



**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



# **OTOMASYON SİSTEMLERİNİN ÜRETİM VERİMLİLİKLERİNİN İNCELENMESİ VE OPTİMİZASYONU**

**BURAK GÜL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Mekatronik Mühendisliği Programı

**DANIŞMAN**  
Dr. Öğr. Üyesi Ersin TOPTAŞ

**İSTANBUL, 2022**



**MARMARA UNIVERSITY**  
**INSTITUTE FOR GRADUATE STUDIES**  
**IN PURE AND APPLIED SCIENCES**



**ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF  
PRODUCTION EFFICIENCIES OF  
AUTOMATION SYSTEMS**

---

**BURAK GÜL**

**MASTER THESIS**

Department of Mechatronic Engineering

**Thesis Supervisor**

Dr. Öğr. Üyesi Ersin TOPTAŞ

**ISTANBUL, 2022**

---

**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi Burak GÜL'ün  
“Otomasyon sistemlerinin üretim verimliliklerinin incelenmesi ve optimizasyonu”  
başlıklı tez çalışması, ..... 2022 tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından  
başarılı bulunmuştur.

**Jüri Üyeleri**

Dr. Öğr. Üyesi Ersin TOPTAŞ (Danışman)  
Marmara Üniversitesi ..... (İMZA).....

Doç.Dr. Sezgin ERSOY (Üye)  
Marmara Üniversitesi ..... (İMZA).....

Dr. Öğr. Tuba ÇONKA YILDIZ (Üye)  
Türk-Alman Üniversitesi ..... (İMZA).....

**ONAY**

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .../.../2022 tarih ve  
..... sayılı kararı ile Burak GÜL'ün Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Mekatronik Mühendisliği Programında Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

**Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü**  
**Prof. Dr. Bülent EKİCİ**

**MARMARA UNIVERSITY**  
**INSTITUTE FOR GRADUATE STUDIES**  
**IN PURE AND APPLIED SCIENCES**

Burak GÜL, a **Master of Science** student of Marmara University Institute for Graduate Studies in Pure and Applied Sciences, defended his thesis entitled “**Analysis and optimization of production efficiencies of automation systems**”, on ..... , 2022 and has been found to be satisfactory by the jury members.

**Jury Members**

Dr. Öğr. Üyesi Ersin TOPTAŞ (Advisor)  
Marmara University ..... (SIGN).....

Assoc.Prof. Sezgin ERSOY (Jury Member)  
Marmara University..... (SIGN).....

Assist.Prof. Tuba ÇONKA YILDIZ (Jury Member)  
Turkish-German University..... (SIGN).....

**APPROVAL**

Marmara University Institute for Graduate Studies in Pure and Applied Sciences Executive Committee approves that **Burak GÜL** be granted the degree of **Master of Science** in **Department of Mechatronic Engineering, Mechatronic Engineering Program** on ..... , 2022. (Resolution no: .....).

**Director of the Institute**  
**Prof. Dr. Bülent EKİCİ**

# İÇİNDEKİLER

<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	v
<b>ÖZET</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	x
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	xi
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
1.1. Otomasyon Hatlarının Geleneksel Yöntemlerle İnşasında Yaşanılan Aksaklıklar .....	3
1.2. Otomasyon Sistemlerinin Sanal Optimizasyonunun Sağlayacağı Faydalar.....	6
1.3. Otomasyon MCD (Mechactronics Consept Designer) Nedir? .....	6
<b>2. MATERYAL VE METOT</b> .....	7
2.1. Geleneksel Yöntem İle Ortaya Konmuş Sistem.....	7
2.1. Algoritmanın Optimizasyonu .....	21
2.2. Konveyör Hızının Optimizasyonu .....	23
2.3. Silindir Hızının Optimizasyonu .....	24
2.4. Mekanik Tasarımın Optimizasyonu .....	25
<b>3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA</b> .....	27
3.1. Maliyetlere etkisi.....	27
3.2. Tasarım sürecine etkisi.....	28
<b>4. SONUÇ</b> .....	31
<b>5. TEŞEKKÜR</b> .....	31
<b>KAYNAKÇA</b> .....	32
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	33

## ÖZET

### OTOMASYON SİSTEMLERİNİN ÜRETİM VERİMLİLİKLERİNİN İNCELENMESİ VE OPTİMİZASYONU

Otomasyon sistemleri mekanik, elektrik ve yazılım konularını birleştiren mekatronik sistemlerdendir. Ancak günümüzde halen bazı işletmelerde bu sistemler bu ayrı birimlerin çalışmaları birleştirilerek ortaya çıkarılmaya devam etmektedir. Dolayısıyla sistem ortaya konduğunda çoğunlukla mekaniksel, elektriksel ve yazılımsal iyileştirmeler gerekmektedir.

Bu çalışmada daha önceden belli bir senaryoyu gerçekleştirmek üzere ortaya konmuş bir otomasyon hattı sanal ortamda yeniden tasarlanıp tüm iyileştirmeler bu tasarım üzerinden denenerek sistemin verimliliğine etkisi araştırılmıştır. Otomasyon hattı olarak silindirik parçaların üzerine markalama yapan basit bir konveyör hat kullanılmıştır. Bu hattın tasarımını üzerinde farklı parametreler optimize edilerek iyileştirmeler sanal ortamda denenebilmiştir. Araştırmada konveyör hızı, sistem çalışma algoritması, sensör algılama mesafesi, pnömatik silindir çalışma hızı, mekanik yerleşim vb. bir otomasyon sisteminde olabilecek en temel ekipmanlar üzerinden optimizasyon adımları gerçekleştirilip, halihazırda ortaya konmuş gerçek sistem üzerine bu parametreler aktararak sistemin çalışmasındaki verimliliğe katkısı ortaya konmuştur. Böylelikle bir ürünün üretim sürecinde kullanılacak otomasyon hattının tasarımında mühendislik hesaplamaları, hareket analizleri, eyleyicilerin etkileri, algılama ve kontrol parametrelerinin aynı anda düşünülerek hat tasarımının tamamlanması gerektiği tezi deneysel olarak da desteklenmiştir. Örnek sistemde çevrim süresinin ve tasarım süresinin kısalmasından doğan hatırı sayılır bir iyileştirme sağlanmıştır.

Otomasyon sistemlerinin tasarım boyutuyla ilgili bu yeni yaklaşım sayesinde hatlar ortaya konulmadan iyileştirmelerin yapılabilmesi üretim verimliliğini olumlu yönde etkilemiştir. Özellikle genel ağırlıkları fazla olmayan ve gramaj olarak farklı ebatlarda üretilen ürünler için kullanılan hatların tasarımda oldukça işe yarayacaktır. Ayrıca genel otomasyon sistemlerinin tasarımdan devreye almaya kadar geçen sürede ortaya çıkabilecek birçok hatanın çok önceden görülmesine ve çözülmesine olanak sağlayacaktır. Bu özelliğiyle çalışma otomasyon hattı tasarımına yeni bir bakış açısı kazandırılmasına ışık tutacaktır.

# **ABSTRACT**

## **INVESTIGATION AND OPTIMIZATION OF PRODUCTION EFFICIENCIES OF AUTOMATION SYSTEMS**

Automation systems are mechatronic systems that combine mechanical, electrical and software issues. However, today, these systems continue to be revealed by combining the studies of these separate units in some enterprises. Therefore, when the system is introduced, it mostly requires mechanical, electrical and software improvements.

In this study, an automation line, which was previously put forward to realize a certain scenario, was redesigned in a virtual environment and all improvements were tried on this design, and its effect on the efficiency of the system was investigated. A simple conveyor line marking on cylindrical parts was used as an automation line. By optimizing different parameters on the design of this line, improvements could be tried in the virtual environment. In the research, conveyor speed, system operation algorithm, sensor detection distance, pneumatic cylinder working speed, mechanical layout etc. Optimization steps are carried out on the most basic equipment that can be in an automation system, and these parameters are transferred to the real system that has already been revealed, and its contribution to the efficiency in the operation of the system has been revealed. Thus, the thesis that the line design should be completed by considering engineering calculations, motion analysis, the effects of actuators, sensing and control parameters at the same time in the design of the automation line to be used in the production process of a product has been supported experimentally. Considerable improvement has been achieved in the sample system due to the reduction of cycle time and design time.

Thanks to this new approach to the design dimension of automation systems, making improvements without laying out lines has positively affected production efficiency. In particular, the lines used for products that do not have a large overall weight and can be produced in different sizes in terms of weight will be very useful in the design. In addition, it will allow many errors that may arise in the period from design to commissioning of general automation systems to be seen and resolved much earlier. With this feature, it will shed light on gaining a new perspective on the work automation line design.

## SEMBOLLER/SYMBOLS

<b>I, i</b>	: Akım (A)
<b>l</b>	: Uzunluk (milimetre)
<b>t</b>	: Zaman (s)



## KISALTMALAR/ABBREVIATIONS

<b>AR</b>	: Arttırılmış Gerçeklik (Augmented Reality)
<b>3B</b>	: 3 Boyutlu
<b>HMI</b>	: İnsan Makine Arayüzü (Human Machine Interface)
<b>I/O</b>	: Giriş/Çıkış (Input/Output)
<b>IoT</b>	: Nesnelerin İnterneti (Internet of Things)
<b>MCD</b>	: Mekatronik Konsept Tasarımcısı (Mechatronic Concept Designer)
<b>PLC</b>	: Programlanabilir Lojik Denetleyicisi (Programmable Logic Control)
<b>PLM</b>	: Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi (Product Life Cycle Management)
<b>TIA</b>	: Tamamen Entegre Otomasyon (Totally Integrated Automation)



## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Geleneksel Mekatronik Sistem Tasarım Aşamaları .....	4
Şekil 1.2. Hataların süreçteki yerine göre düzeltme maliyetleri .....	5
Şekil 2.1. Geleneksel Yöntem İle Ortaya Konmuş Sistem .....	8
Şekil 2.2. Sistemin elektriksel revizyonu yapılmış hali .....	8
Şekil 2.3. Düşük devirli motorun devir sayısının ölçülmesi .....	9
Şekil 2.4. Devir sayısını yükseltecek triger kasnak değişimi .....	9
Şekil 2.5. Sürtünme katsayısı parametresi ayarlama .....	12
Şekil 2.6. Besleme oluşunun düşük açıdaki hali .....	13
Şekil 2.7. Besleme konumu hatta dik besleme .....	13
Şekil 2.8. Hatta dik besleme sonucu parçanın düşüşü .....	14
Şekil 2.9. Parça besleme konumu hatta paralel .....	14
Şekil 2.10. Farklı parçaların besleme durumu .....	15
Şekil 2.11. Farklı parçalar .....	15
Şekil 2.12. Sistemin çalışma algoritmasının çıkarılması .....	16
Şekil 2.13. MCD modülünde işlem sıralarının ayarlanması .....	17
Şekil 2.14. PLC programı için hazırlanmış alt programlar .....	17
Şekil 2.15. PLC program satırları .....	18
Şekil 2.16. Sistem HMI tasarımı .....	19
Şekil 2.17. Sistemin optimize edilmiş hali .....	19
Şekil 2.18. Optimizasyon adımlarına bağlı çevrim süreleri .....	20
Şekil 2.19. Kullanılan Örnek Sistem .....	21
Şekil 2.20. Optimizasyon Öncesi ve Sonrası Algoritma .....	22
Şekil 2.21. Optimizasyonu yapılmış işlemlerinin programdaki gösterimi .....	23
Şekil 2.22. Motor hızı optimizasyonu öncesi şişenin Y ve Z eksenindeki hareketleri .....	23
Şekil 2.23. Motor hızı optimizasyonuna bağlı şişenin Y ve Z eksenindeki hareketleri .....	24
Şekil 2.24. Optimizasyon öncesi(a) ve sonrası(b) silindir .....	25
Şekil 2.25. Mekanik tasarım optimizasyon aşamaları .....	26
Şekil 3.1. Yapılan optimizasyonların yıllık üretim miktarına etkisi .....	28
Şekil 3.2. Otomasyon hatlarında sanal optimizasyonun sağladığı faydalar .....	30

## TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1: Optimizasyonun Verimliliğe Etkisi (1.Çalışma) .....	20
Tablo 3.1: Optimizasyonun Verimliliğe Etkisi (2.Çalışma) .....	28



## 1. GİRİŞ

Makinelerin veya üretim tesislerinin çoğu, mekanik tasarımla başlayan, elektrik ve akışkan sistemlerinin tasarımı ile devam eden otomasyon mühendisliği ve devreye alma ile biten sıralı bir süreçte tasarlanmıştır. Bu genellikle farklı departmanlar veya şirketler tarafından yapılmaktadır. Belirli bir disiplinin her aşamasında ayrıntılı planlama yapılır ardından planlama simülasyon yoluyla doğrulanır. Üretimde yüksek kalite elde etmek, zaman ve maliyetleri azaltmak için en yüksek potansiyelin disiplinler arası işbirliğini optimize etmek gerekir. Sürekli makine tasarım sürecinde alınan kararı desteklemek için farklı eylem mekanizmaları simüle edilebilir [1]. Bir çalışmada konveyör makinesinin sanallaştırılmasında kullanılan çalışmada, modelin yapıldığı konveyör cihazı tasarlanarak Siemens NX MCD yazılımına taşınmıştır. Sistem çalışmasının kontrolü için hazırlanan PLC programı Siemens Totally Integrated Automation Portalın'da (TIA Portal) hazırlanmıştır. TIA portal ve Siemens NX MCD arasındaki bağlantı bir OLE for Process Control (OPC) sunucusu ile yapılmıştır. Siemens NX yazılımının kullanılması entegre bir ürün geliştirme ortamında daha akıllı kararlar alınmasını sağlamıştır. Bir makinenin sanal modelinin yapılmasının nedeni nasıl çalıştığını görmek ve gerçek makineyi yapmadan önce sorun riskini en aza indirmektir bu durum üretim maliyetlerini düşürdüğünü fikri savunulmuştur. Bilgisayar üzerinde yapılan simülasyon herhangi bir gerçek ekipmana zarar vermeden üretim çıktısının test edilerek fiziksel sistemin doğrulanmasını sağladığı için farklı endüstriyel modelleri tasarlamak, mühendislik çalışmalarını yapmak ve simüle etmek için bir yol sunacağı öngörülmüştür. [2]. Tasarım, tasarım-inşa-imalat sürecinin ilk aşamasıdır. Bu aşamada, teknolojik tasarım ile ilgili olarak ana odak noktası, geliştirilmekte olan kavram sisteminin çalışmasını doğrulamaktır. Bu aşamada PLM Siemens NX yazılımının MCD modülü ile sanal kontrolörün entegrasyonu kullanılarak kontrol bağlamında teknolojik bir hattın tasarımı geliştirilmiş ve bu çalışmada bir iç ulaşım sisteminin son kısmı şeklinde bir teknolojik hattın sıralı kontrol sistemi incelenmiştir. Başka bir çalışmada ürünün iki stanttan birine paketlenmesini ve taşınmasını sağlayan bir sistemde ilk stantta işçi üretilen ürünleri almak ve depolamak için manuel bir işlem kullanılmış ve ikinci stantta bu görev endüstriyel bir robot tarafından gerçekleştirilmiştir. Sıralı kontrol sistemini doğrulamanın ilk adımı, kontrol sürücü bağlamında sürücüler tarafından gerçekleştirilen hareketlerin

sırasını doğrulamakla ilgilidir. Bunu sağlamak için kontrol sisteminin sanal modelini gerçek PLC denetleyicisi veya sanal bir modelle entegre edilmesi gerektiği ortaya çıkarılmıştır [9]. İncelenen bir makalede, soğuk yönlendirme makinesinin iletim mekanizmasının servo kontrol teorisine dayanan konsept tasarımı araştırılmıştır. Geleneksel soğuk başlık makinesinde genellikle sürücü olarak sabit hızda üç fazlı bir motor kullanılır ve soğuk istikameti tamamlamak için volanın enerji depolama fonksiyonu ile birleşir. Bununla birlikte, soğuk yönlendirme makinesinin kayma bloğunun hareket eğrisi farklı işlem gereksinimlerine göre değiştirilemez esnekliği oldukça zayıftır ve modern pazarın gelişimine olan talep karşılanamamaktadır. Her parçanın mekanik hareketi ayrı bir kontrol motoru tarafından tahrik edilir ve hareket PLC tarafından koordine edilir. Servo sisteminin Siemens NX MCD modülüyle hata ayıklayarak tasarım maliyeti büyük ölçüde azaldığı gösterilmiştir. Soğuk yönlendirme makinesinin servo sisteminin kontrolünde PLC (Programable Logic Control) ile NX MCD arasındaki iletişim gerçekleştirilmiştir. Sinyal eşleme fonksiyonu ile PLC sinyali, MCD modelinde tanımlanan her fiziksel miktarla eşleştirilmiş böylece PLC programı ve bilgisayardaki sanal prototipleme modeli arasındaki bağlantı tamamlanmıştır. Bu da PLC'nin sanal hata uygulamak için üç boyutlu modeli doğrudan yönlendirebileceği anlamına geldiğinden otomasyon programının doğruluğu, teorik tasarımda tanımlanan hareket yörüngesini harici kontrol cihazı tarafından oluşturulan hareket yörüngesi ile karşılaştırarak doğrulandığı bilgisine ulaşılmıştır [1].

Endüstri 4.0'ın en önemli kısımlarından biri sanallaştırma'dır. Sanal devreye alma modelinin ağır takım tezgâhlarının geliştirilmesinde uygulanmaya başlamıştır. Bir projede ağır takım tezgâhları incelenmiştir. Çalışma süreleri çok pahalı olan bu makinenin çalışma süresini azaltmak ve güvenilirliği arttırmak amaçlanmıştır. Sanal model Siemens NX MCD modülünde çalıştırılmış ve makinenin kendi kontrol sistemi tarafından kontrol edilmiştir. Bunun sonucunda MCD içinde makine kabınınin hareketi çözülmüş ve kabin durdurulduğunda konumu analiz edilebilir hale getirilmiştir. Bu sayede son konumları optimize etmek mümkün olmuştur. Siemens NX' teki maksimum hızlanma ve sarsıntı parametreleri tüm eksenler için ayarlanmıştır. Makinenin çalışması sırasında oluşan titreşimler yer değiştirme ve hız grafiğinde gözlemlenmiştir. Gözlemlenen yer değiştirme ve hız grafiğinde düzgün bir başlangıç gerçekleşmiştir. Bu davranış gerçek makinenin davranışına karşılık gelmiştir [3]. Literatür taramalarında bu

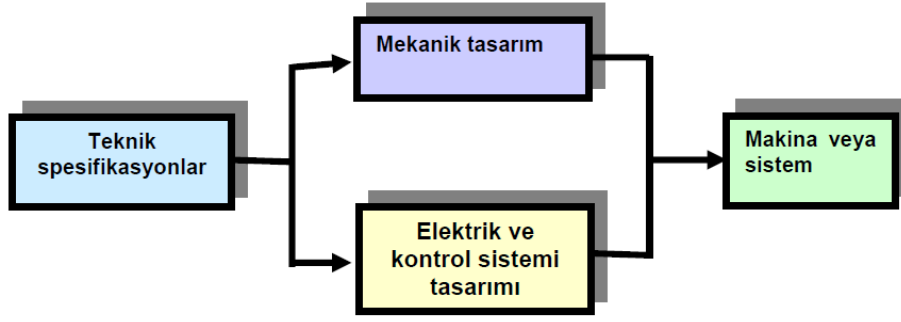
şekilde bazı iyileştirme örnekleriyle karşılaşmıştır. Otomasyon hatları yapısı itibariyle sensörler, uyarıcılar, butonlar, motor, sürücü, pnömatik eyleyiciler gibi birçok I/O (giriş ve çıkış) elemanından oluşmaktadır. Bu elemanların otomasyon hatları üzerinde de konum, tepki süresi, hız, hareket grafikleri gibi parametreleri değiştirilebilmekte ve kontrol edilebilmektedir. Bu tür yapıların ve parametrelerin mekatronik sistemlerdeki etkisi üretim sürecindeki verimliliği etkilemektedir. Aynı zamanda bu giriş çıkışları kontrol eden ve mekatronik sistemlerin kontrolünde temel taşlardan biri olan programlanabilir mantıksal denetleyici olan PLC'lerin programlanmasına yardımcı olacak algoritmaların ortaya çıkarılmasının verimliliğe olumlu etkileri vardır [4].

Endüstri 4.0'ın yaygın olarak konuşulduğu ve sanayiye etkilemeye başladığı bu yeni dönemde birçok yeni teknoloji ortaya çıkmıştır [5]. IoT (Nesnelerin interneti), akıllı fabrikalar, 3B (3 boyutlu) yazıcılar, AR (artırılmış gerçeklik), giyilebilir teknolojiler vb. bu teknolojilerden bazılarıdır [6]. Sanal devreye alma da bu parlayan teknolojilerden biridir. Sanal devreye alma teknolojisi sayesinde tasarlanacak hattın daha az hatayla üretileceği ve tasarım sürecinin hızlanarak zamandan tasarruf edileceği düşünülmektedir. Gerçek prototiplerin kurulmasına gerek kalmadan sistemin test edilmesi sağlanarak oluşacak maliyetler ve gerekli işgücünün en aza indirileceği görüşü ortaya konmuştur [7].

### **1.1. Otomasyon Hatlarının Geleneksel Yöntemlerle İnşasında Yaşanılan Aksaklıklar**

Mekatronik sistemlerin birkaç disiplini barındırması ve karmaşık bir yapı oluşturması sebebiyle otomasyon hatlarının düşünceden devreye alınmasına kadar olan süreçte değişik problemlerin oluşması kuvvetle muhtemeldir. Bu tür sorunların ortaya çıkması durumunda değişik yöntemlerle sorunun çözümüne yönelik çalışılmaktadır. Fakat yapılan bu çözümler zaman kaybı ve imalat masraflarına sebep olmakta, tasarımda değişikliğe gidilmesini dahi gerektirebilmektedir.

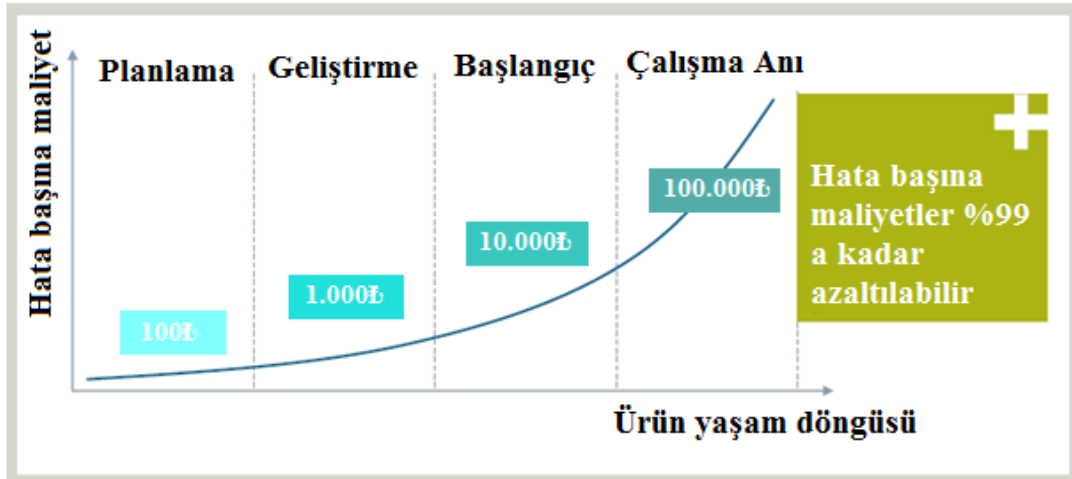
Otomasyon hatlarının geleneksel olarak tasarlanıp devreye alınmasında, Şekil 1.1'de belirtildiği gibi hattı kuracak işletme tarafından teknik özellikler belirlenir. Sonrasında mekanik ve elektriksel tasarım ayrı ayrı çalışılıp sistem ortaya çıkarılmaktadır. Otomasyon sisteminin çalışması gerçek makine veya üretim hattında test edilmektedir.



**Şekil 1.1.** Geleneksel Mekatronik Sistem Tasarım Aşamaları

Bu sistemlerin gün geçtikçe daha karmaşık hale gelmesiyle sistemlerin tasarlanması, prototipinin oluşturulup test edilmesi gibi aşamalar oldukça uzun vakit alabilmektedir. Ayrıca bu durum uygulamada bazı problemler ortaya çıkarmaktadır. Bu problemler işletmeler tarafından bilinmektedir. Problemleri ortadan kaldırmak için bazı yöntemler kullanılmaya başlanmıştır. Bu problemler içerisinde en önemlisi mekanik tasarım ve elektriksel tasarımın farklı kişiler tarafından yapılmasıdır. Bu durum kişilerin bilgi ve deneyimlerini soruna ortak çözüm olarak bir sonuç ortaya koyamamalarıdır. Fiziki olarak çalışma ortamları bile farklı olan kişilerin ekip çalışması yapması zor olmaktadır. Teknik konularda da birbirini etkileyen bilgi eksiklikleri tasarımın mekanik, elektriksel ve kontrol basamaklarında en uygun çözüme ulaşmayı engellemektedir [8].

Otomasyon sistemlerinin tasarlanmasında yapılan küçük bir hata sistemin çalışmasına büyük zararlar verebilmektedir. Bu durum üretici firmalar için zaman kaybına ve maddi zarara yol açmaktadır. Test aşamasında otomasyon sisteminde kullanılan çeşitli sensörler, eyleyici vb. elemanların sistem üzerinde nereye konulursa daha verimli çalışacağını keşfetmek uzun yılları alan tecrübe ve bilgi birikimiyle gerçekleşebilmektedir [9]. Tanımlanamayan bir hata için hata ile ilgili maliyetler Şekil 1.2’de gösterildiği gibi tasarım sürecinin her safhasında yani ürün yaşam döngüsü yönetiminde (PLM) 10 kat artabilmektedir. Bir hata ne kadar erken tanımlanır ve düzeltilirse kuruluş için o kadar az maliyetli olmaktadır [10].



**Şekil 1.2.** Hataların süreçteki yerine göre düzeltme maliyetleri

Makine tasarımı karmaşık bir süreçtir. Mekanik tasarım, elektrik ve kontrol yazılımı arasındaki etkileşim birçok organizasyonda ciddi sıkıntılara yol açmaktadır. Çoğu durumda, elektriksel tasarım ve yazılım geliştirme, mekanik tasarım tamamlanıncaya kadar başlayamamaktadır. Elektromekanik ürünler için tasarım yöntemlerinin çoğunun seri olması ve ilgili ekiplerin makine entegrasyonu öncesinde optimum etkileşiminin daha az olması sorun oluşturmaktadır. Bir makinenin gelişiminin ayrı bölümlerini (mekanik, elektrik, şemalar ve PLC yazılımı) gerçekleştirmek için birçok dijital araç vardır. Ancak bu disiplinleri tek bir işlev gören dijital prototipte birleştirmek mümkün olmamıştır. Bu da kavramları test etmeyi ve alternatifleri değerlendirmeyi zorlaştırmaktadır. Ayrıca, ilk derleme sürekli bir ayarlama, tekrar test ve hata ayıklama turu haline geldiği için gecikmeler yaygın olarak yaşanmaktadır.

Günümüzde, müşteri gereksinimlerini toplama ve ayrıntılı mühendisliğe başlama aşamaları arasında bir darboğaz vardır. Birçok büyük şirkette tasarlanan hat montajı ve devreye alma arasında doğrudan bir bağlantı yoktur. Bu da sistemi ortaya koyma ve devreye almaya kadar tüm gereksinimlerin karşılanamaması sorununu ortaya çıkarmaktadır [11]. Bu darboğaz, hareket kontrol yazılımı ve elektrik tasarımı gibi aşamaların başlamasından önce sağlam geometrik kavramlara ihtiyaç duyulduğu için, müşterilerin çoğu için ciddi bir problem teşkil eder. Müşteriler sadece işin sonucundaki sistemle ilgilenirken makine imalatçıları tasarımda aynı işi yapabilecek onlarca farklı mantık ve ekipman arasından optimumunu seçmek için çabalar.

Sonuçta, düşünsel tasarım ayrıntısız haliyle bir mekanik tasarım haline getirilir. Ancak burada da sadece çarpışma gibi basit durumların testi yapılabilir. İmalat sonrasında da

otomasyon hattının tüm denemeleri gerçek sistem üzerinde yapıldığında hattın maksimum hızlarının denenmesinin sisteme zarar verme riski olduğu için bazen denenemez ve gerçekte maksimum hızlardan daha düşük hızlarda çalışma yapılmak zorunda kalınabilir.

## **1.2. Otomasyon Sistemlerinin Sanal Optimizasyonunun Sağlayacağı Faydalar**

Otomasyon hatlarının devreye alınmasında ortaya çıkan sorunlara çözüm olarak sistemin optimizasyonunun yapılabildiği sanal devreye alma; devreye alma sürecinde maliyet ve zaman verimliliğini getiren ve pazara sunma süresini kısaltan bir tekniğin gerekliliğine bir cevap olarak ortaya çıkmıştır [12]. Bu sorunların ortadan kaldırılması için eşgüdümlü çalışılmalıdır. Makinenin dijital ikizi daha önceden oluşturulup optimizasyonlar bu dijital ikiz üzerinde yapıldığında gerçek makinenin devreye alınması da sanal devreye alma sayesinde çok daha kısa olacaktır. Aralarında birçok köklü firmanın da olduğu bazı firmalar bu şekilde yazılımları; sistem tasarımından üretimine, üretiminden kullanıma, müşteri istekleri ve ürün değişimine uygun hale getirmeye kadar birçok aşamada kullanmaktadırlar.

Önde gelen bir tesis ve proses otomasyonu firması, kozmetik endüstrisine esnek paketleme makineleri geliştirmek için bu şekilde yazılımlar kullanarak verimliliğini arttırmıştır. Farklı disiplinlerden mühendislerin aynı anda projeler üzerinde çalışmasını sağlayarak geliştirme süresini yüzde 30'a kadar düşürdüğünü iddia etmiştir. Yazılımlar, dijital bir ikiz makine veya sistem oluşturmasına ve sanal olarak devreye almasına olanak tanır. Makine modeli ayrıca tüm uygulamanın işlevselliğini test etmek için gerçek makine kontrolüne bağlanır. Bu özellikler, mekatronik mühendislerinin gerçek makinenin devreye alınmasını büyük ölçüde hızlandırmasını sağlar [13].

Bu araştırmalar sonucunda bu çalışmada karmaşık yapıdaki otomasyon hatlarının oluşturulması sürecindeki hataları azaltmak amaçlanmış ve bu tür sistemlerde üretilecek hattın üretim ve kurulumunu kapsayan tüm süreç optimize edilmiştir.

## **1.3. Otomasyon MCD (Mechactronics Consept Designer) Nedir?**

Endüstri 4.0 birçok üniversite, şirket ve araştırma merkezinin ilgi odağı oldu. Bu konu hakkında yazılmış birçok makale bulunmaktadır. Endüstri 4.0'ın yeniliklerinden biri de 'Sanal Devreye Alma' konusudur [14], [15], [16].

Sanal devreye alma birçok fiziksel fenomenin bilgisayar yazılımlarıyla modellenmesine ve simülasyonuna dayanan tasarım şeklidir. Sanal devreye almanın amacı ürün geliştirme sürecini hızlandırmak, maliyeti azaltmak, olası riskleri en düşük seviyeye çekmek ve tasarım kalitesini arttırmaktır. Sanal devreye alma konseptinde, işlem bilgisayar ortamında gerçek bir PLC veya sanal PLC aracılığıyla gerçekleştirilir [3].

Bu çalışmada kullanacağımız program Siemens NX'in Mechatronics Concept Designer(MCD) modülüdür. MCD, Siemens NX tasarım yazılımına bir eklentidir. MCD, etkileşimli tasarıma yöneliktir ve karmaşık mekatronik sistemleri ve modellerini tasarımdan itibaren simüle edebilir. MCD, mekatronik bir sistemin tasarım sürecini geliştirmek amaçlı kullanılabilir ve bitmiş sistem, nihai üretiminden hemen önce test edilebilir. MCD elektromekanik tasarım ilkelerini kullanarak çalışır. Tasarlanan 3D model, sensör ve aktüatör verilerini, PLC mantık programlarını ve harici programlar arasında veri iletimini oluşturmak ve birleştirmek için kullanılabilir. Bu mekaniği kolaylaştırır. Mekanik, elektrik ve otomasyon tasarımcıları, planlarının nasıl çalıştığını görmek, aralarındaki işbirliğini geliştirmek ve tasarım açısından bir mekatronik cihazın piyasaya sunulmasını hızlandırmak için Siemens NX'in sunduğu MCD modülünü kullanmaktadırlar [17].

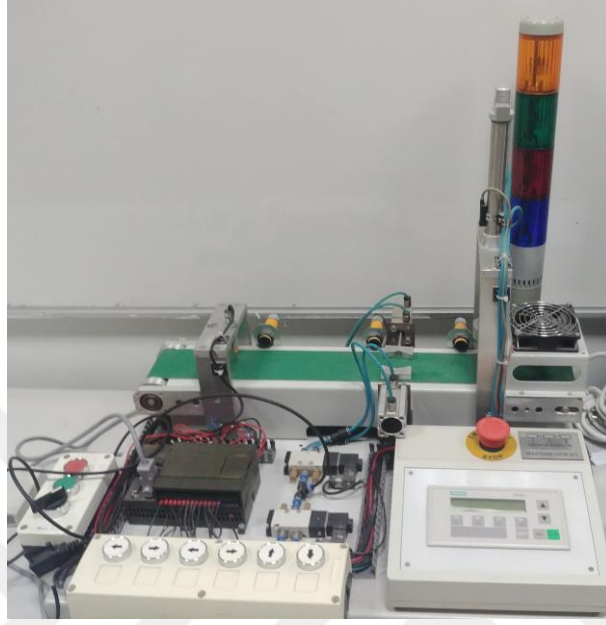
## **2. MATERYAL VE METOT**

Bu çalışmada öncelikle daha önce geleneksel yöntemlerle ortaya çıkarılmış bir konveyör sistemi üzerinde optimizasyon adımları gerçekleştirilecek şekilde yeniden tasarlanmıştır. Ayrıca parametrelerin verimliliğe etkisini daha fazla kıstas üzerinden ortaya koyabilmek için bütçe ayrılmadan sadece tasarım üzerinden optimizasyon adımları gerçekleştirilecek şekilde de ayrı bir konveyör bantlı otomasyon hattı üzerinden çalışmalar yapılmıştır.

### **2.1. Geleneksel Yöntem İle Ortaya Konmuş Sistem**

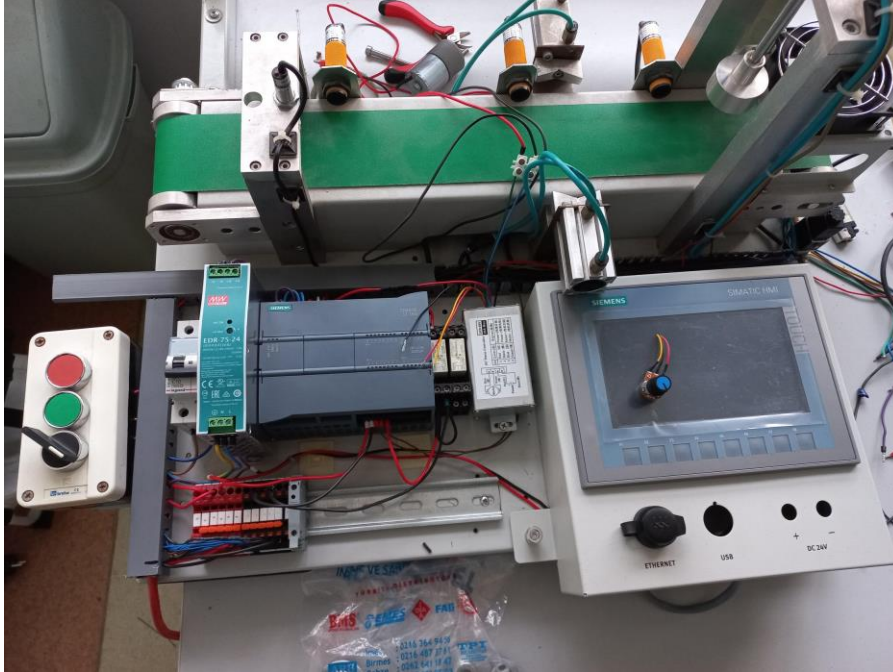
Şekil 2.1'deki sistemde silindirik parçalar üzerine markalama işlemi yapılmaktadır. Sistemde konveyör girişinden parçalar beslenmekte ve parçalar bir sensör aracılığıyla sayılmaktadır. Ayrıca endüktif sensör ile metal parçalar ayrıca sayılabilmektedir. Konveyöre rastgele yerleştirilen parçalar hattın ortasındaki kompakt silindirlerle merkezlenmektedir. Parçalar 100mm stroklu bir silindir ile markalandıktan sonra bir fan

ile kurutma işlemi yapılmaktadır. Çalışmada üretilen parçaya yapılan işlemlerden daha çok sistemin daha fazla ürüne işlem yapılabilmesi için ayarlanabilecek parametreler üzerine yoğunlaşmıştır.



**Şekil 2.1.** Geleneksel Yöntem İle Ortaya Konmuş Sistem

Öncelikle sistemin elektriksel alt yapısı Şekil 2.2'deki gibi sanal olarak parametreleri değiştirilebilecek hale getirilmiştir.



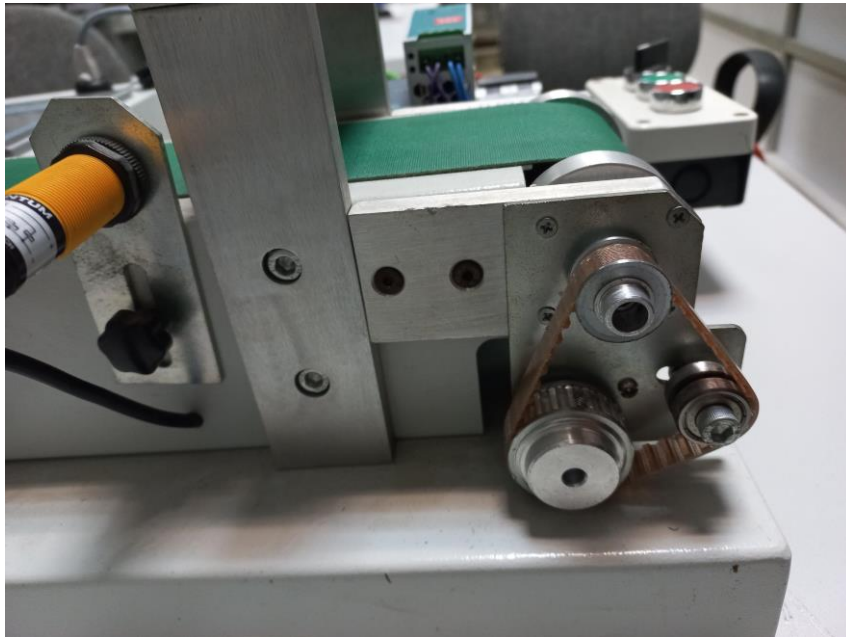
**Şekil 2.2.** Sistemin elektriksel revizyonu yapılmış hali

Düzeltilen sistemde manuel denemeler yapılmış ve sistemde bazı istenmeyen durumların olduğu gözlemlenmiştir. Bu sorunlardan biri konveyör bantı döndüren motorun hızının optimizasyon yapılamayacak kadar düşük olmasıdır. Halihazırdaki sistemde takılı olan Şekil 2.3'deki motor sökölüp devir sayısı ölçölümüş ve hız probleminin motordan kaynaklandığı görölümüştür



**Şekil 2.3.** Düşük devirli motorun devir sayısının ölçölümü

Sisteme ayar yapılmaya izin verecek bir motor takılmıştır ve hızın daha da yükselmesi için Şekil 2.4'deki gibi 2/1 oranında tahvil yapacak şekilde triger kasnak eklenmiştir. Bu sayede maksimum hızın 2 katlarına çıkılmasına izin verilmiştir.



**Şekil 2.4.** Devir sayısını yükseltecek triger kasnak değışimi

Elektriksel bağlantıların tamamlanması ve mekanik düzeltmelerin yapılmasından sonra optimizasyonların yapılabilmesi için sistem yeniden üç boyutlu olarak modellenmiştir. Modelleme işleminden sonra bazı fiziksel parametrelerin sanal ortamda denenebilmesi için NX-Mechatronic Concept Designer-MCD modülü kullanılmıştır. Modül kullanılırken aşağıda belirtilen püf noktalarına dikkat edilmelidir.

- Ayrı parçalar ayrı ayrı çizilir.
- Alt montajlar ayrı bir sayfada yapılır (Silindir kapak boru vs. gibi)
- En son bir montaj sayfasında tüm kullanılacak parçalar (Assembly Load options altından structure only) ayarı yapılarak parçalar montajlanır. Bunun sebebi parçanın tüm detaylarıyla açılıp bilgisayarınızı zorlamasını engellemektir.
- Tüm montajlar yapıldıktan sonra NX 12 de Application içinde en sondaki more altındaki menüden Mechatronic Concept Designer Açılır. (NX 1926 da Yeni proje oluştururken direkt MCD seçilerek yeni MCD dosyası açılır. Montajlı tüm proje Add components ile buraya çağırılır.)
- İlk olarak katı parçalar Rigid body ile rijit olarak belirlenir. (Sadece hareket edecek ya da çarpışacak parçalar için bunu yapmanız şarttır)
- Birbirini mekanik olarak görmesi gereken parçalar Collision Body ile ayarlanır. Bu sayede Play e basıldığında parçalar uzayda yerçekimi varmış gibi davranmaya başlar.
- Bant gibi lineer taşıma yapan parçalar Collision body altından transport surface seçilerek yönü ve hızı ayarlanır.
- Play butonuna basılınca rijit parça collision body de seçilen yüzeye kadar düşer ve ayarlanan hızda bant üzerinden akar sensör yoksa boşluğa kadar gider ve düşer. Stop butonuna basılınca parçalar tekrar ilk pozisyonuna gelir.
- Sürekli parça beslenmesi için Object source kısmından times based seçilir. Besleme aralıkları süresi ayarlanır.
- Lineer hareketler için Hinge joint altından sliding joint seçilir. Base olarak sabit parça-attachment olarak da hareket edecek parça seçilir. Çıkan axis vektörden de hangi yöne kayması isteniyorsa o yön seçilir. Üst ve alt limit mesafeleri girilir ve onaylanır.

- Lineer hareketin kendiliğinden olması için electrical menüsünden position control seçilip, çıkan pencereden daha önce ayarlanmış linear joint seçilir. Hedef mesafe ve hız girilir.
- Silindirin milinin çalışması için gövdedeki tüm parçaların ayrı, milin ayrı rigid body olarak seçilmesi gerekir. Fix sabitleme menüsünden gövde fixlenir. Mil attecment yani hareketli parça olarak eklenir. Elektrik menüsünden “position control” buna da tanımlanarak hareket hızları vs. ayarlanır.
- Animasyon sekmesinden sıralı çalışacak operasyonlar eklenir ve birinin sonu diğerinin başına sürükleyip bırak ile birleştirilerek sistemin animasyonunun art arda çalışması sağlanır.
- Hareket hız vs grafikler için soldaki physics navigatör menüsünden parçaya ya da tanımlanan harekete sağ tıklanıp add yo inspector a tıklanır. Sonra altındaki runtime inspektörden istenilen değişimin yanındaki graph işaretlenerek grafiği graph sekmesinden izlenebilir
- Parametre ayarlabilmek için soldan parametre simgesine tıklanıp açılır. İçinde sağ tıklanır Add seçilir. Phsysics Navigatörden sürtünme, linear hız vs seçilip parametrik değeri oradan girilebilir.

MCD ile tasarım yapılırken aşağıdaki hususlara özellikle dikkat edilmelidir.

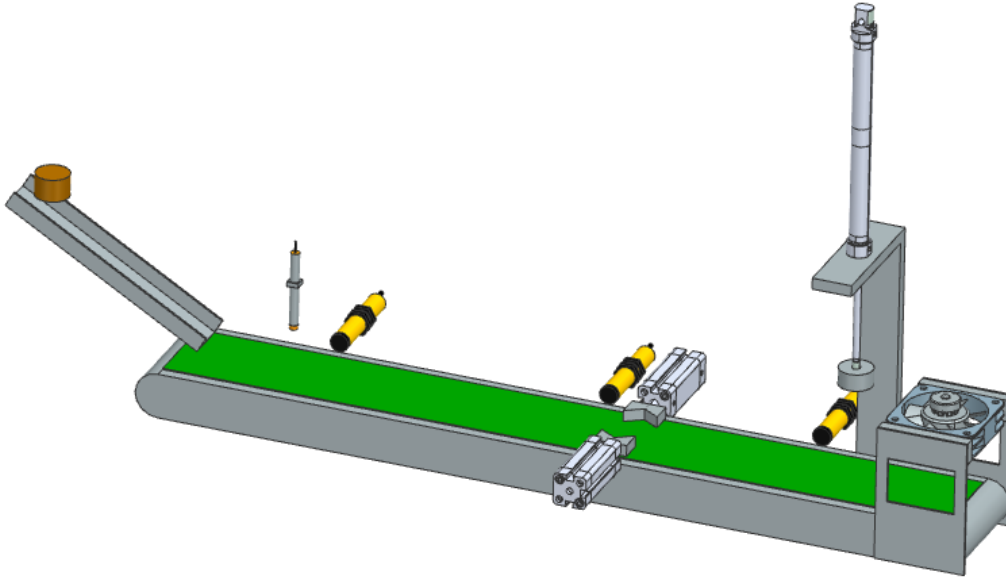
- Birlikte aşağı yukarı hareket etmesini istediğiniz sensör ve farklı parçaları rigid body seçerken aynı anda seçmelisiniz. Mesela silindir pistonu ile başka bir sensör aynı anda hareket edecekse rigid body seçilip bu 2 parça ve alt parçaları seçilip onaylanır.
- Parçalar rigid body ayarlanıp herhangi bir görev verilmezse play tuşuna basıldığında parçalar yer çekimine bağlı düşerler. Görev verilirken birlikte çalışacak rigid body ler seçildiğinde o görevi yerine getirmek üzere düşmeden hareket ederler.
- Montaj parçası üzerinde değişiklik yapabilmek için montajlı parçayı “Make work part” olarak açmak gerekmektedir.
- Dintance sensörü 1 kere kullandıktan sonra dintance sensör tanımlamaları silinse bile sensör olarak kullanılan objeye bu özellik işlenmiş kalır. Dolayısıyla distance kullanacağınız objenin “.prt” uzantılı dosyasını sensör özelliği tanımlamadan önce yedeklemeniz gerekmektedir.

### 2.1.1. Optimizasyon öncesi sanal ortam ile gerçek ortam arasındaki benzerliğin test edilmesi

Sistem parametrik olarak ayarlanabilir hale getirildikten sonra gerçek ortamda bazı denemeler yapıp sanal ortamda bu denemelerin doğru ve aynı sonuçlar verip vermediği test edilmiştir. Bu denemelerden ilki sistemde kullanılan parçaların sürtünme katsayısı olmuştur. Gerçekte plastik parçalar bant üzerinde 20 derece eğime kadar kaymamıştır. Yani  $\tan(x)$  olarak sürtünme çelik-demir için 0.36 ayarlandığında çelik parça rahatça kaydığı görülmüştür.

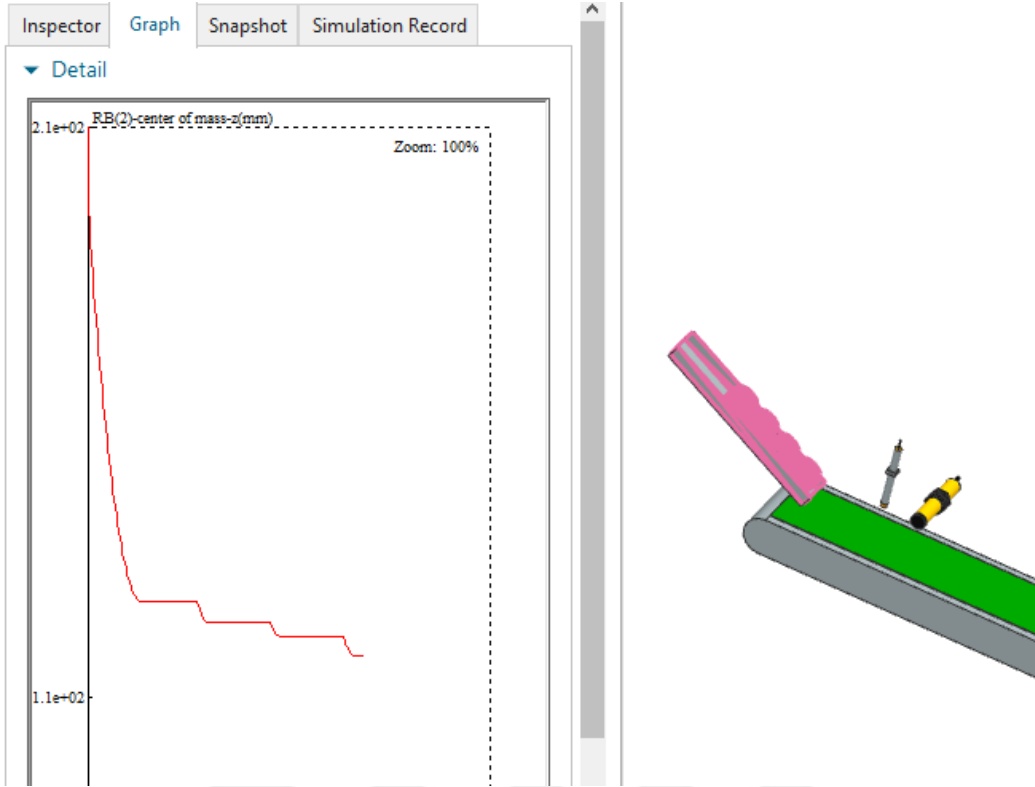
Metal parçaların ise 10.5 dereceden sonra kaydığı görülmüştür.  $\tan(x)$  0.18 ayarlandığında kaydığı görülmüştür. Bu değerler NX arayüzü üzerinde denererek aynı sonuçlar alınmış ve buna göre durma anlarındaki kaymalardan doğan gecikme süresi optimize edilmiştir.

Sanal ortamda da bu değer verildiğinde kayma gözlemlenmiş ve bu değer altındaki bir eğimde kayma olmadığı görülmüştür. Bu denemeler referans alınarak sistemdeki diğer hız parametreleri de Şekil 2.5'deki gibi denemeye başlanmıştır.



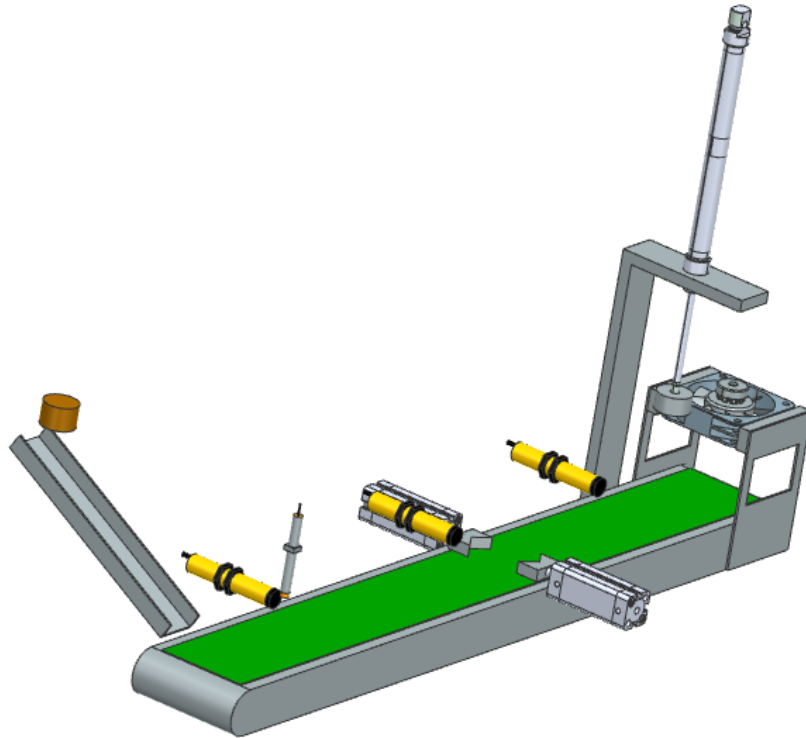
Şekil 2.5. Sürtünme katsayısı parametresi ayarlama

Şekil 2.6'daki gibi açı düşürüldüğünde parçalar takılı kalmıştır. Default değerlerde sürtünme katsayısı 0.7 olarak gelirken bu değerın parça ve oluğun yapıldığı malzemeye göre ayarlanıp denemeler bu şekilde yapılması gerektiği anlaşılmıştır.



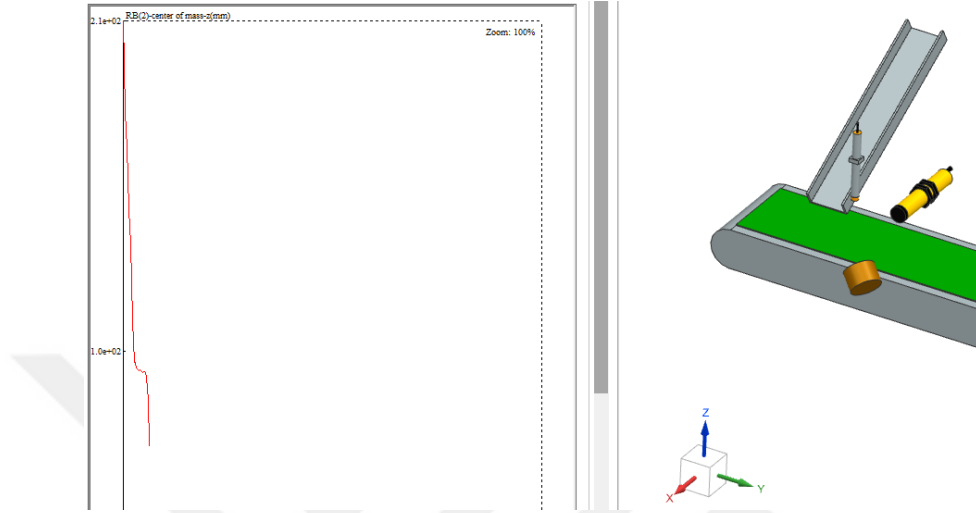
**Şekil 2.6.** Besleme oluğunun düşük açıdaki hali

Sürtünme katsayısı istenildiği gibi ayarlandıktan sonra Şekil 2.7'deki gibi farklı yönlerden besleme denenmiştir.



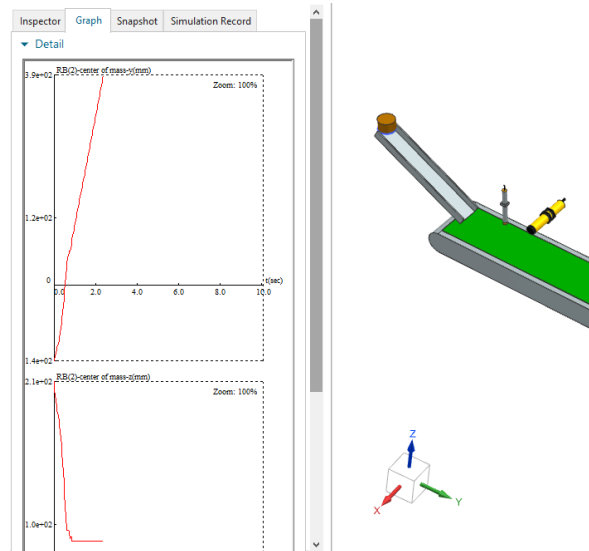
**Şekil 2.7.** Besleme konumu hatta dik besleme

Çelik parçalarda aktarma oluğu eğimi 30 derece iken ve besleme hattı konveyöre dik iken parça konveyöre düştüğü anda yanal bir çekme kuvveti parçanın köşesinden moment oluşturduğu için parça yuvarlanarak Şekil 2.8'daki gibi banttan düşmesine sebep olmuştur.



**Şekil 2.8.** Hatta dik besleme sonucu parçanın düşüşü

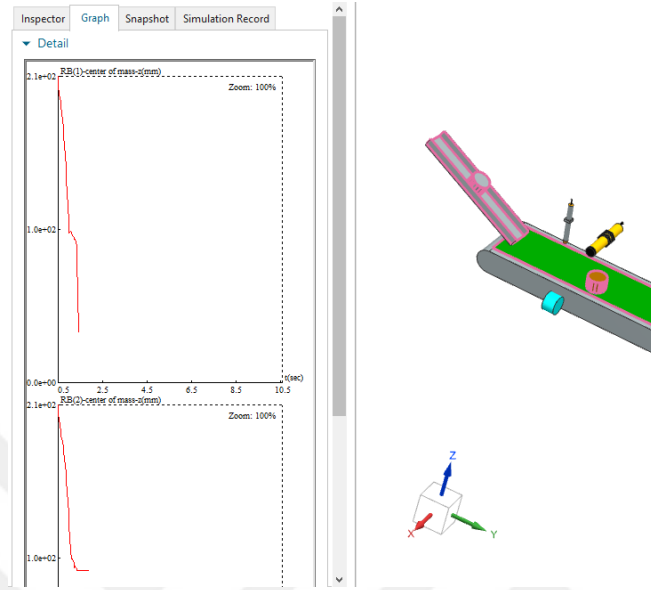
Besleme hattı konveyöre paralel besleyecek şekilde konumlandırılıp besleme oluğu açısının biraz düşürülmesi gerekmektedir. Sürtünme ayarı ve açısal ayarlamalar sonucu çelik parçalar Şekil 2.9'daki grafikten anlaşılacağı gibi düzgün bir şekilde akmaya başlamıştır.



**Şekil 2.9.** Parça besleme konumu hatta paralel

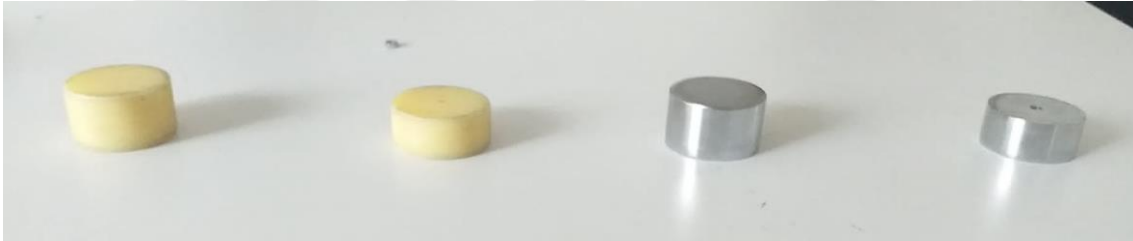
Aynı parametrelerde çelik parçalar devrilmezken daha hafif olan ABS parçalar Şekil 2.10'da görüldüğü gibi devrilmiştir. Sürtünme çelik-demir için 0.53 ayarlandığında

çelik parça rahatça kayıyor. Ancak eklenen ABS parça hafif olduğu için bantta devriliyor.



Şekil 2.10. Farklı parçaların besleme durumu

Şekil 2.11'deki plastik ve metal parçaların hattaki sürtünme katsayısına bağlı hareketleri denendikten sonra diğer parametrelerin denenmesine başlanmıştır.



Şekil 2.11. Farklı parçalar

Sürtünme katsayısı ayarlandıktan sonra sistemde konveyör hızı, silindir hızı, algoritma optimizasyonu gibi denemeler Siemens NX Mechatronic Concept Designer (MCD) modülü üzerinden denenmeye devam edilmiştir ve bundan sonraki optimizasyonlar sanal ortamda yapılarak bulunan optimum parametreler sisteme veya sistemi kontrol eden Siemens TIA Portal yazılımına aktarılmıştır.

### 2.1.2. Konveyör Hızının Optimizasyonu

Tasarlanan ilk algoritma ve son haline göre MCD'da sistem simule edilmiştir. Sanal ortamda öncelikle konveyör hızının optimizasyonu yapılmıştır. Plastik ve metal parçalar

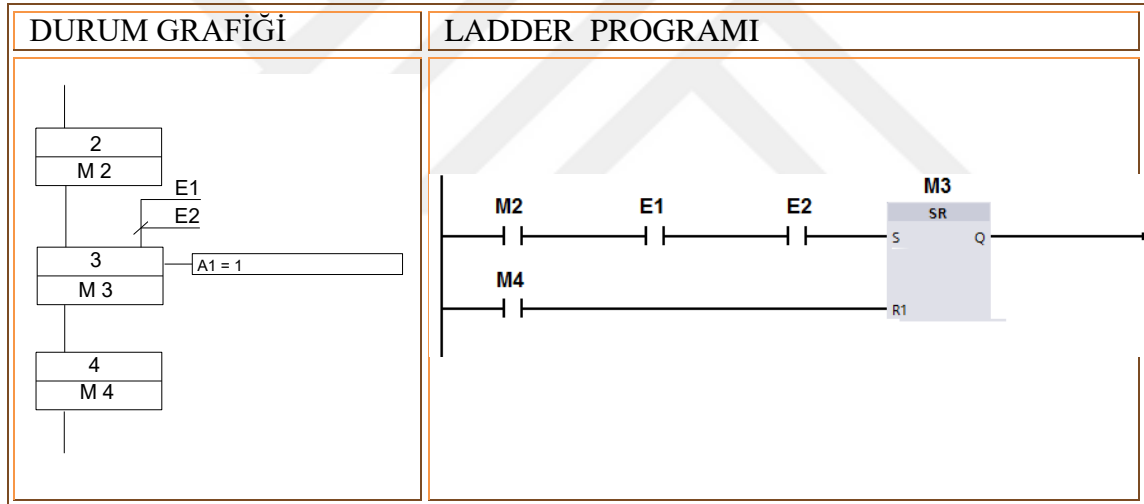
için optimum değer olarak 300 mm/s değeri bulunmuştur. Bundan sonraki denenecek senaryolarda bu değer kullanılmıştır.

### 2.1.3. Algoritmanın Optimizasyonu

Sistem başlangıçta şu senaryo ile çalışmaktaydı:

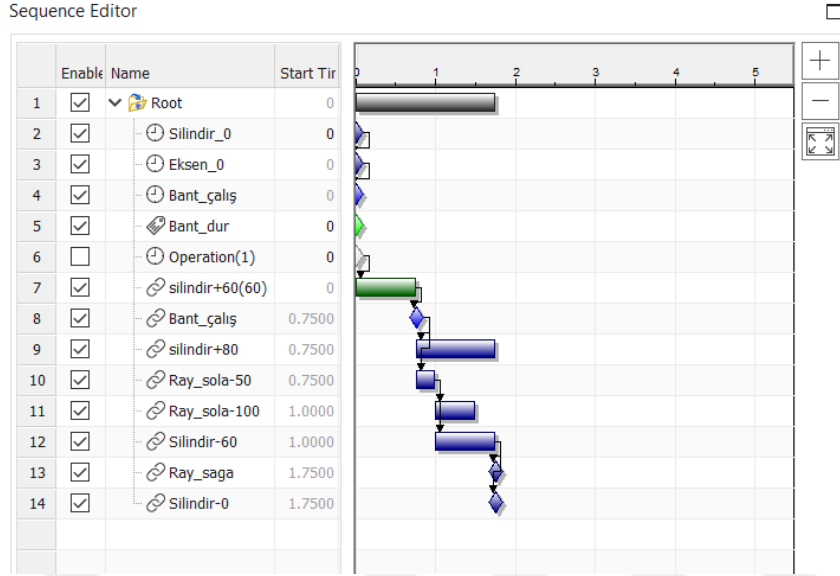
- Start butonuna basıldığında konveyör hareket ediyor. 2. sensör parçayı algıladığında hat duruyor. Merkezleme silindiri parçayı ortada sıkıştırıp açılıyor ve hat akmaya devam ediyor. 3.sensör algıladığında yine hat duruyor markalama silindiri aşağı inip yukarı çıkıyor ve yukarı çıktığında hat akmaya devam ediyor.

Bu senaryoyla çalışıldığında markalama silindiri aşağı iniş ve yukarı çıkış süreleri boşuna beklendiği için çevrim süresi uzun olmaktadır. Dolayısıyla ilk olarak senaryoda bu durum Şekil 2.12'deki durum grafiği mantığıyla düzeltilecek şekilde algoritma oluşturulmuştur.



Şekil 2.12. Sistemin çalışma algoritmasının çıkarılması

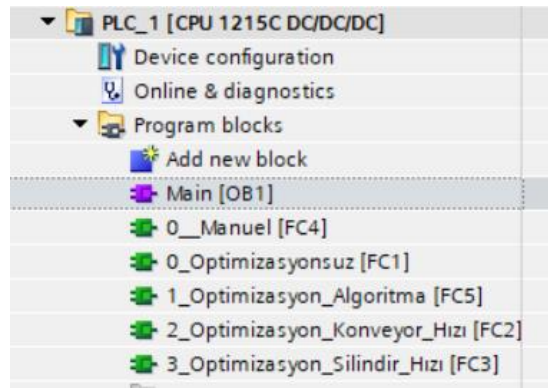
Tüm bu algoritmalar MCD modülünde Şekil 2.13'deki ekranda ayarlandıktan sonra TIA Portal yazılımına aktarılmıştır.



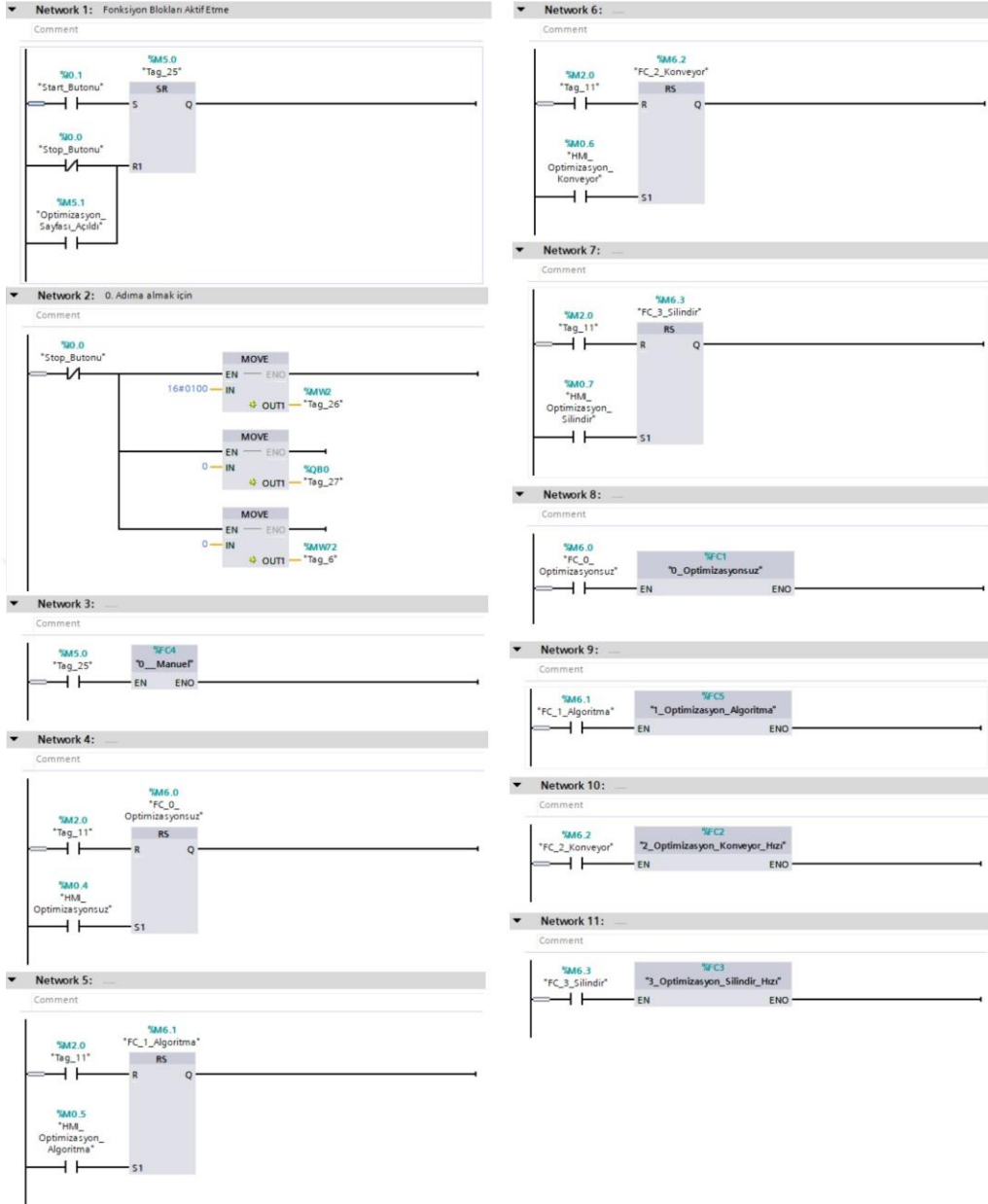
Şekil 2.13. MCD modülünde işlem sıralarının ayarlanması

#### 2.1.4. Konveyör hızının optimizasyonu

Algoritma optimizasyonu sanal ortamda denendikten sonra konveyör bant hızı ve diğer optimizasyonların sisteme etkisinin anlık olarak görülebilmesi için farklı optimizasyondan çıkan parametreler Şekil 2.14’de görünen alt programlarla ve Şekil 2.15’de görünen ana programla PLC üzerinden sisteme aktarılmıştır. Şekil 17’de tüm optimizasyon adımlarının alt programlara dallanma şartı program satırlarında görünmektedir.



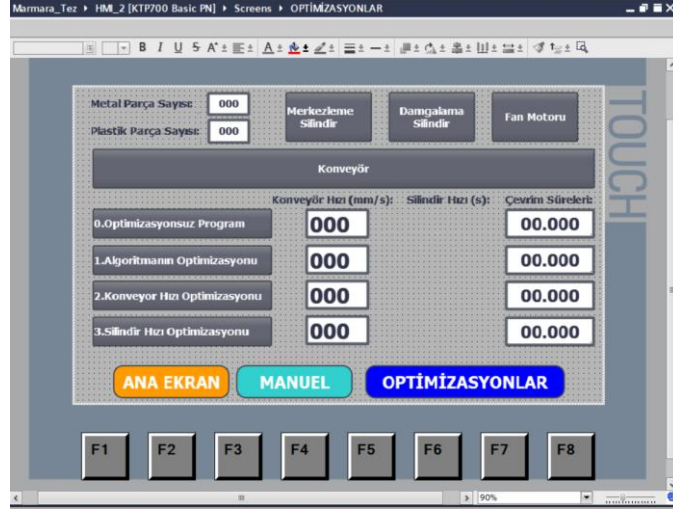
Şekil 2.14. PLC programı için hazırlanmış alt programlar



Şekil 2.15. PLC program satırları

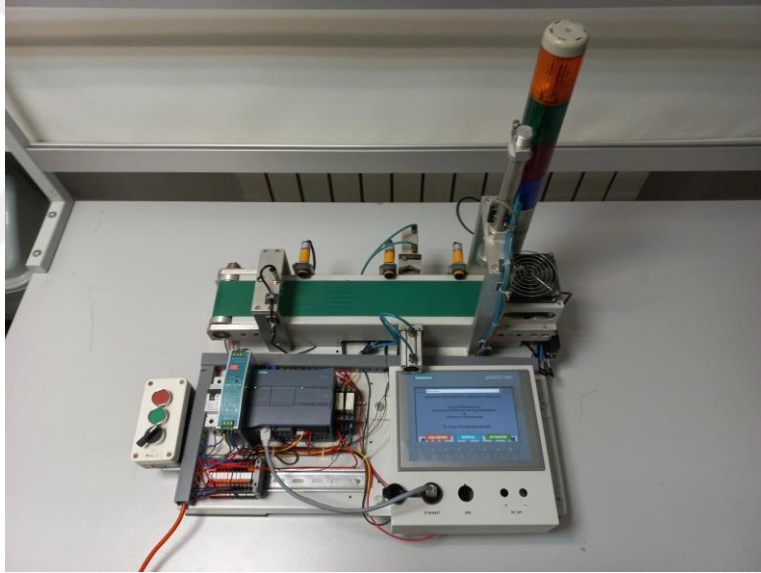
### 2.1.5. Silindir hızının optimizasyonu

MCD modülünde ayarlanan senaryoya göre konveyör hızı olabilecek maksimum değere ulaştığı halde markalama silindirinin parça üzerine inmede halen geciktiği görülmüş ve silindir hızı da buna bağlı olarak arttırılarak, parça silindir tam altına geldiğinde silindir son pozisyona inişi sağlanacak şekilde süre ayarlaması yapılmıştır ve bu da gerçek sistemde akış kısma valfleri ayarlanarak sisteme aktarılmıştır. Her optimizasyon sonucunda çevrim sürelerindeki azalmayı anlık olarak gözlemleyebilmek için sisteme bir HMI dokunmatik panel eklenmiş ve Şekil 2.16'daki ekran tasarlanmıştır.



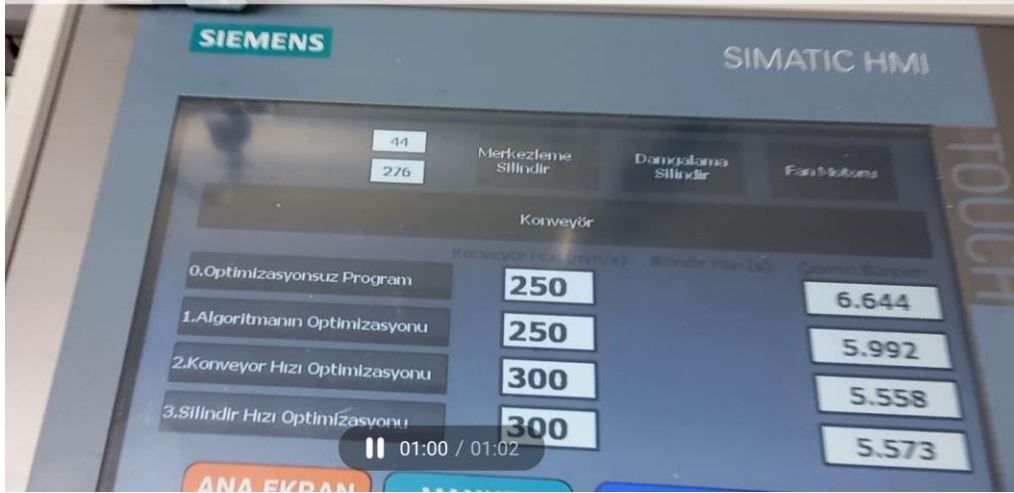
Şekil 2.16. Sistem HMI tasarımı

Sistem mekanik, elektriksel ve yazılımsal olarak tamamen optimize edildikten sonra Şekil 2.17'deki halini almıştır.



Şekil 2.17. Sistemin optimize edilmiş hali

Optimizasyon adımları sonucunda çevrim süreleri Şekil 2.18'deki gibi alınmış ve üretim adetlerine etkisi Tablo 1. de sunulmuştur.



Şekil 2.18. Optimizasyon adımlarına bağlı çevrim süreleri

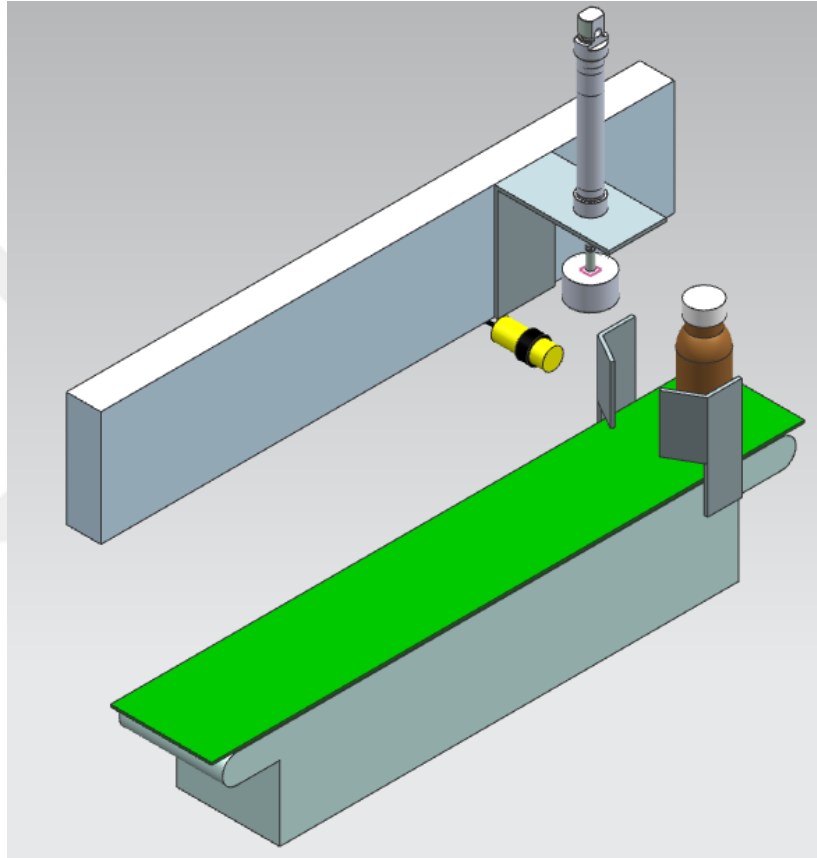
Tablo 2.1: Optimizasyonun Verimliliğe Etkisi (1.Çalışma)

	Sistem Durumu	Çevrim Süresi (s)	Dakika daki Üretim (Adet)	Saatlik Üretim (Adet)	Günlük Üretim (Adet)	Aylık Üretim (Adet)	Yıllık Üretim (Adet)	Verimlilik Katkısı (%)
0	Optimizasyon Yapılmamış Senaryo Sonucu	6,644	9	542	13.004	390.126	4.681.517	0,00
1	Sistem Algoritmasının Optimizasyonu Sonucu	5,992	10	601	14.419	432.577	5.190.921	10,88
2	Konveyör Hızı Optimizasyonu Sonucu	5,558	11	648	15.545	466.355	5.596.258	19,54
3	Silindir Hızı Optimizasyonu Sonucu	5,517	11	653	15.661	469.821	5.637.847	20,43
4	Mekanik Tasarım Optimizasyonu Sonucu	5,517	11	653	15.661	469.821	5.637.847	1 ay erken

Daha fazla parametre ile denemelerin yapılması için farklı bir senaryo üzerinden denemeler yapılmaya devam edilmiştir.

Bu çalışmada Şekil 2.19'daki örnek bir şişe dolum tesisinin kapak takma istasyonu tasarlanarak optimizasyon adımları bu sistem üzerinde denenmiştir. Yapılacak optimizasyon adımları ile bu otomasyon hattının tasarımıdaki iyileştirmeleri ve her bir optimizasyonun hattın çevrim süresine etkisi incelenmiştir. Hat üzerinde cam gövdeli şişelerin kapağı takılarak diğer istasyonlara doğru 700mm lik bir konveyör üzerinden

akması sağlanacak şekilde tasarım yapılmıştır. Kapak takma işlemi 80mm stroklu pnömatik silindir ile bastırılarak yapılmaktadır. Stroğun şişe boyundan büyük seçilmesinin sebebi istasyonun farklı boylardaki şişelere kapak takmaya adapte olabilmesini sağlamaktır. İncelemeler sonucunda sisteme 500mm lik lineer eksen eklenerek kapak takma işleminin konveyör akarken yapılacak şekilde tasarım güncellenmiştir. Şişeler 40mm çapında silindirik yapıda 67mm boyunda ve 40gr ağırlığındadır. Şişelerin algılama işlemi cisimden yansımali optik sensör ile yapılmıştır.



**Şekil 2.19.** Kullanılan Örnek Sistem

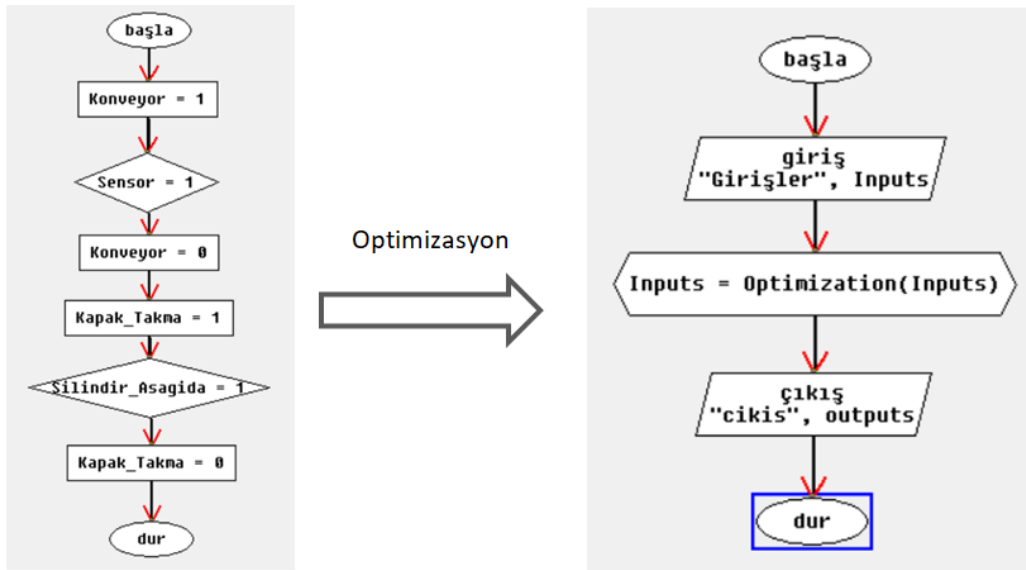
Sistemde şişeler görünen konveyör bandın girişinden beslenerek sensöre kadar gelmekte sensör şişeyi gördüğünde kapak takma silindiri aşağı inip yukarı çıkarak kapağı bastırarak takmakta ve sonra şişe bantta diğer istasyonlara doğru akmaya devam etmektedir. Optimizasyonlar sanal ortamda yapılacağından sistemde işlenen parçaların yerçekimi, sürtünme, ağırlık gibi fiziksel büyüklüklerine göre değişimleri gösteren yenilikçi bir tasarım programı kullanılmıştır.

### **2.1. Algoritmanın Optimizasyonu**

Sistemin akış senaryosu optimize edilerek örnek hattın çevrim süresinin ne kadar

azaltılabileceği araştırılmıştır. Sistem senaryosu parametrelerin ortalama değerlerinde denenerek sistemin mekanik hataları gözlemlenmiş ve sistemin tasarımsal optimizasyonu yapılmıştır. Bu sayede sistemin farklı zamanlarda ortaya çıkabilecek hatalarının giderilmeden devreye alma sürecine gelindiğinde ne kadar zarar ortaya çıkarabileceği de araştırılmıştır.

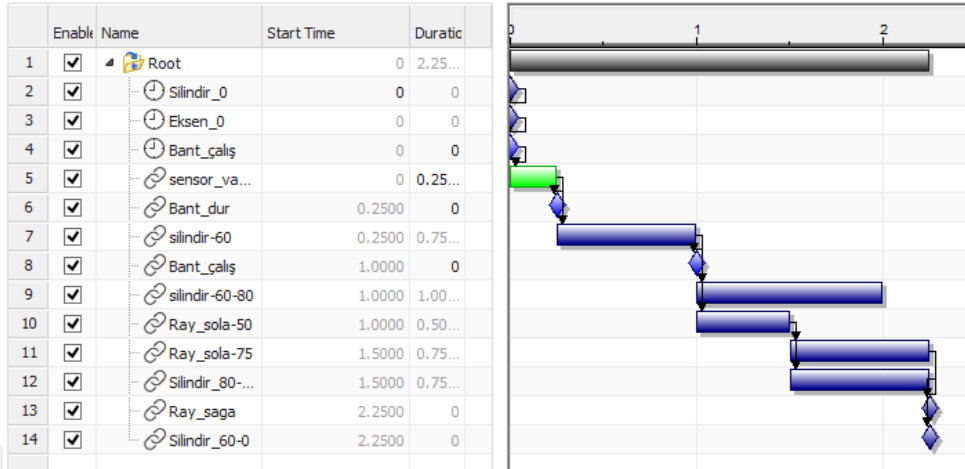
Örnek sistemde devreye alma işlemi Şekil 2.20'deki algoritmaya göre yapılmıştır. Hattın sıralı işlemleri, kullanılan yazılım ile simülasyonu yapılarak hattın akış senaryosuna uygun simüle edilmesi sağlanmıştır. Bu sayede sistemin konsept tasarımı üzerinde tüm detaylar düşünülüp gerçek otomasyon yazılımına hazır hale getirilmiştir. Sistemin mekanik ve sensör vb. elektronik donanımları montajı sonrası devreye alma için gerçek sistem başında kontrol yazılımı için harcanması gereken süreç kısaltılarak devreye alma süresi azaltılmıştır. Ayrıca bu akış belirlenirken sabit olması planlanan kapak kapama silindirinin bir kayar eksen üzerinde çalışmasının çevrim sürecinin azaltacağı görüldüğü için mekanik tasarımın optimizasyonuna da etki etmiştir.



Şekil 2.20. Optimizasyon Öncesi ve Sonrası Algoritma

Başlangıç algoritmasına göre sistem ortalama bir hızda çalıştırıldığında konveyör banttaki şişenin kapatma silindiri altına gelmesi için gereken süre 0.5s, DC motor ile tahrik edilen konveyör bantın durma süresi 0.5s, silindir pistonunun aşağı için süresi 1s, Silindir pistonunun yukarı çıkış süresi 1s'dir. Yani sistemin çevrim süresi 3s olarak ölçülmüştür. Bu ölçüm sonrasında çevrim süresini kısaltmak için kapak kapatma işleminin bant hareket ederken yapılmasının mümkün olup olmayacağı test edilmiştir.

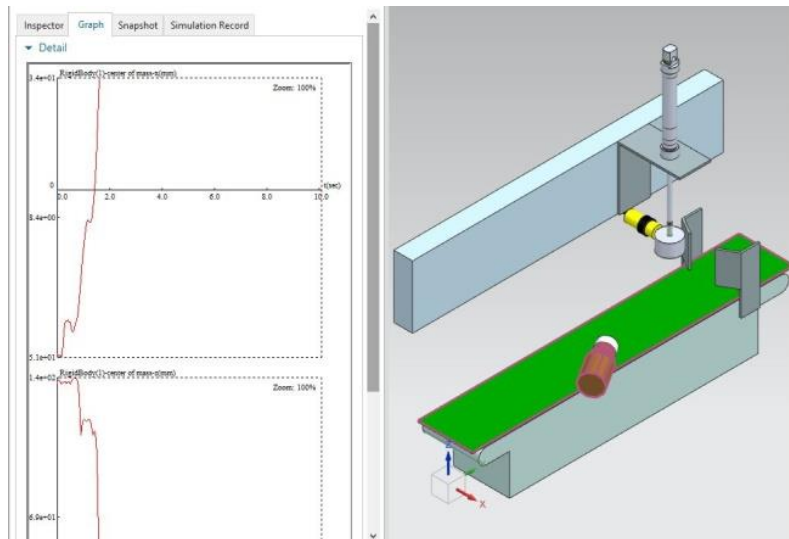
Bu testlere göre sistemin algoritması Şekil 2.21’de görüldüğü şekilde ardışık işlemlerin sıralaması değiştirilerek optimize edilmiştir.



Şekil 2.21. Optimizasyonu yapılmış işlem sırasının programdaki gösterimi

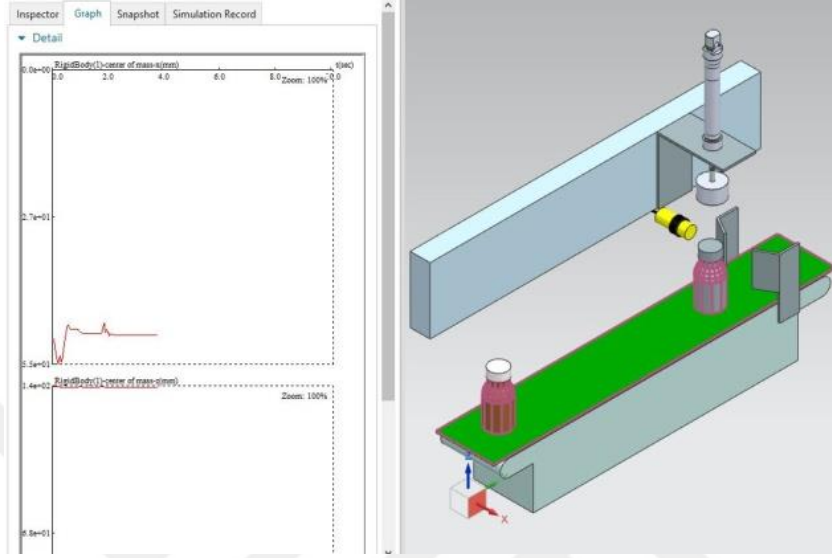
## 2.2. Konveyör Hızının Optimizasyonu

Örnek sistem üzerinde konveyör motor hızı parametresi değiştirilerek sistemin optimizasyonu yapılmış ve sistemin verimliliği üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. İlk olarak sistemde konveyörün ilerleme hızı şişenin düşmeyeceği garanti hız maksimum 150mm/s olarak düşünülmüştür. Verimliliği arttırmak adına konveyör bant hızı yüksek hızlarda denenmiştir. 210mm/s akış hızında üzerindeki şişenin normalde doğrusal bir değişim göstermesi gereken Y eksenini ve değişim göstermemesi gereken Z eksenini grafiği incelenmiştir. 210mm/s de şişenin bant hareketi esnasında düştüğü Şekil 2.22’deki gibi gözlemlenmiştir.



Şekil 2.22. Motor hızı optimizasyonu öncesi şişenin Y ve Z eksenindeki hareketleri

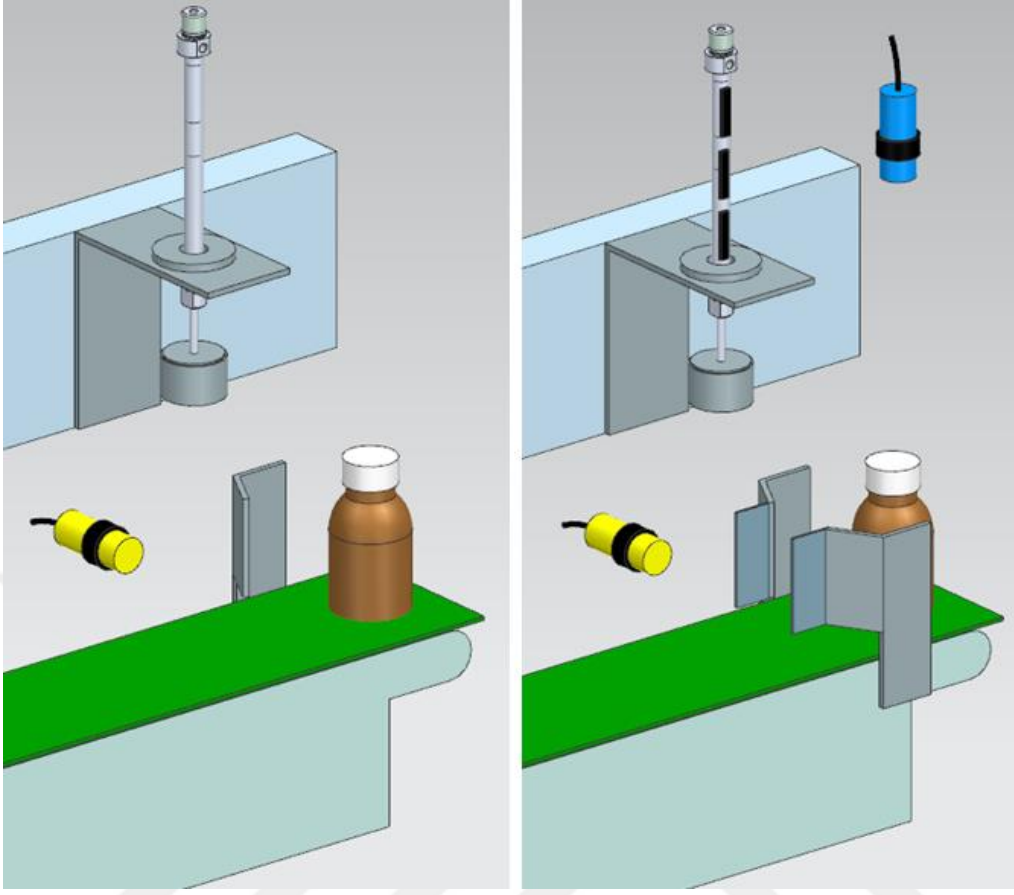
Y ve Z grafiği kabul edilebilir bir oranda az değişim gösterene kadar bant hızı düşürülerek denemeler devam etmiştir. Konveyör bant hızı 150mm/s iken hızlandırılarak 180mm/s hız optimum çalışma hızı olarak ayarlanmıştır ve Şekil 2.23’de görüldüğü gibi şişeler devrilmeden hattın aktığı gözlemlenmiştir.



**Şekil 2.23.** Motor hızı optimizasyonuna bağlı şişenin Y ve Z eksenindeki hareketleri

### **2.3. Silindir Hızının Optimizasyonu**

Sistemde en kısa şişenin kapağını kapatmak için silindirin 80 stroğunun tamamı kullanılacak şekilde testler yapılmıştır. Ancak çevrim süresini düşürmek için silindirin şişe boyuna uygun pozisyonda beklemesini sağlayacak sensörler Şekil 2.24’deki gibi sisteme eklenmiştir ve bu sayede silindirin kapağı takmak için aşığı iniş çıkış süresi kısaltılmıştır.

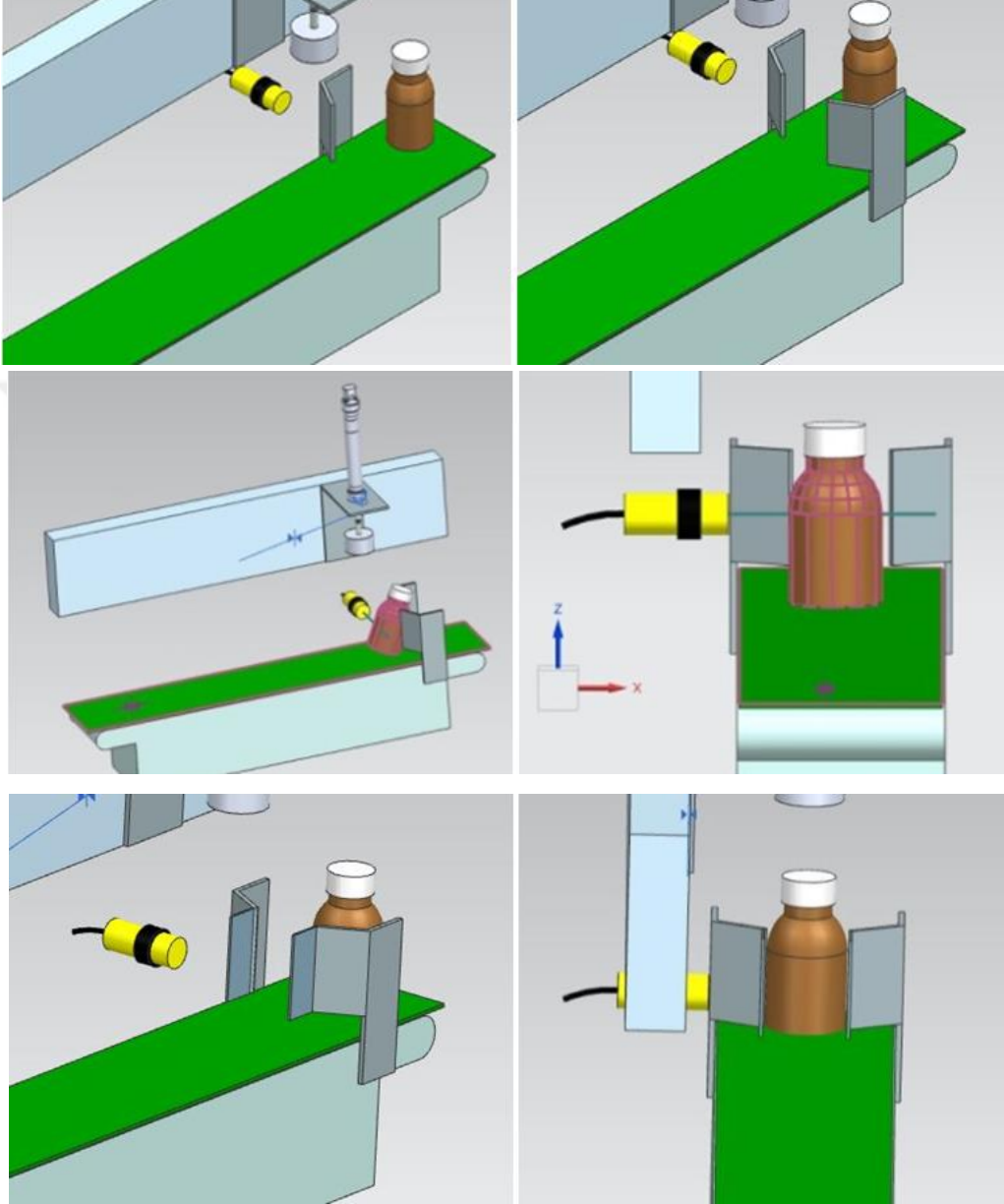


Şekil 2.24. Optimizasyon öncesi(a) ve sonrası(b) silindir

#### 2.4. Mekanik Tasarımın Optimizasyonu

Sistemde hız, senaryo gibi değişikliklerin haricinde mekanik tasarımı üzerinde optimizasyon yapılmıştır. Örnek sistemde başlangıçta kapak takan silindirin sabit olması planlanmıştır. Ancak sistem algoritması optimizasyonunda kapağın şişe akışı esnasında takılmasının çevrim süresini kısalttığından sisteme bir lineer eksen eklenmiştir. Şişe boyunun ölçülmesi için eklenen analog sensörü tutacak plakalar eklenmesi gerekmektedir. Diğer bir yandan başlangıçta şişenin bandın ortasından gitmesi için başlangıçta tek kanat yeterli görülmüştür. Ancak sisteme hareket verildiğinde tek kanada çarparak şişenin diğer yönde fazla kaydığı ve düzeltilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Sonucunda karşı tarafına da bir yönlendirme kanadı eklenmiştir. Bu düzeltme sonrasında şişeler kanat arasına sıkışıp devrilmeye başlamıştır. Bu sorun kanatlar arasındaki geçiş boşluğunun artırılmasıyla düzeltilmiştir. Şişelerin ortadan değil yanlardan gelme durumu gözlemlendiğinde ise şişelerin kanatların ucuna sürtünerek döndüğü ve sonrasında merkezinin bozulduğu görülmüştür. Bu durumu düzeltmek için ise kanatların ucuna konveyöre paralel uzatmalar eklenmiştir. Mekanik

olarak sistem tasarımı Şekil 2.25’de verilen işlem basamakları ile son halini almıştır. Bunun haricinde sistemin optimum çalışma hızına ve sensör algılama sonrasında bandın durma süresine göre; sensör, silindir, kayar eksen yerleşimleri de optimize edilmiştir.



Şekil 2.25. Mekanik tasarım optimizasyon aşamaları

### **3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA**

Sanal testler sonucunda; kapak takma silindirinin kayar bir eksen üzerinde hareket ederken kapağın takılmasının mümkün olduğu görülmüştür. Sistem akışının optimizasyonu sonucu başlangıçta 3 saniye olan çevrim süresi sadece akışın optimizasyonu sayesinde 2,5 saniyeye düşürülmüştür.

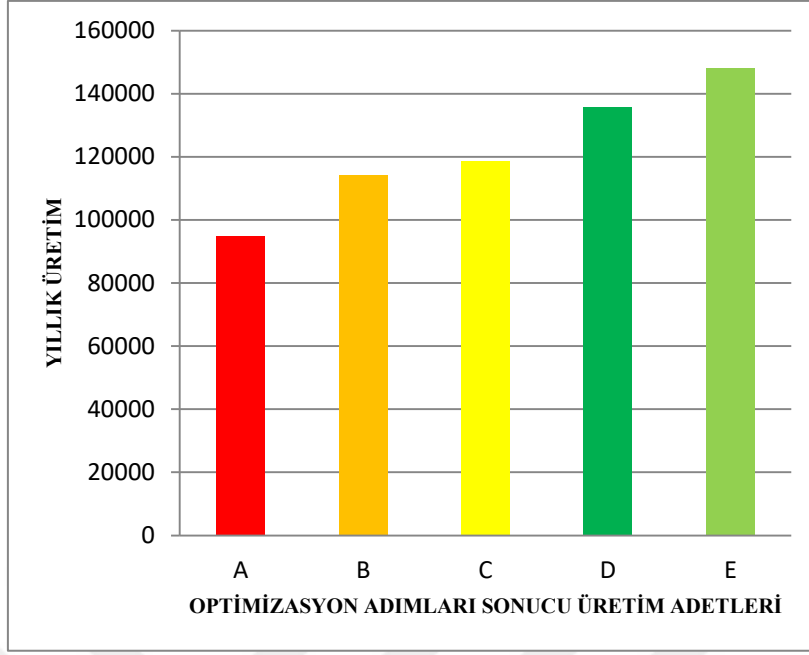
Konveyör bant hızı 150mm/s iken hızlandırılarak 180mm/s hız optimum çalışma hızı olarak ayarlanmıştır. Bu sayede sistemin çevrim süresi 2,5 s den 2,4 saniyeye düşürülmüştür.

Kapak takma silindirinin iniş ve çıkış süresi 1s iken sistemin dijital ikizi üzerinden 0,8s olacak şekilde optimize edilmiştir. Bu sayede sistemin çevrim süresi 2,4s den 2,1s'ye düşürülmüştür.

Sistemin daha tasarım sürecinde optimizasyonunu yapmak; sistemi oluşturan parçaların eksikliğinden ve mekanik yerleşiminden doğabilecek problemleri daha imalat yapmadan görüp, çözmeye yardımcı olmuştur. Sistem 1 ayda optimum şekilde tasarlanmıştır. Geleneksel yöntemle göre yaklaşık 1 ay daha erken devreye alınabileceği düşünülmüştür. Bu sayede sonradan ortaya çıkabilecek işçilik ve yanlış mekanik donanımdan doğabilecek ek maliyetler engellenmiştir.

#### **3.1. Maliyetlere etkisi**

Yapılan optimizasyonların sistemin çevrim süresini önemli ölçüde düşürebileceği ve buna bağlı olarak üretim kapasitesinin artacağı sonucuna varılmıştır. Ayrıca tasarımda yapılan optimizasyonların yapılmadan geleneksel yöntemlerle sistem devreye alınıp sonradan düzeltmelerin yapılmasının bu sistem üzerinde 1 ay ek süre ihtiyacı doğuracağı varsayılmış ve bu varsayım üzerinden sistemin 1 aylık ne kadarlık ek kazanç elde edilmesine yaradığı da gösterilmiştir. Örnek hat tasarımı üzerinde yapılan iyileştirmelerin sistemin devreye alınma süreci ve çevrim süresine bağlı olarak yıllık üretim miktarına etkisi Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Yapılan optimizasyonların yıllık üretim miktarına etkisi

Tablo 3.1: Optimizasyonun Verimliliğe Etkisi (2.Çalışma)

Sistem Durumu	Çevrim Süresi (s)	Dakikalık Üretim (Adet)	Saatlik Üretim (Adet)	Günlük Üretim (Adet)	Aylık Üretim (Adet)	Verimliliğe Katkısı (%)
0 Optimizasyon Yapılmamış Senaryo Sonucu	3	20	1.200	28.800	864.000	0,00
1 Sistem Algoritmasının Optimizasyonu Sonucu	2,5	24	1.440	34.560	1.036.800	20,00
2 Konveyör Hızı Optimizasyonu Sonucu	2,4	25	1.500	36.000	1.080.000	25,00
3 Silindir Hızı Optimizasyonu Sonucu	2,1	29	1.714	41.143	1.234.286	42,86
4 Mekanik Tasarım Optimizasyonu Sonucu	2,1	29	1.714	41.143	1.234.286	1 ay erken

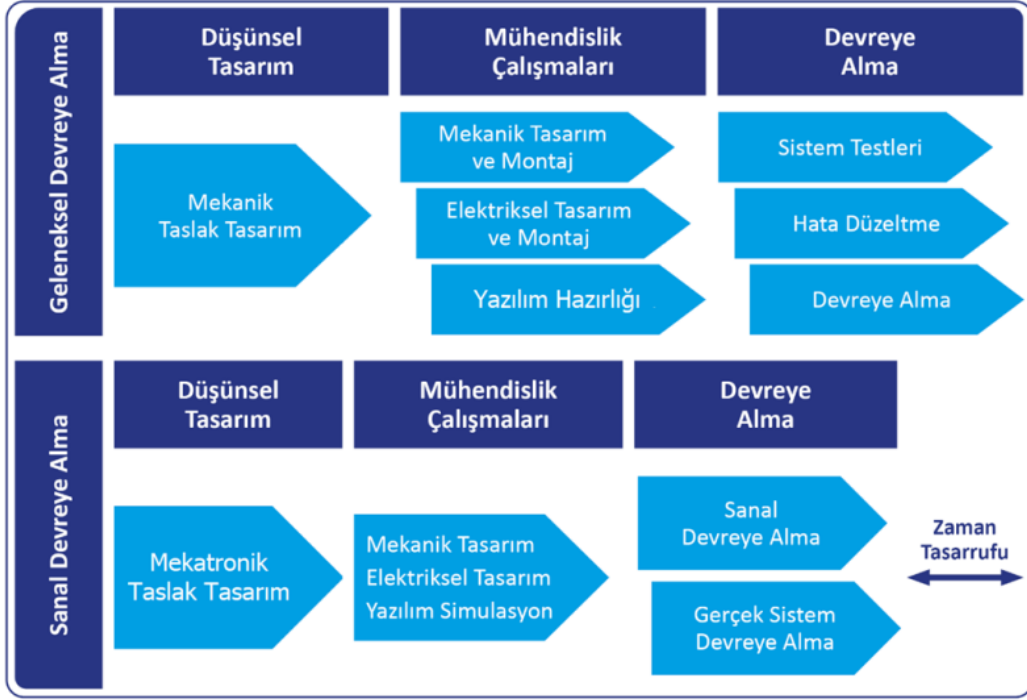
### 3.2. Tasarım sürecine etkisi

Genel tasarım, mekanik bileşenler ve aynı anda programlama üzerinde çalışarak sistemin ortaya çıkış süresi önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Bu örnek projede tasarım

süreci 2 ayda tamamlanmıştır. Benzer bir sistemin geleneksel yöntemlerle devreye alınıp üzerindeki hataların giderilmesiyle tam olarak ortaya çıkarılması 3 ay gibi bir süre alabilmektedir. Dolayısıyla sistem tasarımı ve montajı için gereken sürenin %30 kadar indirilmesi sağlanmıştır. Makine ve tüm bileşenleri tamamen sanal ortamlarda tasarlandığından, makine ve bileşen davranışını simüle etmek ve tek tek bileşenlerin birlikte çalışabilirliğini test etmek için dijital ikizleri kullanmak mümkün olmuştur. Çarpışmalar, devrilmeler bilgisayar ortamında herhangi bir hasara neden olmadan sadece bilgisayarda meydana geldiğinden rahatlıkla ilk denemeler yapılabilmektedir.

Bu yeni yöntemle sistemin dijital ikizini kullanarak, tasarımcıların, mühendislerin ve programcıların aynı proje üzerinde aynı anda çalışması ve sürekli fikir alışverişi yapması ve deneyimlerin paylaşılması mümkün olabilmektedir. Sistem üzerinde hem mekanik ekipmanlar belirlenmiş, hem sensör, motor vb. elektronik ekipman seçimleri yapılmış hem de yazılıma yardımcı olacak işlem sıralarıyla ilgili optimizasyon da sağlanmıştır.

Sistemin tasarım süreci ise yapılan yöntem ile iki ayda tamamlanmıştır. Bu tasarım optimizasyon adımları gerçekleştirilmeden yapıp hatalar sistem gerçekten devreye alındıktan sonra düzeltilmeye çalışılıyorsa üç aylık bir süreçte tamamlanabileceği öngörülürse tasarım sürecinde de en az %30 luk bir iyileştirme sağlayacağı düşünülmektedir. Şekil 3.2’de bu durum şemalaştırılmıştır.



**Şekil 3.2.** Otomasyon hatlarında sanal optimizasyonun sağladığı faydalar

Bu çalışma otomasyon hatlarının tasarımda ve denenmesinde sanal devreye alma konusunun işletmelerin veya üreticilerin verimliliğine katkısı örnek üzerinden araştırılmış ve gösterilmiştir. Günümüz dijital teknolojilerinden sanal devreye alma, makinelerin dijital ikizi gibi konuların otomasyon hattı imalatçılarına sağlayabileceği faydalar ortaya konmuştur. Hatların programlanıp denenmesinin sağlanabileceği yazılımlarda tasarımlar üzerinde denenebilecek şekilde tasarım konusuna yenilikçi bir bakış açısı kazandırabilecektir.

#### **4. SONUÇ**

Tüm araştırmalar ve çalışma sonucunda otomasyon hatlarının sanal ortamda optimizasyonunun sistem tasarım sürecine, maliyetlere, müşteriye sunuma olumlu etkileri görölmüştür.

Yapılan çalışmalara göre otomasyon hatlarında sanal devreye alma işlemi yapılarak sistemin algoritması, bazı parametreleri ve mekatronik tasarımını optimize edilerek sistemin çevrim süreci 3s'den 2,1s'ye düşürölerek örneğ bir hat üzerinde yapılan basit optimizasyon adımlarıyla sistemde %30 luk bir verimlilik artışı sağlayabileceği gözlemlenmiştir.

#### **5. TEŞEKKÜR**

Bu alışma FYL-2020-10097 numaralı Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAPKO) Lisansüstü Tez Projesi kapsamında desteklenmiştir teőekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez çalışmam sürecinde desteklerini esirgemeyen tez danışmanım Dr.Öğr.Üyesi Ersin TOPTAŞ' a ve tez sürecinde doğan kızım la ilgilenirken yine de beni sonsuz destekleyen eşim Kübra GÜL' e teőekkürlerimi sunarım.

## KAYNAKÇA

- [1] Schlögl, Dr.-Ing.W.,Lenord, Dr.-Ing. M.,and Frank, Dipl.-Ing. G., 2011: Continuous Machine Design from Concept to Operation based on Mechatronic Objects. Proceedings of the 18th World Congress (IFAC), January2011 Milano(Italy), 1620-1621.
- [2] Taipalus, J., 2015:3D-Virtualization of a Conveyor Machine. Thesis(PhD), Seinäjoki University of Applied Sciences, Finland.
- [3] Janda, P., 2018: Mechatronic Concept of Heavy Machine Tools. Proceedings of the 29th DAAAM International Symposium, 25october 2018 Vienna, 645- 652.
- [4] Çilek, A. PLC ile Endüstriyel Otomasyon Uygulaması. *Yüksek Lisans Tezi*. Gazi Üniv. Fen Bilimleri Enst., Ankara, Türkiye : s.n., 2005.
- [5] *Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0*. Stock, T., & Seliger, G. 2016, Procedia CIRP, pp. 536-541.
- [6] *Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0*. Henning, K. 2013, Plattform Industrie 4.0.
- [7] *Levels of detail and appropriate model types for virtual commissioning in manufacturing engineering*. Puntel-Schmidt, P., & Fay, A. 2015, IFAC-PapersOnLine, Vol. 48(1), pp. 922-927.
- [8] *Tasarımda Kontrol Tekniğinin Yönlendirici Etkisi*. Karıcı, H. İzmir : MMO, 2001. 2. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi. pp. 73-80.
- [9] Groover, M.P. *Automation Production Systems and Computer-Integrated Manufacturing*. Pearson Education : New York, 2001.
- [10] Braun, Viktor. www.cadenas.de. [Online]
- [11] Blaschke, Stefan. Leading plant and process automation firm uses Mechatronics Concept Designer to develop flexible packaging machines for the cosmetics industry . s.l. : Siemens, 2017.
- [12] *Designing of a technological line in the context of controlling with the use of integration of the virtual controller with the mechatronics concept designer module of the PLM Siemens NX software*. Herbus, K., Ociepka, P., & Gwiazda, A. 2017, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, pp. 227-235.
- [13] Blaschke, S. Mechatronics Concept Designer offers huge time savings in the design of machines and systems. <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/customers/festo/17518/>. [Online] 2017. [Cited: 18 08 2020.]
- [14] Deschamps, F.,Loures, E.F.R., and Ramos, L.F. P., 2017: Past, presentand future of Industry 4.0 - a systematic literatüre review and research a genda proposal. International Journal of Production Research, 55, 3609- 3629.

[15] Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., and Newman, S.T., 2017: Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. Science Direct Engineering, 3, 616-630.

[16] Roblek, V., Meško, M., and Krapež, A., 2016: A Complex View of Industry 4.0. Sage Open, 6, 1-11.

[17] Siemens PLM Software; Siemens: Hızlı Başlangıç Kılavuzu, 2010

## ÖZGEÇMİŞ

Burak Gül; Marmara Üniversitesi Mekatronik Öğretmenliği bölümünden 2010 yılında mezun oldu. Yüksek lisans ve mühendislik tamamlama eğitimine de Marmara Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği'nde devam etmektedir. 2011 yılından beri MEB'de Endüstriyel Otomasyon Teknolojileri öğretmeni olarak çalışmaya devam etmektedir. Halen görevine devam ettiği Haydarpaşa Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi'nde bir İSTKA hibe destek projesinde Eğitim Koordinatörlüğü yaptı ve 2021 yılında bir İSTKA projesi yazımını sağlayarak okuluna hibe desteği kazandırmış ve bu ikinci projede de Proje Koordinatörü olarak görev alacaktır.