de gösterilmiştir.

Hata Adımı	X (m)	Y (m)	Z (m)
170. Adım	0.0013645	-0.0071132	0.0008052
171. Adım	0.0010032	-0.0008314	-0.0009754

Tablo 1: 6 eksenli robotun 170. ve 171. adımlarındaki hata miktarı

Özel tasarım manipülatör ile bu sistemin çalıştırılması hedefiyle yapılan bu çalışmada varılan sonuç 5 serbestlik dereceli bir manipülatörün link uzunlukları, dönme eksenleri ve eklem limitleri ortaya çıkarılmıştır.

#### Kaynakça

- [1] Dalkılıç A., 2016, "Ev Tipi Çamaşır Makinaları için Plastik Kasnak Konstrüksiyonu", İTÜ Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- [2] E. Todorov, T. Erez and Y. Tassa, "MuJoCo: A physics engine for model-based control," 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Vilamoura-Algarve, Portugal, 2012, pp. 5026-5033, doi: 10.1109/IROS.2012.6386109.
- [3] M.N. Yazar ve S.M. Yeşiloğlu, "Path defined directed graph vector (Pgraph) method for multibody dynamics," *Multibody System Dynamics volume 43, sayfa 209–227 (2018)*