T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

AKILLI ÜRETİM SİSTEMLERİNDE KONTROL VE OTOMASYON UYGULAMALARI İÇİN ESNEK ÜRETİM SİSTEMİ DENEY SETİ GELİŞTİRİLMESİ

Yakup Yasin ŞAHİN

Danışman
Prof. Dr. Sezai TAŞKIN



MANİSA–2023

Yakup Yasin ŞAHİN	**AKILLI ÜRETİM SİSTEMLERİNDE KONTROL VE OTOMASYON UYGULAMALARI İÇİN ESNEK ÜRETİM SİSTEMİ DENEY SETİ GELİŞTİRİLMESİ**	**2023**

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Yakup Yasin ŞAHİN

İÇİNDEKİLER

ŞEKİLLER DİZİNİ III
TABLOLAR DİZİNİ VI
TEŞEKKÜR VII
ÖZET VIII
ABSTRACT IX
1.GİRİŞ 1
1.1 Literatür Araştırması 2
1.2 Tezin Amacı 7
2. GENEL BİLGİLER 9
2.1 Esnek Üretim Sistemleri 9
2.2 Esnek Üretim Sistemi Kavramı 10
2.3 Esneklik Türleri 12
2.4 Esnek Üretim Sistemi Bileşenleri 13
2.4.1 İş İstasyonları 14
2.4.1.1 Esnek Üretim Modülü 14
2.4.1.2 Esnek Üretim Hücreleri 15
2.4.1.3 Esnek Üretim Sistemi 16
2.4.2 Malzeme Taşıma ve Depolama Sistemi 16
2.4.3 Bilgisayarlı Kontrol Merkezi 18
2.5 Esnek Üretim Sisteminin Faydaları 19
2.6 Esnek Üretim Sistemlerinin Dezavantajları 21
3.MATERYAL VE YÖNTEMLER 23
3.1 Materyal 23
3.1.1 Deney Setinin İş Parçaları ve İstasyonları 25
3.1.1.1 İş parçası ve montaj elemanları 25
3.1.1.2 Oring İstasyonu 25
3.1.1.3 Vibrasyon Çanağı İstasyonu 27
3.1.1.4 Mil ve Yüsük Yerleştirme İstasyonu 30
3.1.1.5 Rulman Çakma İstasyonu 31
3.1.1.6 Kapak Yerleştirme İstasyonu 36
3.1.1.7 Otomatik Depolama ve Boşaltma İstasyonu 37
3.1.2 FMS Kullanılan Hareket Elemanları 38
3.1.2.1 Valf Adaları ve Valfler 38
3.1.2.2 Pnömatik Silindirler ve Tutucular 39

3.1.2.3 Elektrikli Eyleyiciler 39
3.1.3 Otomatik Kontrol Sistemleri 41
3.1.4 Algılayıcılar 43
3.1.5 PLC (Programlanabilir Lojik Kontrolörler) 45
3.2 FMS Deney Seti Bağlantılarının Yapılması 47
3.2.3. İş Parçalarının Tespiti 49
3.2.4 FMS Deney Setinin PLC ile Programlanması 51
3.2.5 HMI Panellerin Programlanması 54
3.2.6 Kestirimci Bakım Modüllerinin Sisteme Entegrasyonu 55
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA 58
4.1. Kullanılan İş Parçaları 58
4.2. Nesne ve Kenar Tespiti (Görüntü İşleme) 58
4.3. Sensörler ile İş Parçası Tespiti 60
4.4. Basınç ve Sızdırmazlık Testi 61
4.5 Baskı ve Rulman Çakma İşlemi 62
4.6. Kapak Taşıma ve Yerleştirme İşlemi 63
4.7. FMS Deney Setinin Genel Görünümü 63
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 65
KAYNAKÇA 67
ÖZGEÇMİŞ 71

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1. Ürün çeşitliliği – Üretim hacmi grafiği [43] 13
Şekil 2. 2. Esnek üretim sistemi bileşenleri 13
Şekil 2. 3. Örnek bir esnek üretim modülü [44] 15
Şekil 2. 4. 3 Farklı birimden oluşan esnek üretim hücresi [44] 15
Şekil 2. 5. Makine sayısı bağlı değişkenler grafiği 16
Şekil 2. 6. Otomatik yönlendirmeli araç [47] 17
Şekil 2. 7. Otomatik depolama ve boşaltma birimi 18
Şekil 2. 8. Kontrol merkezi hiyerarşik sıralaması 18

Şekil 3. 1. İstasyonlar ve yerleşim planı 23
Şekil 3. 2. Metal iş parçaları 24
Şekil 3. 3. Plastik iş parçaları 24
Şekil 3. 4. Sistemin haberleşme altyapısı 24
Şekil 3. 5. İşlemi bitmiş iş parçasının kesit görüntüsü 25
Şekil 3. 6. Oring istasyonu iş akış şeması 26
Şekil 3. 7. Oring istasyonunun yandan görünüşü 27
Şekil 3. 8. Oring istasyonunun üsten görünüşü ve işlem birimleri 27
Şekil 3. 9. Vibrasyon istasyonunun üstten görünüşü 28
Şekil 3. 10. Vibrasyon kazanı istasyonu iş akış şeması 29
Şekil 3. 11. Vibrasyon istasyonunun yandan görünüşü 29
Şekil 3. 12. Sızdırmazlık testi birimi örnek görseli 30
Şekil 3. 13. Mil ve yüsük yerleştirme istasyonunun yandan görünüşü 31
Şekil 3. 14. Mil ve yüsük yerleştirme istasyonunun üstten görünüşü 31
Şekil 3. 15. Rulman çakma istasyonu iş akış şeması 32
Şekil 3. 16. Rulman çakma istasyonunun üstten görünüşü 32
Şekil 3. 17. Oransal regülatörün iç yapısı ve blok diyagramı 33
Şekil 3. 18. Geri beslemeli baskı kontrol sisteminin blok diyagramı 34
Şekil 3. 19. Yük hücresi görseli ve özellikleri 34
Şekil 3. 20. Yük hücresi transmitteri 34
Şekil 3. 21. Wheatstone köprü devresi ve matematiksel ifadesi 35
Şekil 3. 22. Wheatstone köprüsü blok diyagramı 35
Şekil 3. 23. Kapak yerleştirme istasyonu iş akış şeması 36

Şekil 3. 24. Kapak yerleştirme istasyonunun yandan görünüşü 36
Şekil 3. 25. Kapak yerleştirme istasyonunun üstten görünüşü 37
Şekil 3. 26. Otomatik depolama ve boşaltma istasyonunun yandan görünüşü..... 37
Şekil 3. 27. Selenoid valflerin blok üzerine yerleşimi..... 38
Şekil 3. 28. 5 yollu 3 konumlu çift bobinli valfin sembolü ve yolları 38
Şekil 3. 29. 5 yollu 2 konumlu tek bobin yay geri getirmeli valfin iç yapısı..... 39
Şekil 3. 30. Kullanılan pnömatik silindirler ve devre sembolleri 39
Şekil 3. 31. Konveyör bant üzerinde elektrikli eyleyici kullanımı 40
Şekil 3. 32. Elektrikli eyleyicinin bağlantısı ve haberleşmesi 40
Şekil 3. 33. Denetim sistemi türleri 41
Şekil 3. 34. Bozucu girişe sahip kapalı çevrim denetim sisteminin blok diyagramı . 42
Şekil 3. 35. PID kontrol blok diyagramı..... 43
Şekil 3. 36. Cisimden yansımalı optik sensör..... 44
Şekil 3. 37. Reflektörlü optik sensör..... 44
Şekil 3. 38. 1-5V analog basınç sensörü ve pnömatik sembolü..... 45
Şekil 3. 39. İstasyonlarda kullanılan Siemens S71200 serisi PLC (S7-1212C)..... 45
Şekil 3. 40. Siemens KTP-400 HMI panel 46
Şekil 3. 41. Valf adası ve birimleri 46
Şekil 3. 42. Silindir üzeri temassız algılayıcıların dijital giriş birimine bağlantısı.... 47
Şekil 3. 43. İstasyonlarda kullanılan şartlandırıcı birimi 48
Şekil 3. 44. 16 pinli haberleşme soketi 48
Şekil 3. 45. Ana kontrol ünitesinde bulunan elektrik ve haberleşme soketleri..... 49
Şekil 3. 46. Ürün tespitinin lojik diyagramı..... 49
Şekil 3. 47. Örnek bir görüntü işleme..... 50
Şekil 3. 48. 4. İstasyon 1 numaralı silindirin ileri hareketi için ladder diyagramı..... 53
Şekil 3. 49. 4. İstasyon 1 numaralı silindirin geri hareketi için ladder diyagramı..... 53
Şekil 3. 50. İstasyon 4 PLC dijital giriş listeleme sayfası..... 54
Şekil 3. 51. İstasyon 4 manuel kontrol sayfası..... 55
Şekil 3. 52. Vibrasyon kazanı arızasız durum titreşim frekans grafiği..... 56
Şekil 3. 53. Vibrasyon kazanının darbe altındaki titreşim genlik grafiği 57

Şekil 4. 1. İş parçaları 58
Şekil 4. 2. Karesel metal iş parçası için ekran çıktısı 59
Şekil 4. 3. Dairesel metal iş parçası için ekran çıktısı 59

Şekil 4. 4. Ürün tespit noktasında sensörler ve iş parçalarının görüntüsü 60
Şekil 4. 5. Sızdırmazlık testi görüntüsü 62
Şekil 4. 6. Rulman çakma birimi 62
Şekil 4. 7. FMS kapak yerleştirme istasyonu..... 63
Şekil 4. 8. FMS Deney Seti Katı Model Görünümü 64

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2. 1. Geleneksel üretim ile esnek üretimin karşılaştırılması 9
Tablo 3. 1. Hareket türleri ve hedef konum bilgisi..... 41
Tablo 3. 2. P, I ve D katsayıları değişiminin sisteme etkisi 43
Tablo 3. 3. Ürünler tespit için sensörlerin durumları 50
Tablo 3. 4. İstasyon-4 giriş-çıkış adres listesi 51
Tablo 4. 1. Çıkışların durumuna göre şekil tespit tablosu..... 60

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren, tecrübeleri ile aydınlatan ve desteğini hiç eksik etmeyen danışman hocam Prof. Dr. Sezai TAŞKIN'a teşekkürü borç bilirim. Tez çalışmamın deneysel uygulamaları için imkan sağlayan Modül Modern Eğitim Teknolojileri A.Ş. Genel Müdürü Sayın Faruk KARTAL'a teşekkürlerimi sunarım. Öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan aileme yürekten teşekkür ederim.

Yakup Yasin ŞAHİN

Manisa, 2023

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Akıllı Üretim Sistemlerinde Kontrol ve Otomasyon Uygulamaları için Esnek Üretim Sistemi Deney Seti Geliştirilmesi

Yakup Yasin ŞAHİN

Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sezai TAŞKIN

Üretim zincirinin her aşamasının dijitalleşmesi, makina-insan-altyapı etkileşiminin sağlanması sayesinde Akıllı Üretim Sistemleri'nin geliştirilmesi sanayide yeni bir yaklaşımı ve değişimi başlatmıştır. Teknolojide ortaya çıkan ilerlemeler insan yerine otomasyon tarafından yapılabilecek işleri artırdıkça, beceri uyumsuzluğunun daha çok artması söz konusu olmaktadır. Bu ortamda, teknolojiyi kullanarak katma değer üretebilen ve bu teknolojilerin gerektirdiği teknik becerilere sahip çözümler sunabilen çalışanlar daha avantajlı hale gelmektedir. Bu nedenle mesleki eğitimin niteliğini artırmaya yönelik çalışmaların odağında bireylerin yeni teknolojilere kolayca uyum sağlamalarını, işgücü piyasasında atıl kalmalarını engelleyecek şekilde öğrenmeyi öğrenmelerini sağlayan modeller geliştirmenin önemi her geçen gün daha da artmaktadır.

Tez çalışması kapsamında, yukarıda sayılan gerekçeler doğrultusunda ve Modül Modern Eğitim Teknolojileri A.Ş. firması işbirliği ile bir Esnek Üretim Sistemi deney seti geliştirilmesi hedeflenmiştir. Deney seti ürün esnekliği ve istasyon sıralama esnekliği gibi yapılanma sunan bir fabrika otomasyon seti olarak planlanmıştır. Deney seti endüstriyel otomasyon ve haberleşme, veri işleme, hareket kontrol sistemleri, basınç, boyut vb. fiziksel değişkenlerin ölçülmesi ve analizi, kestirimci bakım, görselleştirme vb. birçok konuyu kapsayacak özelliklere sahip olarak geliştirilmiştir.

TÜBİTAK tarafından 2016 yılında yayınlanan "Yeni Sanayi Devrimi: Akıllı Üretim Sistemleri Teknoloji Yol Haritası'nda en çok katma değer sağlayacağı değerlendirilen alanlara katkı olarak aşağıdaki hususlarda tez çalışması ile çıktılar elde edilmiştir:

(i) Mesleki ve teknik eğitimde kullanılmak üzere güncel teknolojiler ile donatılmış esnek üretim sistemi deney seti geliştirilmiştir.

(ii) Deney seti açık mimari ve modüler yapıda tasarlandığından hem fonksiyonellik hem de teknik bakımdan sürekli geliştirilmeye açık yapıda tasarlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Esnek Üretim Sistemi, Akıllı Üretim Sistemleri, Kontrol ve Otomasyon, Durum İzleme.

2023, 70 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Development of Flexible Manufacturing System for Control and Automation Applications in Intelligent Production Systems

Yakup Yasin ŞAHİN

Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Sezai TASKIN

The development of Intelligent Production Systems has initiated a new approach and change in the industry due to the digitalization of every stage of the production chain and the interaction of machine-human-infrastructure. The talent gap is projected to widen even further as technological advancements increase the amount of work that can be performed by automation rather than by humans. Employees who can add value by utilizing technology and providing solutions with the technical skills required by these technologies are more advantageous in this environment. Determining methods that make it simple for people to adopt new technologies and study in a way that keeps them from being idle in the labor market is therefore becoming more and more crucial as part of efforts to improve the quality of vocational education.

Within the scope of this thesis, and for the reasons stated above, it is intended to develop an experimental setup, Flexible Manufacturing System, with the collaboration of MET Didactic Company. The experimental set is designed to be a factory automation set with structuring options such as product flexibility and station sequencing flexibility. Thanks to the developed system industrial automation and communication, data processing, motion control systems can be used as a training material. Moreover, some measurements such as pressure, dimensional measurements of the test products is provided with the architecture. Predictive maintenance, visualization is also performed in the system.

In the "New Industrial Revolution: Intelligent Production Systems Technology Roadmap" published by TUBITAK in 2016, outputs were obtained with the thesis work on the following issues as a contribution to the areas that are considered to provide the most added value:

(i) A flexible production system experiment set equipped with up-to-date technologies has been developed for use in vocational and technical education.
(ii) Since the experimental set-up is developed in an open architecture and modular structure, it is open to continuous improvement in terms of both functionality and technology.

Keywords: Flexible Manufacturing System, Intelligent Production Systems, Control and Automation, Condition Monitoring.

2023, 70 pages

1.GİRİŞ

Bilişim teknolojileri ile endüstriyel üretim sürecinin entegrasyonu sonucunda Endüstri 4.0 devrimi gerçekleşmektedir. Sanayide yeni terimler olarak büyük veri, robot teknolojileri, nesnelerin interneti gibi sistemler ile akıllı fabrikalara zemin hazırlanmaktadır. Akıllı fabrikalar konsepti değişen müşteri isteklerine karşın bir tercihten ziyade zorunluluk haline gelmektedir [1].

Üretim zincirinin her aşamasının dijitalleşmesi, makina-insan-altyapı etkileşiminin sağlanması ile akıllı üretim sistemlerinin geliştirilmesi sanayide yeni bir yaklaşımı ve değişimi başlatmıştır. Buhar gücüyle çalıştırılan mekanik sistemlerle başlayan sanayileşme devrimi, günümüzde siber fiziksel sistemlerin yer aldığı bir sisteme doğru evrilmektedir. Küresel öngörüler, yeni sanayi devrimi ile ilişkili teknolojilerin daha çok uygulama alanı bulacağını ve sürekli yükselen bir eğilim göstereceğini işaret etmektedir [2].

Gelişimin ve değişimin hızlı olduğu günümüz dünyasında işletmelerin verimliliklerinin artmasında, teknolojik gelişmeleri takip etmek ve mümkün olabildiğince bu teknolojilerle desteklemek büyük önem taşımaktadır. Pazarın müşteriler tarafından belirlendiği ve müşteri taleplerinin sürekli değişim gösterdiği günümüzde klasik üretim sistemleri yeterli verimi sağlayamamaktadır ve esneklik kavramı üretim sistemlerinin temelini oluşturmaktadır. Endüstri 4.0 ile birlikte bireyselleşmiş güçlü üretim sistemlerinin yanında, değişime ayak uydurabilen, esnek üretim sistemleri de ön plana çıkmaya başlamıştır. Böylece klasik üretimin yerini akıllı otomasyona dayalı esnek üretim sistemleri almaktadır [3,4]. Buna bağlı olarak, aynı üretim hattında farklı ürünlerin üretilebilmesi rekabetin temelini oluşturmakta ve düşük üretim adetlerinde yüksek çeşitliliği mümkün kılmaktadır.

Literatürde akıllı ve esnek üretim sistemleri ile ilgili çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

1.1 Literatür Araştırması

J. Browne ve ark. (1984), bir imalat sisteminin esnek olarak adlandırılabilmesi için gerekli olan nitelikler üzerine çalışmalar yürütmüştür. Bu karışıklığı ortadan kaldırabilmek için sekiz çeşit başlık tanımlanmıştır [5].

M. Ali ve Z. Ahmad (2014), farklı üretim yöntemleri adı altında esnek üretim sisteminin performansını incelemişlerdir. Java dili yardımıyla; (i) esnek olmayan, (ii) kısmi esnekliğe sahip, (iii) yüksek yönlendirme esnekliğine sahip üç farklı model geliştirilmiştir. Farklı üretim yöntemlerinin kararlarının aynı anda dikkate alınmasının esnek üretim sistemlerinin performansını önemli ölçüde iyileştirebileceğini tespit etmişlerdir [6].

Wang ve ark. (2021), akıllı üretim yetenek eğitiminde akademik ve uygulamalı eğitimler üzerine araştırma yapmışlardır. Çalışmada mühendislik öğretim programlarındaki yeterli görülmeyen mesleki becerileri geliştirmek amacıyla teorik eğitim ile uygulamalı eğitim arasında bir köprü oluşturmak amacıyla bir referans eğitim sistemi oluşturulmuştur. Ayrıca, öğrencilerin katılımını ve ilgilerini arttırmak için tipik bir akıllı üretim hattı tasvir edilmiştir. Öğrencilerin ve eğitmenlerin bakış açısından yapılan değerlendirmeler, sunulan bu referans eğitim sisteminin modern akıllı üretim yetenek eğitimini desteklemek için faydalı olduğunu göstermektedir [7].

Wang ve ark. (2021) tarafından yapılan çalışmada, geleceğin akademik ve uygulamalı personelleri için en son teknolojilerin entegre edildiği akıllı üretim uygulamalarının önemi vurgulanmış ve uygulamalı eğitim için referans bir sistem önerilmiştir. Katılımcıların ilgisini arttırmak için modern fabrikalarda yer alan süreçlerle birlikte robot tabanlı bir üretim hattı kurulmuştur. Alınan olumlu dönüşler ve değerlendirmeler sayesinde robot tabanlı üretim hattının modern bir akıllı fabrika eğitimi için faydalı olduğu teyit edilmiştir [8].

Braccini ve ark. (2020) yaptıkları çalışmada, Endüstri 4.0 teknolojilerinin esnek üretimde değer yaratmasını sürdürülebilirlik perspektifi bakımından analiz etmişlerdir. Endüstri 4.0 teknolojilerinin işi makinelere taşıdığı ancak kuruluşta ya montaj hattındaki teknolojilerin ürettiği verilerden yararlanan, Ar-Ge veya artan veri

miktarı yoluyla üretim yeteneklerini daha da geliştiren yeni iş pozisyonlarının ve birimlerin oluşmasına teşvik ettiği sonucuna varılmıştır [9].

Jhonattan Miranda ve ark. (2021), dördüncü sanayi devrimiyle birlikte teknik ve mühendislik eğitimi için dört temel bileşen ve üç vaka çalışması önermişlerdir. Eğitim 4.0 olarak adlandırdıkları bir sistemde yenilikçi prosedürleri mevcut ve gelişmekte olan teknolojilerin kullanıldığı en iyi uygulamalarla birleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda yeni bilgi üretme, bilgi aktarma, yenilikçi çözümler yaratma ve sektördeki mevcut zorluklara karşı geliştirilecek etkin çözüm ve girişimlere fayda sağlayacağı düşünülmüştür [10].

Yabanova İ. (2011), doktora tez çalışmasında bir esnek üretim sisteminin mekanik ve elektriksel yapısını değiştirmeden sisteme ilave olarak elektronik ve kontrol sistemi için yeni tasarımlar yapmıştır. Böylece çalışma sonucunda, deney seti temel düzeydeki öğrencilerin de mekatronik sistemler konusunda en yüksek derecede fayda sağlayabileceği ve kapsadığı teknolojik konuların uygulamalarını kolayca gerçekleştirebileceği bir yapıya kavuşturulmuştur [11].

Taşkın S. (2007), bir modüler üretim sisteminin gerçek zamanlı kontrolünü grafiksel bir programlama dili olan LabVIEW ile gerçekleştirmiştir. Bu şekilde geliştirilen sistemin öğrencilerin akademik başarısına ve öğrenme kolaylığı sağlamasına olan etkisi araştırılmış ve model ile oluşturulan öğretim tekniğinin, sistemin mevcut haline göre, öğrencilerin başarılarını toplamda %33 daha fazla arttırıcı özellikte olduğu görülmüştür [12].

Tekin M. (2005), yaptığı çalışmada esnek üretim sistemlerinde maliyetlerin belirlenmesi ve kontrolü ile ilgili bir uygulama gerçekleştirmiştir. Ayrıca esneklik kavramı ile birlikte esneklik türleri, esnek üretim sisteminin özellikleri ile avantaj ve dezavantajları, esnek üretim sisteminin kurulması ve donanım unsurları ayrıntılı olarak incelenmiştir [13].

Şimşek E. ve Küçükatay O (2016), mesleki ve teknik eğitim verilen tüm okul ve kurumların yanı sıra üretim yapan kurumların hizmet içi eğitim faaliyetlerinde de

uygulamalı eğitim verebilmek üzere uygulamalı otomasyon sistemleri eğitim simülatörü geliştirmiştir [14].

Saadet N. (2012), yaptığı çalışmada sürekli zaman modelleri kullanarak üretim sistemlerinin modellenmesi ve model üstünde yapılacak olan zaman gecikmesi kontrolü tekniği ile sistemi kararsızlığa sokacak gecikmeleri önceden hesaplamıştır. Bu teknik bir formül ile ifade edilerek standart bir model oluşturulmuş ve bu model üzerinden yapılan işlemlerin kesikli olay simülasyonu ve deneyler ile doğruluğu kanıtlanmıştır [15].

Torun N. ve Cengiz E. (2018), Endüstri 4.0 bakış açısının öğrenciler gözünden teknoloji kabul modeli ile ölçümü üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda üniversitelerimizin eğitim kalitesinin arttırılması için çağa uygun elektronik araç gereçlerle daha bütünleşik olunması gerektiği, programlama ve simülasyon gibi uygulamaların daha fazla kullanılmasının yarar sağlayacağı ifade edilmiştir [16].

Ayaz M ve ark. (2014), yaptıkları çalışma kapsamında otomasyon sistemleri pratik eğitiminde kullanılabilecek animasyon tabanlı bir deney seti tasarımı ve uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Çalışma ile birlikte yapılan deney setleri üzerinde eğitim alan öğrencilerin, otomasyon sistemleri üzerine teorik bilgilerinin ve uygulama becerilerinin geliştiği gözlemlenmiştir [17].

Saygın C., Kahraman F. (2013), yaptıkları çalışmada otomatikleştirilmiş üretim sistemlerinin kontrolü için web tabanlı bir PLC programlama ve kontrol mimarisi oluşturmuştur. Geliştirilen sistem sayesinde PLC kontrollü bir konveyör sistemi, çeşitli sensörler, ışıklar ve bir hava silindiri kullanan Web tabanlı bir PLC laboratuvarı oluşturulmuştur. Böylece uzak kullanıcıların İnternet üzerinden PLC tabanlı bir masa üstü üretim sistemine erişmesini ve kontrol etmesine olanak sağlanmıştır [18].

Akpınar B. (2005), çalışmanın yayımlandığı tarih itibari ile Türkiye'deki mekatronik eğitimi üzerine araştırma gerçekleştirmiş ve mekatronik eğitiminde başarı oranının düşük olmasının sebeplerini araştırmıştır. Çeşitli sebeplerle birlikte,

laboratuvar koşulları dikkate alınmadan birçok mekatronik eğitim kurumu kurulduğu ve bu girişimin de niteliksiz mezunlarla sonuçlanabildiği belirtilmiştir [19].

Meek S. ve ark. (2003), yaptıkları çalışmada Utah Üniversitesinde mekatronik eğitimi için bir laboratuvar çalışması gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda, LabVIEW tabanlı uzaktan çalıştırılmaya imkan tanıyan internet tabanlı bir laboratuvar geliştirilmiş, internet üzerinden deneylerin basit bir şekilde gerçekleştirilmesine imkan tanınmıştır [20].

Cronik ve ark. (2020), yaptıkları çalışmada esnek üretim sistemine ürünlerin sorunsuz taşınması için otonom transfer sistemi üzerinde çalışmışlardır. Araştırma sonucunda makineler arası iletişimi ve Endüstri 4.0 uyumu olan bir otomatik malzeme taşıma sistemi önermişlerdir [21].

Skanda K. S. ve ark (2002), sistem tasarımını, alt sistemlerle arayüz oluşturmak için yazılım geliştirmeyi ve sistem doğrulamasını içeren internet etkinleştirilmiş esnek üretim sistemlerinin kavramsal bir modelini içeren çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada ürüne ihtiyacı olan müşteriden web sitesi aracılığıyla alınan parametreler analiz edildikten sonra esnek üretim sistemine aktarılarak üretim süreçleri yürütülmüştür [22].

Alszer S ve Krystek J. (2018), çok çeşit ve çok versiyonlu üretime yönelik örnek bir esnek üretim sistemi modeli sunmuşlardır. Sundukları bu çalışmada gelecekteki tasarımlarda muhtemel sorunların ve aksaklıkların simülasyonu, üretimin planlanması ve yönetimi, teknik üretim planlaması, gelişmiş endüstriyel kontrolörlerin ve operatör panellerinin programlanması, endüstriyel görsel denetim sistemlerinin programlanması ve kullanılması, eylecilerin(actuators) ve taşıma ekipmanlarının parametrelendirilmesi ve taşınması gibi noktalara değinilmiştir. Ayrıca bu laboratuvar standı, ekonomik verimlilik göstergelerini keşfederken, yüksek düzeyde otomasyon ve esneklik ile karakterize edilen üretim sistemlerinin tasarımı hakkında araştırma ve bilimsel çalışma yapılmasına altyapı hazırlamaktadır [23].

Huang X. (2011), mühendislik eğitiminde mekatronik ve imalat otomasyonu için Googol Technology tarafından geliştirilmiş esnek üretim sistemi tabanlı

mekatronik eğitim laboratuvarı platformu üzerinde çalışma gerçekleştirmiştir. Eğitim platformu hareket kontrol kartları ile helikopter simülatörü, dört eksen hareket kontrol platformu, otomatik depolama ve tespit gibi birimlerden oluşmaktadır. Çalışma sonucunda laboratuvar platformunun gelişmiş ekipman bileşimi ile mühendislik eğitiminde güçlü bir potansiyel olduğu görülmüştür [24].

Zhang X. Ve ark. (2021), dijital ikiz teknolojisinin modelleme yöntemi ile ilgili olarak esnek üretim modeli prototipi üzerinde bir plan önermişlerdir. Akıllı üretim sistemlerinde kullanılan dijital ikiz teknolojisi ile prototip üzerinden alınan fiziksel bilgiler sanal ikiz ortamına aktarılıp analiz edilmiştir. Modelin tüm üretim sürecini iyileştirerek, üretim hattının verimliliğini ve olası değişikliklere karşı çevikliğini arttırdığı gözlemlenmiştir [25].

Yabanova İ. ve ark (2010), denetleyici alan ağı ve LabVIEW grafiksel programlama dili kullanılarak esnek üretim sistemi istasyonları üzerinden veri toplama ve kontrol uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Böylece değişkenlerin bilgisayar üzerinden izlenmesi ve internet üzerinden erişilebilir bir yapıda da çalışması sağlanmıştır [26].

Chawla V.K. ve ark (2019), esnek üretim sisteminde Otomatik Yönlendirmeli Araçlar(OYA)'ın kılavuz yolu konfigürasyonları, kılavuz yol konfigürasyonlarının karşılaştırılması, OYA'ların filo büyüklüğünün tahmini, zamanlama ve dağıtım politikaları, rotalanması, çakışma çözümü ve konumlandırılması hakkında bir literatür taraması yapmıştır [27].

T. Zacharia ve K. Xidias (2020) yaptıkları çalışmada esnek üretim sisteminde OYA'ların rota ve hareket planlaması için fuzzy temelli genetik algoritmayı kullanarak bir hareket planlayıcı önermişlerdir [28].

S.M Sackey ve ark. (2017), mühendislik eğitimi için gerçekçi ve pratik öğrenme altyapısı sağlamak amacıyla Endüstri 4.0 öğrenme fabrikası konsepti sunmuşlardır. Konsept ile öğrencilere güncel eğitim modelinde yer alamayan ancak gerçek hayatta karşılaşabilecekleri deneyimler sunulmuştur. Ayrıca deneysel ve pratik

projeler sayesinde deneyimli yeni mezun mühendislerle endüstriye fayda sağlanması hedeflenmiştir [29].

Demetgül M. (2012) yapılan çalışmada, Festo firmasının modüler üretim sistemini kullanarak hata tespit algoritması üzerine çalışma gerçekleştirmiştir. Sistemin sorunsuz işleyişi sensörler yardımıyla izlenmiş ve ardından yapay olarak bazı hatalar oluşturulmuştur. Oluşturulan bu hataların tespiti destek vektör makinesi ve karar ağacı algoritmaları ile gerçekleştirilmiştir [30].

Cronin C. ve ark. (2019), yaptığı çalışmada IIoT'yi kullanan esnek üretim sistemlerini ve otomotiv sektörü için akıllı üretimin başarılı bir şekilde uygulanmasının temel unsurlarını incelemiştir [31].

Sendrescu D. ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada, elektropnömatik ve elektrohidrolik sistemlerin simülasyonunu gerçekleştirmek için interaktif bir öğretim sistemi geliştirmiştir. Görsel programlama dili kullanılarak geliştirilen sistem öğrencilerin farklı modelleme yöntemlerini anlamalarına ve karşılaştırmalarına yardımcı olmaktadır [32].

Erdil A. (2021) yaptığı çalışmada, imalat sistemleri, imalat tekniklerinin sınıflandırılması, ileri imalat teknolojileri, imalat süreci modellemesi, modelleme tanımları ve veri tabanı organizasyon yapıları, esnek imalat teknikleri için veri düzenlemeleri ve tedariki ile ilgili çalışma gerçekleştirmiştir. Aynı zamanda, endüstriyel üretim otomatik süreçlerinde üretim tekniklerinin ve esnek üretim sistemlerinin uygunluğunu araştırmak için bir SWOT-GZFT (Güçlü Yönler, Zayıf Yönler, Fırsatlar ve Tehditler) değerlendirmesi yapmıştır [33].

1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının konusu olan akıllı ve esnek üretim sistemleri günümüzde orta ve büyük ölçekli birçok işletmenin üretiminin temellerini oluşturmaktadır. Dolayısıyla bu sistemlerin kullanıldığı işletmelerde ciddi bir işgücü istihdam edilmektedir. Bu yüzden bu sistemlerin öğretilmesi, çalışma prensiplerinin ve mantığının daha iyi anlaşılması gerekmektedir. Bu noktada çalışmada gerçekleştirilen

bu deney seti ile esnek üretim sistemlerindeki teorik bilginin uygulamalı pratik bilgiye dönüştürülmesi hedeflenmiştir.

Bu deney düzeneğinin kapsadığı teknolojiler alanında öğretim yapılan ister endüstri ister akademide olsun bu vb. sistemler kullanılarak uygulamalar gerçekleştirilmesi pratik deneyime katkı sağlayacaktır. Böylece alanında daha kalifiye mezunlar yetiştirilmesi ve ülke sanayisine daha nitelikli mezunlar kazandırılmasına katkı sağlanmış olacaktır.

Bu tez çalışmasında, Modül Modern Eğitim Teknolojileri A.Ş. firması işbirliği ile mekanik, elektrik, elektronik ve yazılım bileşenlerini içeren, çok istasyonlu ve kapsamlı bir Esnek Üretim Sistemleri (**FMS**) deney setinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Sistemi oluşturan birim ve elemanların işleyişlerini ve çalışma prensiplerini görselleştirerek gerçek zamanlı kontrolünü gerçekleştirmek ve eğitim modülünü basit, anlaşılabilir, pratik bir teknik eğitim seti haline getirmek hedeflenmiştir.

Üzerinde çalışılan ünitelerin her birinde Siemens S7-1200 PLC ve insan makine arayüzü olarak HMI paneller bulunmaktadır. FMS üzerinde gerçekleştirilen tüm işlemlerin kullanıcı tarafından kontrol ve müdahalesi için bu paneller programlanmış, tüm aşama ve durumların izlenebilirliği sağlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Esnek Üretim Sistemleri

Ürün ve malların kitlesel olarak yüksek adetli üretildiği üretim anlayışı günümüzde daha düşük partilerde üretime doğru yönelmektedir. Bu yönelimin temelinde ise müşteri isteklerinin ve günümüz ihtiyaçlarının hızlı değişimi yer almaktadır. Değişen müşteri isteklerine cevap verebilmek amacıyla farklı ürünlerin üretildiği üretim sistemlerine sahip olmak günümüzde rekabetin temelini oluşturmaktadır.

Teknolojinin gelişim süreciyle birlikte paralel olarak üretim ve otomasyon teknolojilerinin hızla gelişmesiyle üretimde verimliliklerin artması da kaçınılmaz olmuştur. Üretim sistemlerinde verimlilikler her geçen gün artmaya devam etmektedir. Pazarın müşterinin istekleri ile belirlendiği günümüzde müşteri isteklerine yanıt verebilen firmalar rekabetini ve verimliliğini daha da arttırmaktadır. Bu sebeplerle geleneksel klasik üretim sistemlerinin yerine akıllı üretim sistemleri ve esnek üretim sistemleri almaktadır [15]. Aşağıdaki tabloda geleneksel üretim ile esnek üretim kıyaslaması verilmiştir.

Tablo 2. 1. Geleneksel üretim ile esnek üretimin karşılaştırılması

	Geleneksel Üretim	**Esnek Üretim**
Üretim Hızı	Düşük	Yüksek
Çeşitlilik	Az	Çok
Hata Oranı	Fazla	Az
Öngörü	Düşük	Yüksek
Ayar Süreleri	Çok	Az
Transfer Süreleri	Çok	Az
Tezgah Faydalanma Oranı	Düşük	Yüksek
Stok	Yüksek yarı mamul stoğu	Gereksiz stok önleme

Esnek üretim sistemleri birden fazla çeşitte parçanın üretimine uygun olarak tasarlanan sistemlerdir. Bu sistemler bilgisayar ile kontrol edilen bir veya birden fazla

makinelerden oluşur. Bu birimler tek makinaları hücre ve esnek imalat hücresi olarak isimlendirilirler. İşlenecek ürün ya da hammaddelerin makinaya yerleştirilmesi makinadan alınması ya da birimler arasında transferi otomatikleştirilmiş bir taşıyıcı tarafından sağlanır. Esnek imalat sistemlerinde yarı mamul ya da nihai ürünlerin depolanması için bir otomatik depolama mekanizması bulunur. İhtiyaç ya da talep olması durumunda birimlere hammadde akışı sağlanması ya da üretilen ürünlerin depolanması sağlanarak verimliliğin arttırılması sağlanır. Üretim süreçlerinde direkt işçilik müdahaleleri, depolama ve taşıma gibi işlemler en aza indirilmiş olur.

Esnek üretim sistemleri işletmelerin hızla artan ve farklılaşan taleplere karşı hızlı cevap verme özelliği, düşük envanter maliyeti ve yüksek otomasyon sayesinde kalite, durumsallık ve performans artışı sağlaması bu tip sistemlere olan ilgiyi arttırmaktadır. Geniş bir tüketici ve ürün yelpazesine sahip olan işletmeler müşteri tatmini ve kalite yaklaşımını, esnek ve değişken bir yapıya sahip olan ve son derece üretken sistemler olan esnek üretim sistemleri sayesinde yakalamaktadır [34].

2.2 Esnek Üretim Sistemi Kavramı

Esnek Üretim Sistemi - Flexible Manufacturing System (FMS), birçok farklı birimin bir araya gelmesiyle oluşan sistemdir. Bu sistemlerin günümüzde birçok farklı tanımı bulunmaktadır. Kaynaklarda geçen bazı tanımlamalar ve açıklamalar aşağıda verilmiştir.

- FMS, bir dizi sınırlı kaynaktan oluşan ve çok sayıda işi işleyebilen, bilgisayar kontrollü bir üretim sistemdir [35].
- FMS, bir veya daha fazla işleme istasyonundan (genellikle CNC takım tezgahlarından) oluşan, otomatik bir malzeme taşıma ve depolama sistemi ile birbirine bağlanan ve dağıtılmış bir bilgisayar sistemi tarafından kontrol edilen, yüksek oranda otomatikleştirilmiş bir sistemdir [36].
- FMS, teknolojik altyapı, bilgisayar kontrol mekanizması, çeşitli robotlar ve nümerik kontrollü tezgâhlar ile desteklenmiş, iki ya da daha fazla esnek üretim hücresinden oluşan ve bir üründen diğerine geçişte zaman

kaybetmeden çeşitli ürünleri üretebilme yeteneğine sahip bir sistem olarak tanımlanabilir [37].

- FMS, robotlar, otomatik malzeme taşıma sistemleri ve nümerik kontrollü tezgahlar ile desteklenmiş, bilgisayar kontrollü, iki ya da daha fazla esnek üretim hücresinden oluşan bir sistemdir [38].
- FMS, sistemin talepteki dalgalanmalara minimum manuel müdahale ile tepki vermesine izin verebilen bir üretim birimini tanımlar [39].
- Modern imalatta hem otomasyon teknolojilerinin kullanımı hem de bilgisayar destekli entegre sistemlerin kullanımı giderek artan bir ilerleme içindedir. Küçük ve orta ölçekli üretimlerin hakim olduğu piyasa koşullarındaki sistemler FMS olarak temsil edilmektedir. Bu sistemler hem değişken parçalarla hem de bunların arasındaki ayrımlarla ilgilidir [40].
- FMS, farklı parça ve ürünleri büyük bir değişiklik ya da üretim duruşuna ihtiyaç duymadan üretebilme yeteneğine sahip olan sistemlerdir [36].

Gelişmiş bir FMS'de malzeme girişinden, son ürün çıkışına kadar bütün süreç bilgisayar tabanlı kontrol sistemleri ile gerçekleştirilir. Ancak her ne kadar otomatik kontrollü olsalar da insan desteğinden bağımsız sistemler olarak düşünülemez. İlk kurulum aşamasından hatasız çalışabilecek noktaya gelinceye kadar karşılaşılacak zorluklardan dolayı insan desteğine ihtiyaç duymaktadır. Bu zorluklar şu şekilde sıralanabilir [41]:

• Esnek üretim hatlarında robotun hareketleri karmaşık ve çeşitlidir. Esnek montajın çok çeşitli montaj ilişkileriyle başa çıkması gerekir. Ayrıca montaj robotlarının ortamdaki engelleri algılaması ve bunlardan kaçınması gerekir. Sonuç olarak, esnek montaj genellikle kapsamlı manuel programlama veya insan-makine işbirliği gerektirir.

• Montaj yüksek derecede hassasiyet gerektirir. İşçilerin genellikle kuvvet geri bildirimine dayalı olarak hareketlerini ayarlamaları gerekir. Son yıllarda bazı kuvvet geri beslemeli robotlar tanıtılsa da ilgili montaj kontrol modelleri hala karmaşık, yanlış ve geliştirilmeye açık durumdadır.

• Endüstriyel uygulamalar yüksek güvenilirlik ve başarı oranı gerektirir. Bunlar, yorumlanabilirliklerinin zayıf olması nedeniyle pekiştirmeli öğrenme

yaklaşımlarının ana dezavantajlarıdır. Bilinmeyen pekiştirmeli öğrenme mekanizması, riskli eylemlere yol açabilir.

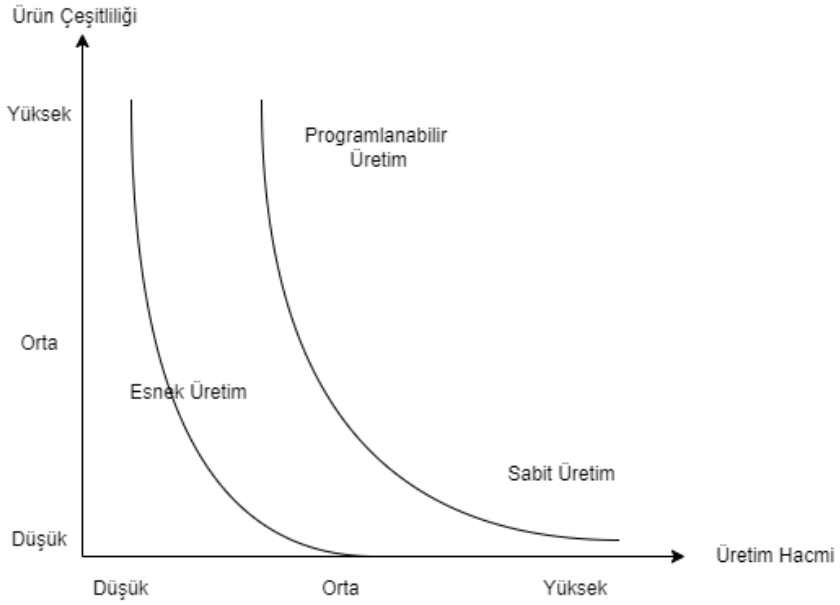
2.3 Esneklik Türleri

Literatürde birçok esneklik türünden bahsedilmektedir. Bütün esnekliklere uyum sağlayan bir esnek imalat sisteminin kurulumu maliyet açısından ciddi rakamlara ulaşabilmektedir. Hiçbir üretim sistemi tamamen esnek olamaz. Bir FMS'de yapılabilecek parça veya ürün yelpazesinin sınırları vardır [36]. Bu sebeple ihtiyaçlar göz önüne alınarak maliyet etkin çözümler üretilmesi gerekir. Bu yüzden bir sistemin esnekliği belirlenirken öncelikli olarak firmanın ihtiyaç kriterleri göz önüne alınarak belirlenmelidir. Bu esneklik türleri belirlendikten sonra bir tasarım ve yapım aşamasına geçilmelidir.

Aşağıda verilen esneklikler literatürde başlıca karşılaşılan esneklik türlerindendir [42].

- *Makine esnekliği*: Parça kümelerinin üretilebilmeleri için gerekli değişikliklerin kolayca yapılabilmesi.
- *İşlem esnekliği*: Çeşitli işlerin bir arada yapılabilmesi.
- *Ürün esnekliği*: Yeni ürünlerin üretilebilmesi için gerekli değişikliklerin ekonomik olarak ve kısa zamanda yapılabilmesi.
- *İşlem sırası esnekliği*: Makine arızalarından üretimin en az seviyede etkilenmesi.
- *Hacim esnekliği*: FMS'lerin, değişik üretim hacimlerini ekonomik bir şekilde işleyebilme yeteneği.
- *Genişleme esnekliği*: FMS'in ihtiyaç halinde ve modüler bir şekilde genişleyebilme yeteneği.
- *Operasyon esnekliği*: Her ürün çeşidi için ürün çeşidinin işlem sırasındaki yer değişimi yapabilme yeteneği.
- *Üretim esnekliği*: Esnek üretim sistemlerinin üretebileceği parça çeşitleri kümesi.

Şekil 2.1'de ürün çeşitliliği ile üretim hacmi grafiği gösterilmiştir. Ürün çeşitliliği arttıkça, fakat üretim hacmi azaldıkça FMS sistemlerinin daha ön plana çıktığı söylenebilir.



Şekil 2. 1. Ürün çeşitliliği – Üretim hacmi grafiği [43]

2.4 Esnek Üretim Sistemi Bileşenleri

Esnek üretim sistemi oluşturulurken işletmenin ihtiyaçları göz önüne alınır. Tipik bir esnek üretim sistemini oluşturan birimler Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2. 2. Esnek üretim sistemi bileşenleri

2.4.1 İş İstasyonları

Yükleme – Boşaltma İstasyonları: FMS'i oluşturan en temel üniteler iş istasyonlarıdır. Bu istasyonlarda işlenmemiş parçaların giriş yaptığı, işlenmiş parçaların ise sistem dışına gönderildiği noktalardır. Bu birimler fabrika ile FMS arasındaki kapılar olarak düşünülebilir.

İşleme İstasyonları: Bu birimler nümerik kontrollü tezgahlar (CNC), torna ve freze gibi tezgahlardan oluşmaktadır.

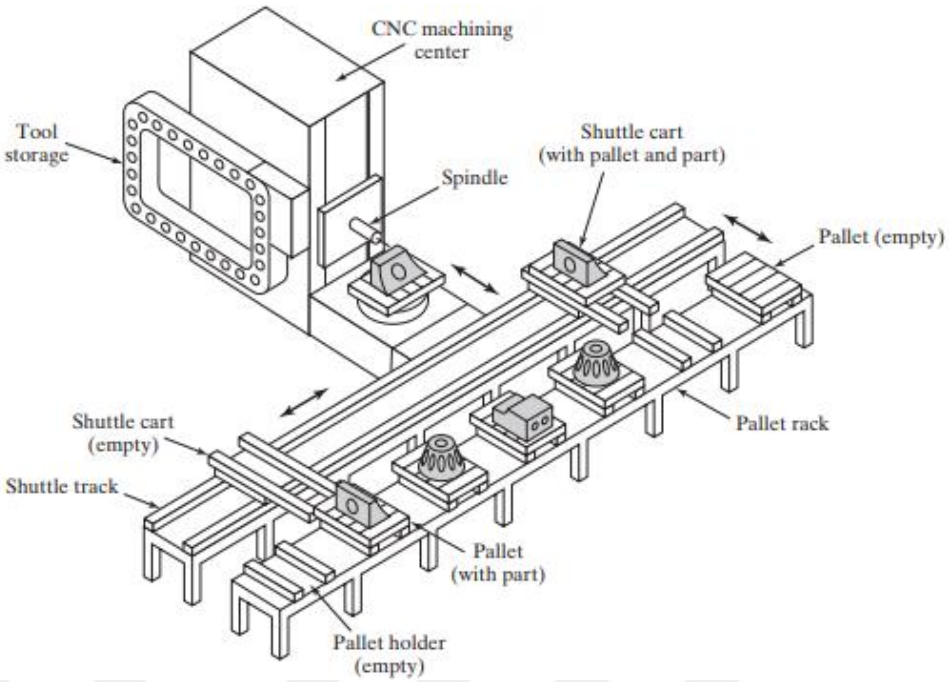
Montaj: Bazı FMS'ler montaj faaliyetleri için tasarlanıp üretilmektedir. Bu tür sistemlerde benzer ürünlerin aynı aktarma mekanizması üzerinden aktığı sistemler olarak düşünülebilir. Bu sistemlerde genellikle endüstriyel robotlar ya da işbirlikçi robotlar tercih edilebilir.

Diğer İstasyonlar ve Ekipmanlar: Merkezi denetim sistemleri, hurda parça toplama sistemleri, kalite kontrol mekanizmaları gibi sistemler bu tür iş istasyonlarına örnek olarak gösterilebilir.

Yukarıda belirtilen iş istasyonlarının sayısına göre sınıflandırarak bir araya getirilmesi ile esnek üretim modülü, esnek üretim hücresi ve esnek üretim sistemi oluşur.

2.4.1.1 Esnek Üretim Modülü

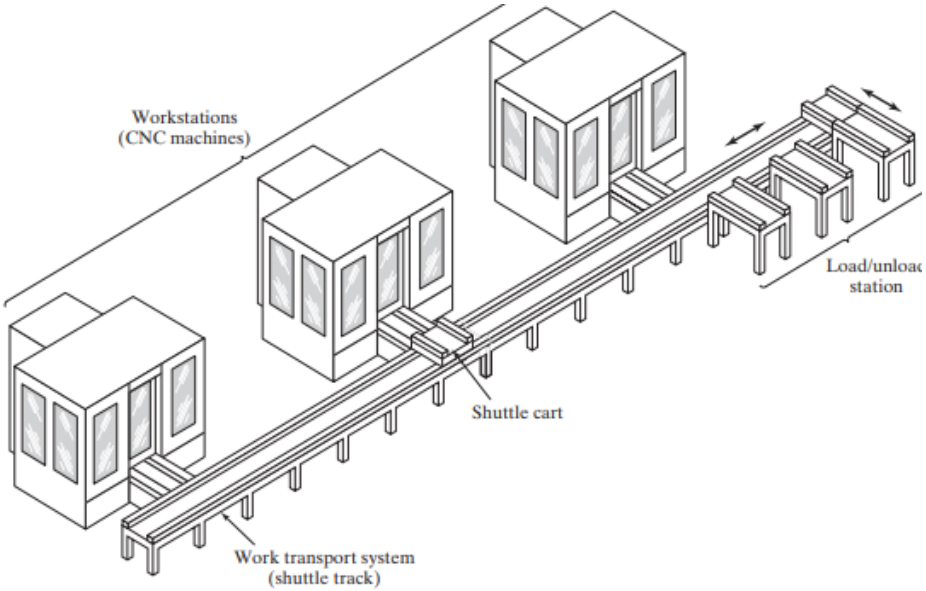
Esnek üretim modülü genel olarak tek bir nümerik kontrollü (CNC) makineden oluşur. Parça-Stok ilişkisi içerisinde çalışır. Birim toplu parti modu, esnek mod ya da her iki moda uygun olarak da çalışabilir. Tamamlanan parçalar birimin önündeki tezgahtan otomatik olarak boşaltılır ve yeni gelen parça otomatik olarak yerleştirilir [36]. Şekil 2.3'de örnek tek makineli modülün görseli verilmiştir.



Şekil 2. 3. Örnek bir esnek üretim modülü [44]

2.4.1.2 Esnek Üretim Hücreleri

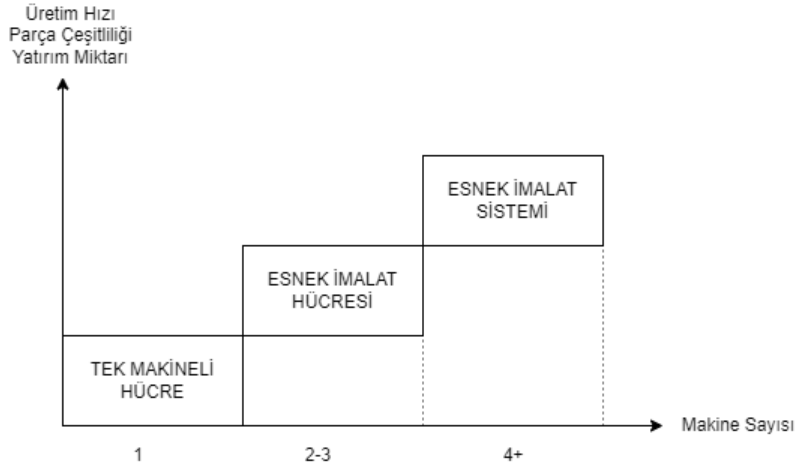
Esnek imalat hücresi, birbiriyle bağlantılı iki veya üç adet birimin bir araya gelmesiyle oluşur. Bu birimler CNC ya da torna birimleri olabilirler. Parça işleme birimleri bir yükleme boşaltma istasyonuna bağlıdır ve parça alışverişi buradan sağlanır. Bu taşıma sistemi sınırlı sayıda parçanın depolanmasına imkan tanır [36]. Şekil 2.4'de tipik bir esnek imalat hücresinin görseli verilmiştir.



Şekil 2. 4. 3 Farklı birimden oluşan esnek üretim hücresi [44]

2.4.1.3 Esnek Üretim Sistemi

FMS, bilgisayarla tümleşik bileşenlerle birlikte bilgisayar kontrollü makineler, montaj hücre hatları, entegre devreler, değerlendirme makineleri vb. kullanan yüksek düzeyde merkezi olmayan veri işleme ve otomatik malzeme yönetimi ile ilgilenen bir sistemdir [33]. Şekil 2.5'de makine sayısına karşın üretim hızı parça çeşitliliği yatırım miktarı grafiği verilmiştir.



Şekil 2. 5. Makine sayısı bağlı değişkenler grafiği

2.4.2 Malzeme Taşıma ve Depolama Sistemi

FMS'i oluşturan diğer bir alt unsur ise malzeme taşıma ve malzeme depolama sistemleridir. Üretim tesislerindeki malzeme taşıma sistemleri tesis içerisindeki bileşenleri ve son ürünleri depolamak ve taşımak için kullanılan sistem ve ekipmanlardan oluşur. Bu sistemlerin amacı tesis içerisindeki malzeme ve ürün transfer sürelerinden oluşan kayıpları minimum seviyeye indirmektir. Genel giderlerle birlikte ürün ve malzeme giderlerinin yaklaşık %55'lik bir kısmını oluşturur. Bu nedenle malzemeler ilgili birimlere tam zamanında götürülmeli ve işlemi biten ürünler de aynı çabuklukta ilgili birimden uzaklaştırılmalıdır. Bu sebeple taşıma sisteminin tasarımı tesis tasarımının önemli bir kısmını temsil eder [45,46].

Otomatik Yönlendirmeli Araçlar (AGV)

Günümüzde birçok tesiste otomatik yönlendirmeli araçlar (AGV) kullanılarak tesis içerisinde ürün ve malzemelerin transferleri gerçekleştirilmektedir. Bu AGV'ler makineler arası haberleşme (M2M) altyapısı sayesinde tüm üretim sisteminden anlık olarak iletişim gerçekleştirebilmektedirler. AGV, müsaitlik ve taşınacak ürün

durumuna göre ilgili noktaya giderek ürünü transfer için alır. Ardından en kısa sürede hedefe ulaşmak için kendisine belirlenen rotaları kullanarak transferi gerçekleştirir. Günümüzde tesislerde kullanılan bu araçlar elektrikli tahrik sistemleri ile sessiz ve çevreci bir taşıma çözümü sunarlar.

AGV'ler, her biri tek tek yük taşıyan iletim aracı, paletli taşıyıcı veya durup yükü bırakabilen, yükü alabilen taşıyıcılar olarak, otomatik depolama ve boşaltma sistemleri ve esnek imalat birimleri ile entegre çalışabilen araçlar olarak adlandırılabilir [46]. Şekil 2.6'da bir AGV yapısı gösterilmiştir.

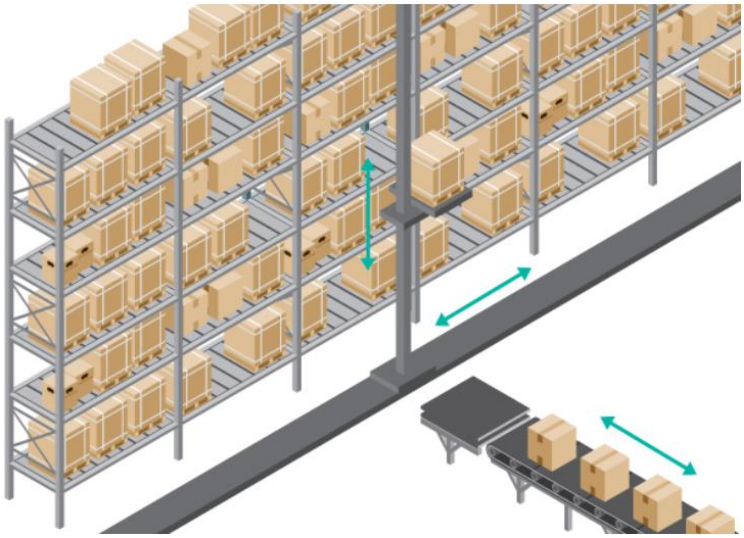


Şekil 2. 6. Otomatik yönlendirmeli araç [47]

Otomatik Depolama ve Boşaltma Sistemleri

Sanayide birçok sektörde depolama sistemleri, stok yönetimi ve sevkiyat işlemleri çok önemli bir yer tutmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle üretim hızı her geçen gün artmış buna bağlı olarak ürünlerin rafta bekleme süreleri uzamıştır. İşletmeler fazla olan ürünlerini depolarda stoklamakta ve bu işlemler genellikle operatörler ve forkliftler yardımı ile gerçeklemektedir [48].

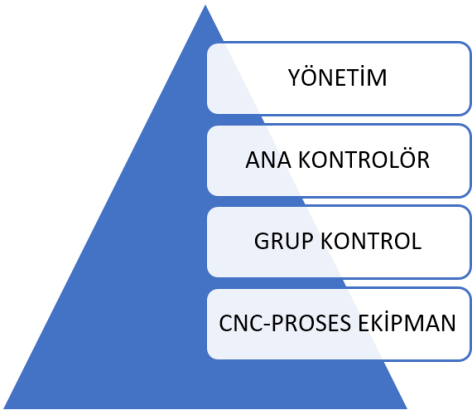
Esnek üretim sistemlerinde depolama maliyetlerinin düşürülmesi ve işleyişin operatörlerden daha bağımsız ve otomatik hale getirilmesi için otomatik depolama ve boşaltma sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemler final veya yarı mamul ürünün transfer işlemini sistemin arzına göre gerçekleştirmektedir. Bu sistemler sayesinde daha az işgücü ile daha verimli ve hatasız işlemler gerçekleştirilebilmektedir. Şekil 2.7 otomatik depolama ve boşaltma sistemi örneğini göstermektedir [49].



Şekil 2. 7. Otomatik depolama ve boşaltma birimi

2.4.3 Bilgisayarlı Kontrol Merkezi

Esnek üretim sistemlerinde belirlenen hedeflere ulaşılması için üretim sisteminin her birimi kendisine atanan görevleri optimum derecede yerine getirmelidir. Bu fonksiyonları denetlemek ve yönlendirme ise bilgisayarlı kontrol merkezleri ile gerçekleşir. Esnek üretim sistemlerinde bilgi işleme farklı kontrol seviyesindeki birçok bilgisayar arasında dağınık şekildedir. Kontrol sistemi mimari olarak alt sistemlere ayrılmış ve bu alt sistemlerde çeşitli birimlerden meydana gelmektedir. Tüm bu birimler arasında görevlerin eksiksiz yerine getirebilmesi ve süreklilik sağlanabilmesi için sürekli bir bilgi alışverişi bulunur. Bu hızlı bilgi alışverişi sayesinde işlem süreci ve taşıma koordine edilir ve görev atamaları yapılır. Her sistem kendi içerisinde bağımsızdır ve kendi bilgisayar sistemi ile denetlenir [50]. Kontrol merkezi hiyerarşik sıralaması Şekil 2.8'de yer almaktadır.



Şekil 2. 8. Kontrol merkezi hiyerarşik sıralaması

Esnek üretim sistemlerinde bilgisayarlı kontrol merkezlerinin belirli görevleri atanır. Bu görevler aşağıdaki gibi sıralanır [44].

- İş İstasyonlarının kontrolü
- İş istasyonlarına talimatların dağıtımı
- Üretimin kontrolü
- Sistem trafiğinin kontrolü
- İş parçalarının kontrolü
- Transfer sistemlerinin kontrolü
- CNC vb. işleme istasyonlarındaki kesici ve delici takımların kontrolü
- Performans izleme ve raporlama
- Arızaların tespit edilmesi ve olası bakım önlemlerinin bildirilmesi

2.5 Esnek Üretim Sisteminin Faydaları

Sistemin dizaynı parça hareketleri için yer kullanımında azami tasarruf sağlar. Böylelikle, süreç envanteri önceden belirlenen seviyeyi aşmaz [51]. Parça hareketleri ve transfer süreleri minimumda tutulacak şekilde tasarlanır. Böylece taşıma kayıpları minimize edilmiş olur.

Makine kullanım oranı yüksektir. Otomasyona ve bilgisayar teknolojilerine dayalı bir üretim modeli olduğu için makine kullanımı yüksek düzeydedir. Kullanılan makine ve aletlerin sayısında önemli azalmalar sağlanmakta, tezgah hazırlık sürelerinin kısalması ve enformasyon teknolojisinin etken kullanımı ile makine kullanım oranları yükselmektedir [52].Yüksek makine kullanımından ve otomasyon altyapısından dolayı işçilik maliyetleri düşüktür.

Düşük parti boyutlarında üretime imkan sağlayan bu sistemlerde müşteri isteklerine hızlı cevap verirler. Bu sistemler sayesinde tüketiciler çok seçenekle karşı karşıya gelerek, bağımsız bir şekilde istediğini elde etme olanağına kavuşmuş imkanı bulmaktadırlar [51].

Stok maliyetleri ve yarı mamul stokları düşük seviyededir. Pek çok işletme için esas maliyet kalemlerinden birini teşkil eden stok bulundurma maliyeti esnek üretim

sistemleri için söz konusu olmamaktadır. Firmalar stok maliyetlerini farklı alanlarda değerlendirerek fayda sağlayabilirler. Esnek üretim sistemleri uygulamada %60-80 arasında işletmeye katkı sağlamakta ve maliyetlerde azalma gerçekleşmektedir [52]. Günümüzde sıfır stokla çalışmayı hedefleyen işletmeler, stok maliyetlerinden, depo ve depolama giderlerinden kurtulmak için esnek üretim sistemlerini kullanmaktadırlar [53].

Robotlar ve otomatik yönlendirmeli araçlar sayesinde taşıma süreleri ve ara stok süresinin kısalması sistemin sürekliliğini arttırmaktadır. Esnek üretim sistemlerinde birden fazla ürünü üretme esnekliğinin yanı sıra, kompleks ürünler, artan pazar talepleri karşısında kaliteli ve güvenilir bir şekilde üretilebilmektedir. CAD yardımıyla tasarımlanan ürünler, kullanılan ileri teknoloji sayesinde kaliteli ve tüketicinin isteklerini karşılar nitelikte üretilebilmektedir. Esnek üretim sistemlerinin endüstride kullanılış amaçlarından biri, istenilen nitelikteki ürün veya ürün karmalarını kaliteli üretmesidir [52].

Üretimdeki ürün kalitesi yüksektir. Üretim sistemlerinde ürünlerin kalite kontrol aşamalarında bilgisayar desteğinden faydalanılmaktadır. Ürünlerin sisteme girişinden son çıkışına kadar insan müdahalesinden uzak olması olası hataları en düşük seviyeye indirmektedir. Ayrıca esnek üretim sistemleri kaliteli üretimin devamlılığını ve istikrarını sağlamaktadır. İşletmelerin esnek üretim sistemini kullanmalarının bir sebebi de üretimin kalite seviyesinin yüksek oluşudur [53].

Üründe meydana gelecek dalgalanmalara yanıt verebilir. Gelecekte üretim hacmindeki artışlardan kaynaklanabilecek genişlemeler planlanarak, sistem içine daha fazla tezgah entegre edilebilir ya da değişiklikler yapılabilir [43].

Esnek üretim sistemleri ekonomik değişimlerin hızlı olduğu dönemlerde üretim kapasitesinin değiştirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu durum işletmelerin maliyet, kar ve stoklama politikasına destek olmaktadır. Çünkü esnek üretim sistemi değişen talepleri karşılayabilme amacıyla geliştirilmiş sistemlerdir [37].

Esnek üretim sistemlerinin faydaları yukarıda verilenlere göre kısaca aşağıdaki başlıklar halinde toparlanabilir.

- Stokların azaltılmasına yardımcı olur.
- Yer tasarrufu sağlar.
- Otomasyonu arttırırken çalışan sayısı azalır.
- Tezgâh hazırlık sürelerinin kısalmasını sağlar.
- İnsan faktörünü en aza indirgeyen bir sistem olduğundan, hata sayısını minimize eder.
- Daha küçük partilerde, daha çeşitli ürünlerin üretilmesini sağlar.
- Finansal çevrimi hızlandırır.
- Çalışanların verimliliğinde artış sağlar.
- Daha güvenli bir iş ortamı yaratır.
- Verimlilik ve kârlılık artışı sağlayarak, uzun dönemde rekabet avantajı yaratır.
- Siparişlerin teslim süresinin kısalmasını sağlar.
- Çevrim zamanını kısaltır.
- Yığın hacmini minimize eder.

2.6 Esnek Üretim Sistemlerinin Dezavantajları

Esnek üretim sistemlerinin uygulama noktasında karşılaşılan güçlükleri şu şekilde sıralanabilir [54]:

- Kurulum maliyetlerinin yüksek oluşu
- Makine kullanımının artması nedeniyle istihdamın azalması
- Yazılım sorunları
- Kurulumda ve çalıştırmada uzman ekip gerektirmesi
- Sürekli teknolojik yenilik gerektiriyor olması

- Teknik sorunlar durumunda, planlamalarda sapmalar yaratması
- Sistemin tamamen oturmasının zaman alması

İşletmelere büyük avantajlar sağlayan esnek üretim sistemlerinin tercih edilmesinde işletmeleri kararsız kılan en büyük faktör sistemin kurulma maliyetidir. Bir FMS'in kurulması için, bu sistemin kuruluş ve planlama aşamasında yapılacak çalışmaların çok dikkatli ve titiz bir şekilde gerçekleştirilmesi, ihtiyaçların belirlenmesi gerekmektedir. Bu tip büyük yatırımlar, finansal risk yanında, organizasyonel birtakım riskler de içermektedir. Bu anlamda sistemin işletmeler tarafından satın alınması ve montajının gerçekleşmesi büyük sermaye ihtiyaçlarını ortaya çıkarmaktadır. Mali yapıları güçlü olmayan işletmeler sisteme geçişte büyük zorluk yaşayabilmektedir [52,55].

Olası hata durumlarında sisteme insan müdahalesi gerekmektedir. Bu tür sistemlerde karşılaşılacak dezavantajlardan birisi de kalifiye eleman ve uzman eksikliğidir. Karşılaşılan problemlere çözüm bulacak ya da gerekli aksiyonu alacak yetişmiş insan gücüne ihtiyaç duyulur. İşletmeler bu ihtiyacı karşılamak için hem yeni iş gören istihdam etmeli hem de eleman değişimi ihtiyacını karşılayacak şekilde eğitim sistemi kurmalıdırlar [53].

Esnek üretim sistemlerinde sistematik olarak bakım faaliyetlerinin yürütülmesi gerekir. Bakım giderleri açısından değerlendirildiğinde sistemin karmaşık olmasından dolayı klasik üretim sistemlerinden daha fazla bakım maliyeti oluşur. Arıza durumunda parçalara ve işgücüne yüksek maliyet ödenmesi durumu oluşabilir [56].

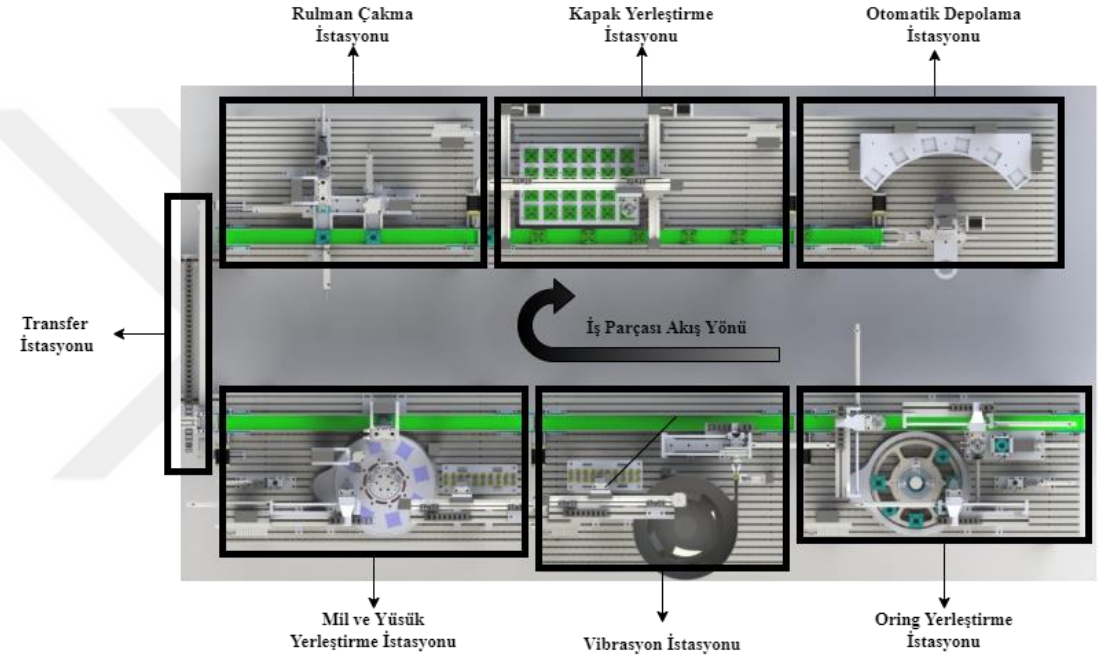
Esnek üretim sistemlerinden karşılaşılan diğer bir zorluk planlama zorluğudur. Gerekli hammadde ve malzeme miktarı tam olarak belirlenemediği taktirde gereksiz stoklama ya da hammadde eksikliğinden üretimin aksamasına sebep olabilir. Sistem çalışmaya başladıktan sonra hataların düzeltilmesi çok zor ve çok masraf gerektirdiğinden her şeyin en ince noktasına kadar test edildikten sonra üretime geçilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu sistemlerin özelliği üretime esneklik ve ekonomiklik kazandırarak verimliliği artırmaktır. Planlama düzgün yapılmadığı zaman aksine sonuçlar çıkarabilmektedir [55].

3.MATERYAL VE YÖNTEMLER

Bu bölüm tez çalışmasının konusunu oluşturan FMS'e ait istasyonların tasarım, programlama ve akış diyagramlarına ait detayları içermektedir.

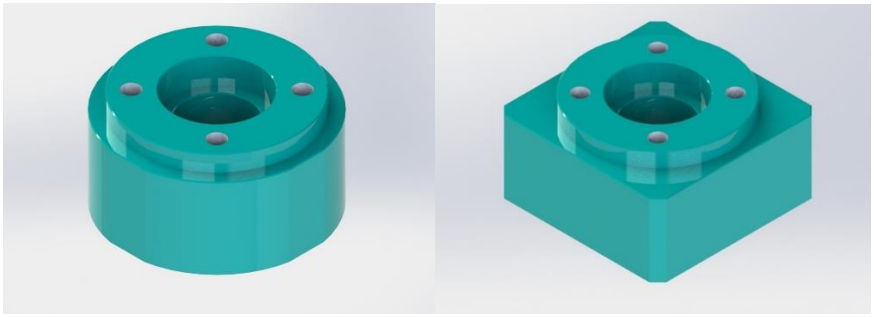
3.1 Materyal

Sistem toplamda biri transfer istasyonu olmak üzere altı adet istasyondan oluşmaktadır. Şekil 3.1'de tasarımı planlanmış olan FMS'e ait katı model resmi verilmiştir.

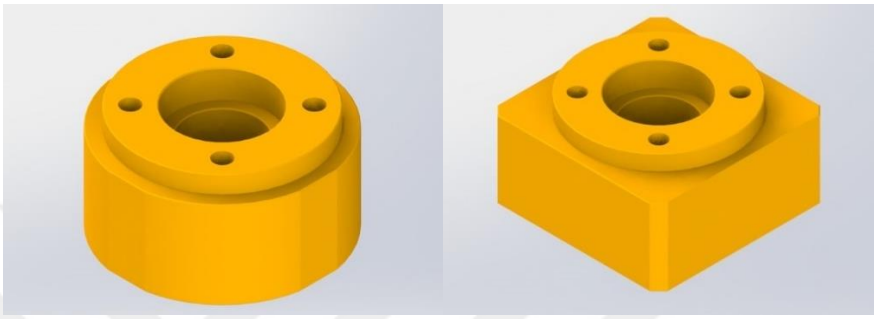


Şekil 3. 1. İstasyonlar ve yerleşim planı

Bu istasyonlar dört farklı iş parçası üzerine, türüne ve şekline bağlı olarak işlemler gerçekleştirecektir. İki adet metal, iki adet plastik ve kare - dairesel yapıda olmak üzere toplamda dört farklı iş parçası bulunmaktadır. Şekil 3.2 ve 3.3'te iş parçalarına ait görseller verilmiştir.

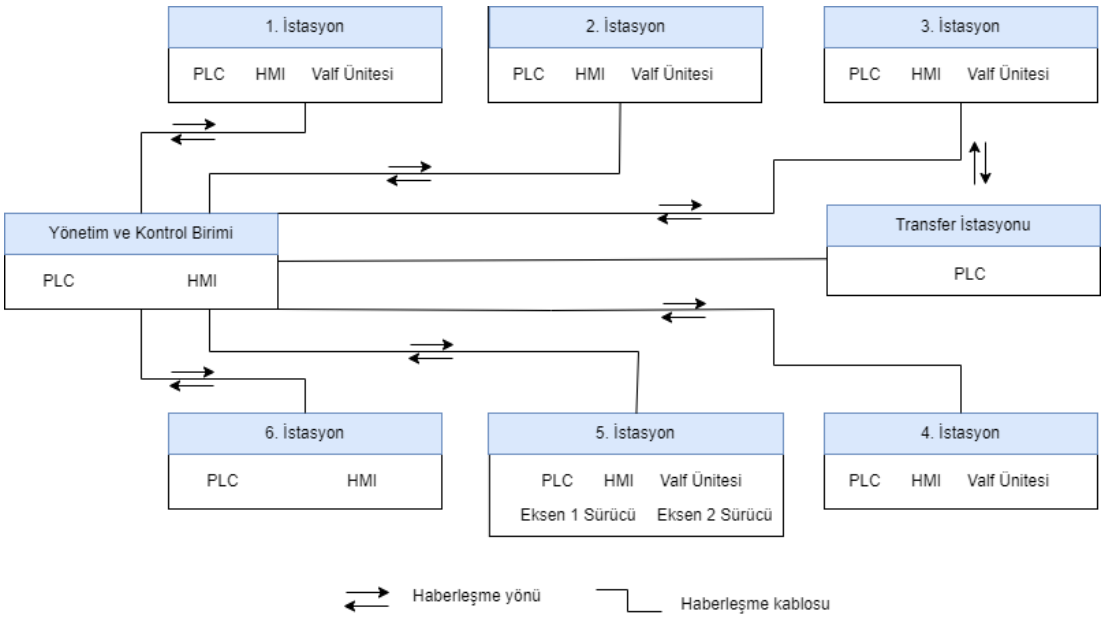


Şekil 3. 2. Metal iş parçaları



Şekil 3. 3. Plastik iş parçaları

FMS istasyonları kontrolörler, HMI ekranlar ve pnömatik silindirlerin bağlı olduğu valf ünitelerinden oluşmaktadır. Şekil 3.4'te bu birimlerin sistem genelindeki dağılımı ve haberleşmesi verilmiştir.



Şekil 3. 4. Sistemin haberleşme altyapısı

3.1.1 Deney Setinin İş Parçaları ve İstasyonları

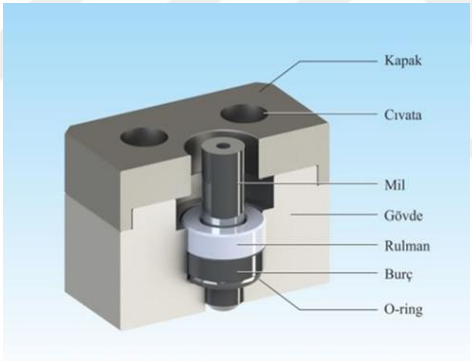
Bu kısımda FMS'de kullanılacak iş parçaları ve istasyonlar üzerinde tasarım detaylarından bahsedilmiştir.

3.1.1.1 İş parçası ve montaj elemanları

Her bir iş parçası üzerine bir dizi montaj işlemi gerçekleşmektedir. İşlem sırası aşağıdaki gibidir.

1. Oring yerleşimi
2. Mil yerleşimi
3. Yüsük (burç) yerleşimi
4. Rulman çakma işlemi
5. Kapak montajı

Şekil 3.5'te işlemi bitmiş bir iş parçasının kesit görseli verilmiştir.



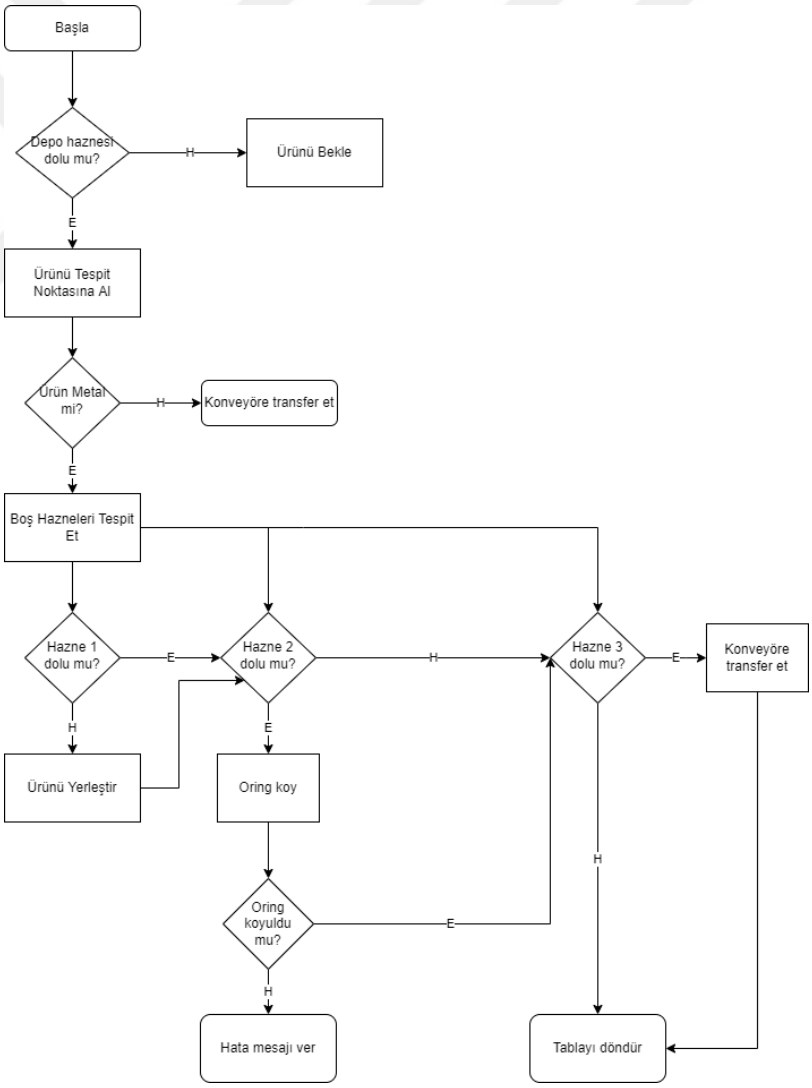
Şekil 3. 5. İşlemi bitmiş iş parçasının kesit görüntüsü

3.1.1.2 Oring İstasyonu

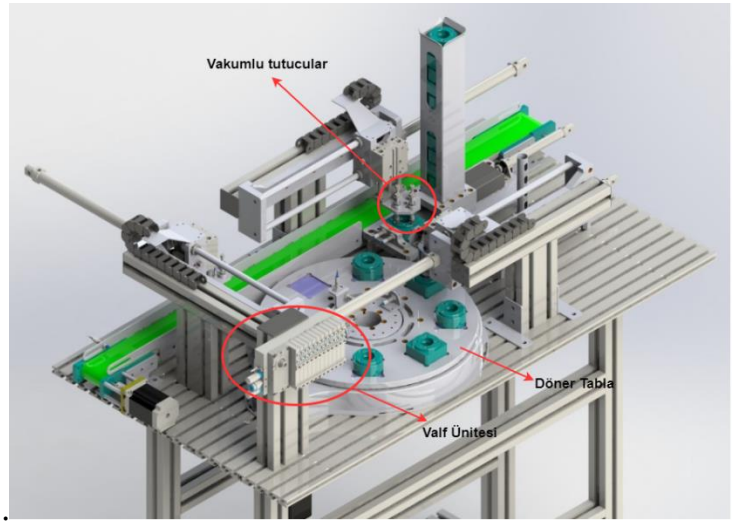
FMS deney setinin ilk istasyonu olan oring istasyonu temel olarak 3 ana birimden oluşmaktadır. Bu birimlerden ilki otomatik besleme birimidir. Besleme biriminde çift etkili bir silindir yardımıyla şarjör mekanizması sayesinde sisteme ürün beslemesi otomatik olarak gerçekleşmektedir. Besleme ile birlikte işlem yapılacak olan maddeler algılayıcılar ile seçilerek ayrıştırılır. Ayrıştırma işlemi optik ve indüktif sensörler yardımıyla yapılır. İstasyona alınacak olan ürünler seçilir ve lineer çift etkili silindire bağlı olan vakum pistonu ile döner tablaya transfer edilir. Döner tablaya her

ürün girişi olduğunda 90 derece döner ve 270 dereceyi tamamlayan ürün üçüncü birim ile tekrar taşıma bandına aktarılır.

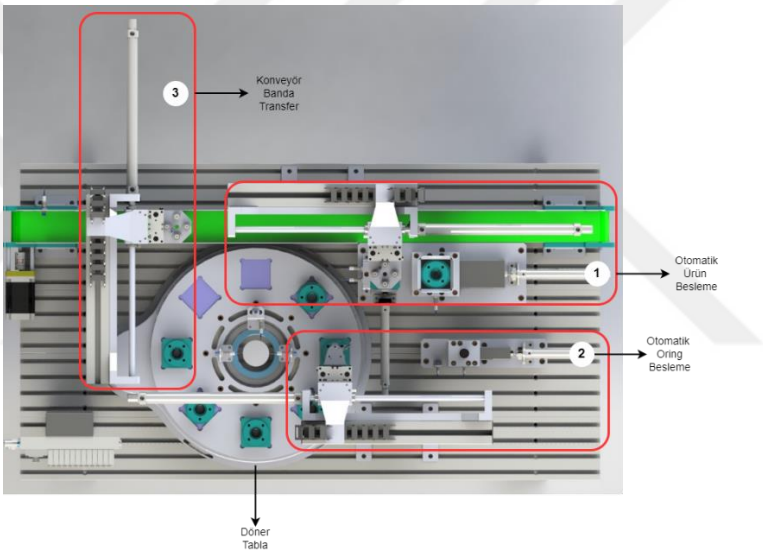
İkinci birim olarak otomatik oring besleme birimi bulunmaktadır. Çift etkili silindir yardımıyla otomatik olarak beslenen oringler gripper tutucu yardımıyla merkezden tutularak iş parçasının içerisine yerleştirilir. Böylece ilgili birimde oring yerleştirme işlemi tamamlanmış olur. Son birim olarak konveyör banda transfer birimi bulunmaktadır. Çift etkili lineer silindire bağlı olan vakum pistonu yardımıyla iş parçalarının konveyör banda transferi gerçekleştirilir. Böylece ilk istasyonda tüm işlemler tamamlanır ve bir sonraki istasyona iletilir. Oring istasyonu iş akış şeması ve görünümü Şekil 3.6'da, Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de sırasıyla verilmiştir.



Şekil 3. 6. Oring istasyonu iş akış şeması



Şekil 3. 7. Oring istasyonunun yandan görünüşü

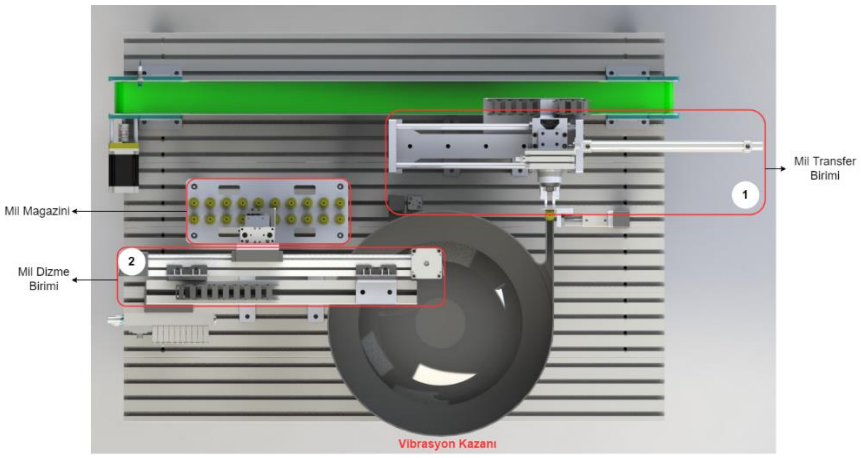


Şekil 3. 8. Oring istasyonunun üsten görünüşü ve işlem birimleri

Şekil 3.8'de görüldüğü üzere istasyon 3 farklı bağımsız birimden oluşmaktadır. İş parçaları sırasıyla işlem gördükten sonra 3 numaralı birimle birlikte konveyör banda transfer edilmektedir.

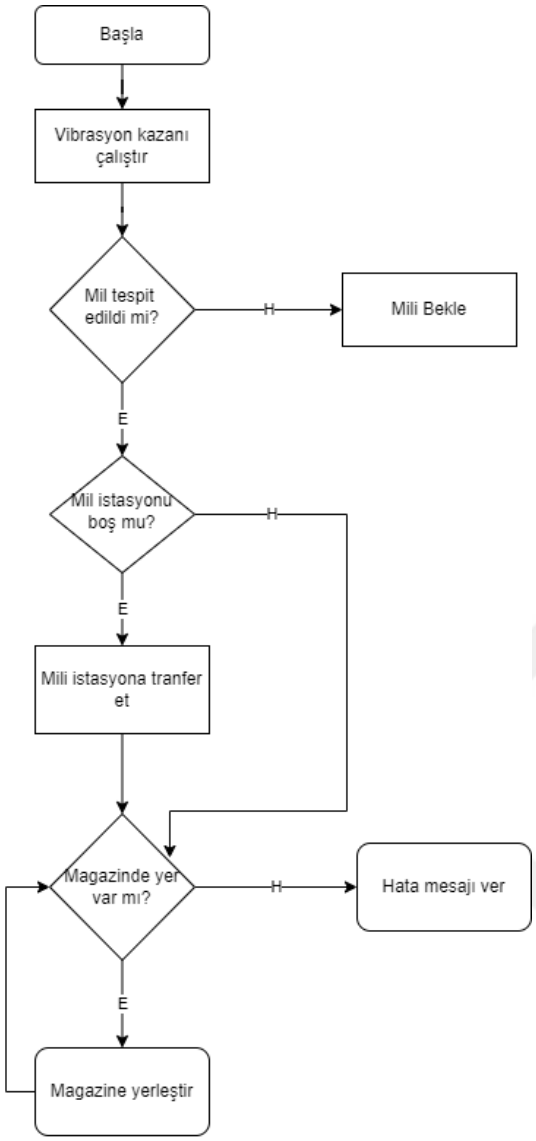
3.1.1.3 Vibrasyon Çanağı İstasyonu

FMS deney setinin ikinci istasyonu vibrasyon kazanı istasyonudur. Bu istasyon temelde iki birimden oluşmaktadır. Şekil 3.9'da birimler gösterilmiştir.

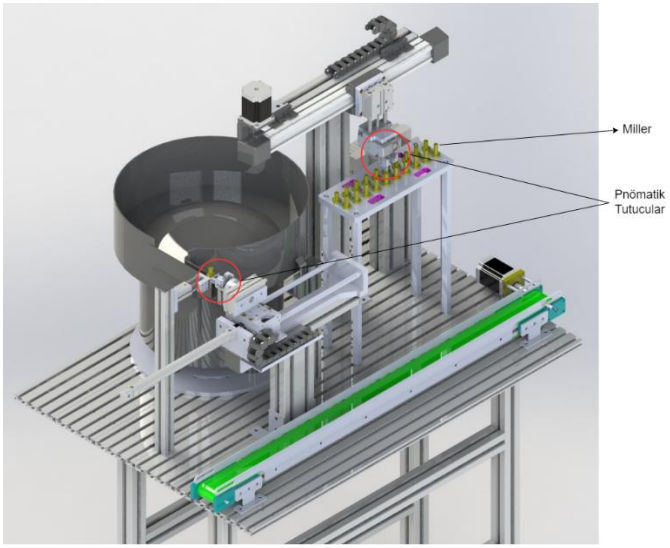


Şekil 3. 9. Vibrasyon istasyonunun üstten görünüşü

Vibrasyon kazanına karışık şekilde atılan miller titreşim sayesinde belirli bir düzende mil transfer birimine iletilmektedir. Çift etkili lineer silindir ve döner pnömatik tutucu ile alınan miller magazine dizilmek üzere mil dizme birimine iletilir. Step motor tarafından tahriki sağlanan bu eksen ile miller yerleri daha önceden belirlenen mil magazinine yerleştirilir. Böylece istasyonda yapılacak işlem tamamlanmış olur. Şekil 3.10'da vibrasyon kazanı iş akış şeması, 3.11'de ise bu istasyonun görünümü verilmiştir.



Şekil 3. 10. Vibrasyon kazanı istasyonu iş akış şeması



Şekil 3. 11. Vibrasyon istasyonunun yandan görünüşü

3.1.1.4 Mil ve Yüsük Yerleştirme İstasyonu

Mil ve yüsük yerleştirme istasyonu iş parçalarını konveyör banttan gelen sıraya göre istasyona alır. İstasyon temel olarak 4 farklı birimden oluşmaktadır.

İlk olarak istasyona alma işlemi lineer hareket eden çift etkili silindire bağlı olan döner silindirlerdeki iki adet gripper tutucu sayesinde gerçekleştirilir. İstasyona giriş yapan iş parçasıyla birlikte varsa işlemi biten iş parçaları tekrar konveyör banda bırakılarak birim işlemini tamamlar.

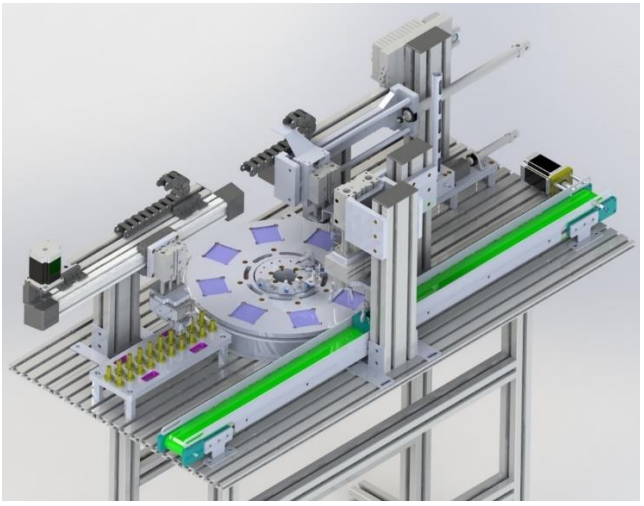
İkinci birimde magazine bir önceki istasyonda dizilmiş olan miller sırasıyla iş parçalarının içerisine yerleştirme işlemi gerçekleştirilir. Lineer eyleyici yardımıyla pozisyonlama yapılarak miller daha önceden belirlenen noktalardan gripper tutucu yardımıyla tutularak iş parçalarına yerleştirilir.

Üçüncü birimde yüsük yerleştirme işlemi için çift etkili silindir yardımıyla otomatik besleme gerçekleştirilir. Lineer çift etkili silindire bağlı bulunan gripper tutucular yardımı ile yüsükler tutularak iş parçalarının içerisine yerleştirilir. Yerleştirme işleminin ardından döner tabla 45 derece saat yönünde dönerek bir sonraki birime iş parçasını aktarır.

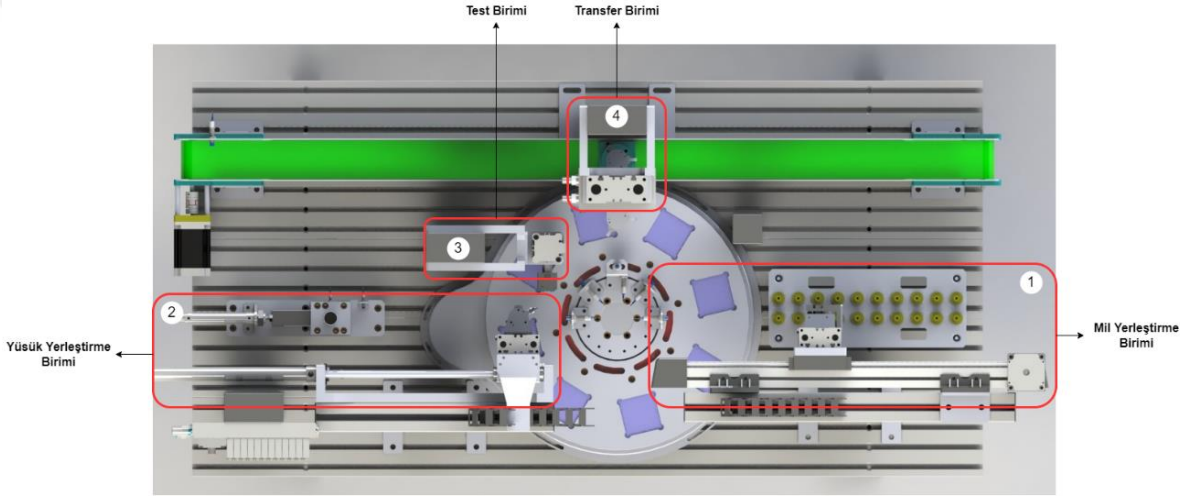
Dört numaralı birimde lineer silindirin iş parçası üzerine kapanması ile birlikte belirli süreli bir basınç sızdırmazlık testine tabi tutulur. İşlem sonucunda varsa hatalı montaj yapılmış olan ürünlerin ayrıştırılması sağlanır. Sızdırmazlık testi ile ilgili görsel Şekil 3.12'de paylaşılmıştır.



Şekil 3. 12. Sızdırmazlık testi birimi örnek görseli



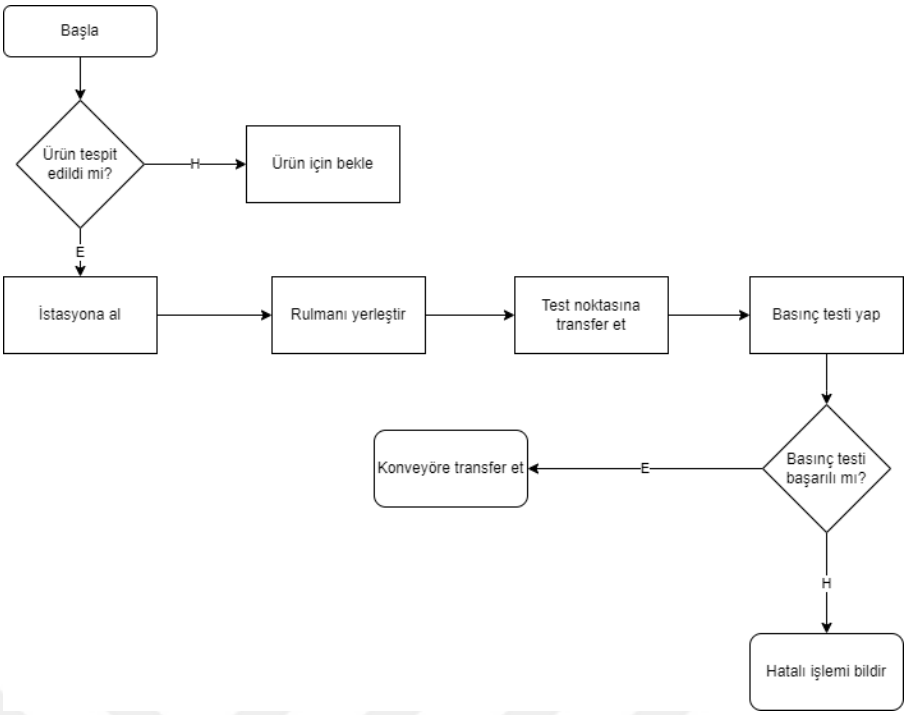
Şekil 3. 13. Mil ve yüsük yerleştirme istasyonunun yandan görünüşü



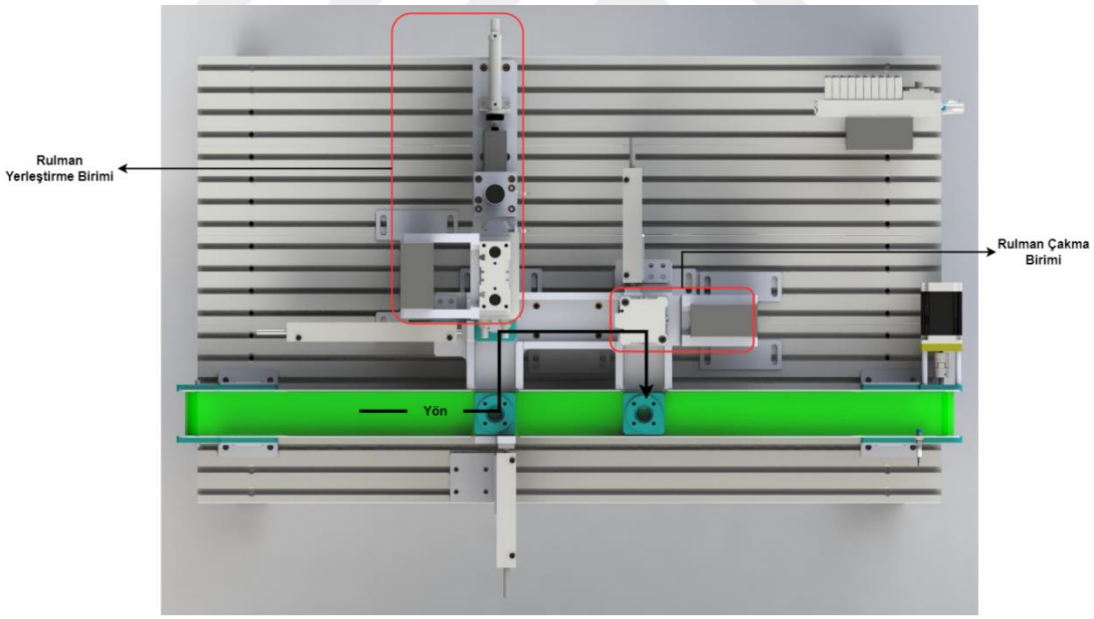
Şekil 3. 14. Mil ve yüsük yerleştirme istasyonunun üstten görünüşü

3.1.1.5 Rulman Çakma İstasyonu

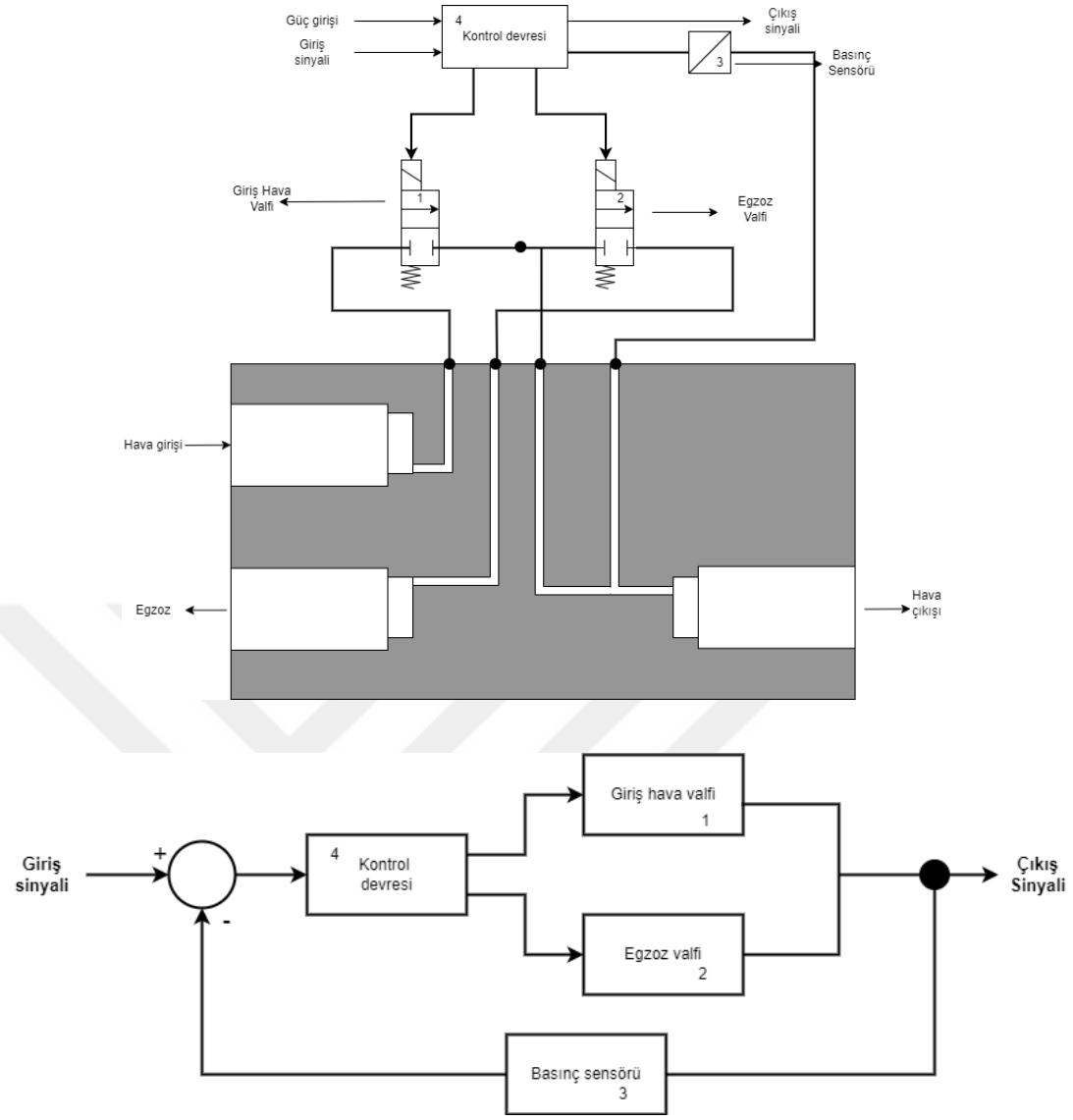
FMS deney setinin dördüncü istasyonu olan rulman çakma istasyonunda iş parçalarındaki millere rulman geçirme ve baskı kuvvetiyle istenen ölçüde çakma işlemi gerçekleştirilir. Çift etkili silindir ile iş parçaları istasyona alınır. Döner silindire bağlı pnömatik tutucular ile rulman merkezdeki milin çevresine yerleştirilir. Ardından lineer çift etkili silindir ile üzerine baskı uygulanır. Uygulanan kuvvet yük hücresi ile kilogram cinsinden okunur ve oransal olarak ayarlanır. İstenen değerlerin dışında olan işlemler hatalı olarak sınıflandırılır. İşlem sonucu başarılı olan ürünler çift etkili silindir ile konveyör banda itilerek bir sonraki istasyona transfer edilir.



Şekil 3. 15. Rulman çakma istasyonu iş akış şeması

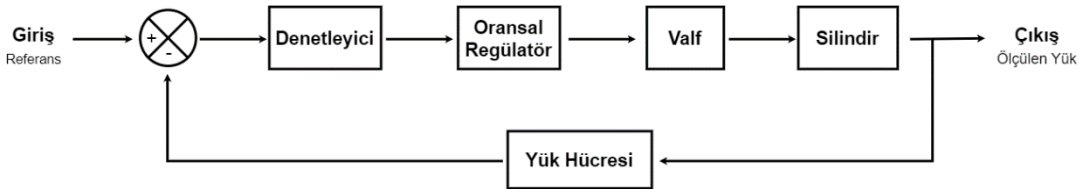


Şekil 3. 16. Rulman çakma istasyonunun üstten görünüşü



Şekil 3. 17. Oransal regülatörün iç yapısı ve blok diyagramı

Oransal regülatör giriş ucuna uygulanan gerilimle doğru orantılı olarak çıkış basıncının kontrol edilmesini sağlamaktadır. Böylece kontrolcü tarafından bağlı olduğu hattaki basınç denetim altına alınabilmektedir. Oransal regülatörün hava çıkışının bağlı olduğu hatta ise çift etkili silindir bağlanmıştır. Çift etkili silindirin mili iş parçasının üzerine yerleştirilmiş olan rulmana baskı kuvveti uygulamakta ve yük hücresi ile uygulanan baskı kuvveti ölçülerek denetleyiciye geri besleme sinyali gönderilmektedir. Uygulanan baskı kuvvetinin istenilen aralıkta olması için regülatörün giriş valfi ya da egzoz valfi uyarılarak silindire dolan hava basıncı kontrol edilmektedir. Bahsedilen kontrol biriminin blok diyagramı Şekil 3.18'de verilmiştir. Burada, sistemdeki hava basıncı dalgalanmaları, rulmanın yerleşiminin yanlış olması gibi bozucu etkiler oransal regülatör kontrol devresi tarafından denetlenmektedir.



Şekil 3. 18. Geri beslemeli baskı kontrol sisteminin blok diyagramı

Yük hücreleri oluşan mekaniksel kuvveti ölçen cihazlardır. Yük hücresi transmitteri ise bu mekaniksel kuvveti elektriksel bir niceliğe dönüştürmektedir. Şekil 3.19 yük hücresini ve özelliklerini [57], 3.20 ise yük hücresi transmitterini [58] göstermektedir. Yük hücresinin çıkışları yük hücresi transmitterinin girişlerine bağlanmaktadır. Tercih edilen analog çıkış türü (0-10V ya da 4-20 mA) seçilerek istenilen aralıkta kalibre edilir. Yük hücresi silindirin miline montajlanır ve baskı uygulanacak yüzey ile silindir milinin arasında olması istenir. Böylece baskı kuvvetine bağlı olarak çıkış gerilimi oluşur. Oluşan çıkış gerilimi yük hücresi transmitterinde kalibre edilen değere göre bir çıkış verir ve bu değer PLC analog girişi ile okunur. Böylece uygulanan baskı kuvveti elde edilmiş olur.



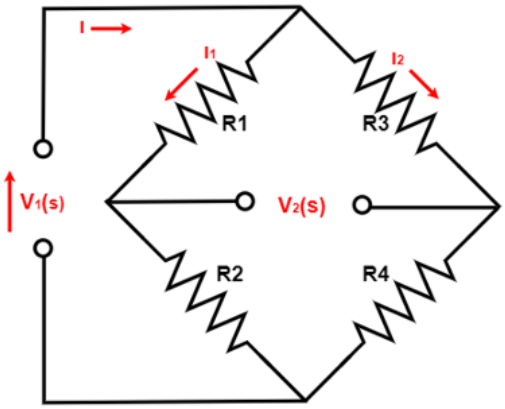
Maksimum Kapasite (Emax)	50	kg
Minimum taksimat	5	g
Minimum ölçüm aralığı(Vmin)	Emax/5000	
Toplam hata	≤ ±0.05 ≤ ±0.02	
Minimum yük	0	%Emax
Aşırı yüklenme kapasitesi	150	%Emax
Maks. uyarma gerilimi (Umax)	15	V
Kazanç (Cn)	2 ±0.2%	mV/V
Giriş direnci	385 ±20	Ω
Çıkış direnci	351 ±3	Ω
İzolasyon direnci	≥500	MΩ

Şekil 3. 19. Yük hücresi görseli ve özellikleri



Şekil 3. 20. Yük hücresi transmitteri

Şekil 3.21'de yük hücrelerinde bulunan ve gerilmeye bağlı küçük direnç değişimlerini tespit etmekte kullanılan Wheatstone köprü devresi ve matematiksel ifadesi verilmiştir.



$V_1(s) = V_{R1} + V_{R2} = V_{R3} + V_{R4}$

$V_2(s) = V_{R2} - V_{R4}$

$V_{R1} = I_1 \times R_1$

$V_{R2} = I_1 \times R_2$

$V_{R3} = I_2 \times R_3$

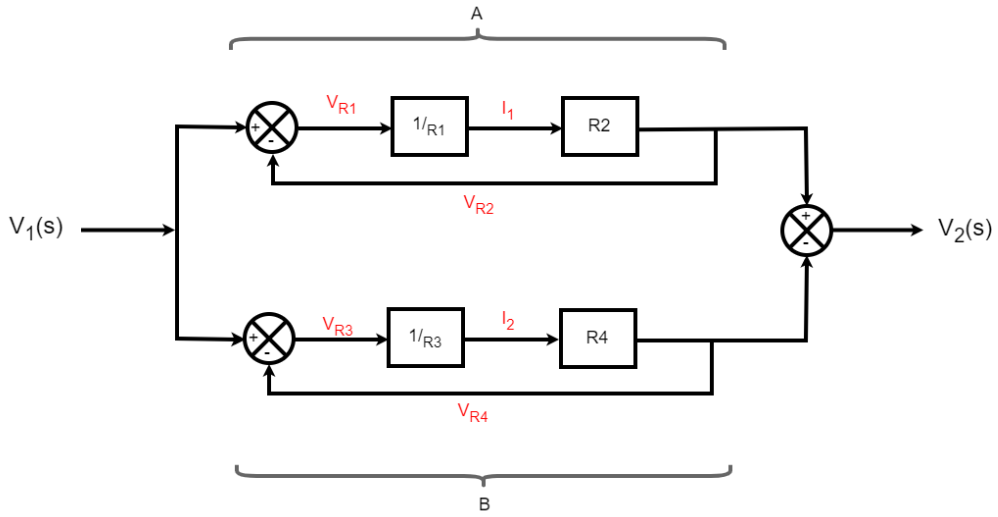
$V_{R4} = I_2 \times R_4$

$V_1(s) - V_{R2} = V_{R1}$

$V_1(s) - V_{R4} = V_{R3}$

Şekil 3. 21. Wheatstone köprü devresi ve matematiksel ifadesi

Wheatstone köprüsü birbirine paralel olarak bağlanmış iki adet gerilim bölücü devreden oluşmaktadır. Şekil 3.22'de devrenin blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 3. 22. Wheatstone köprüsü blok diyagramı

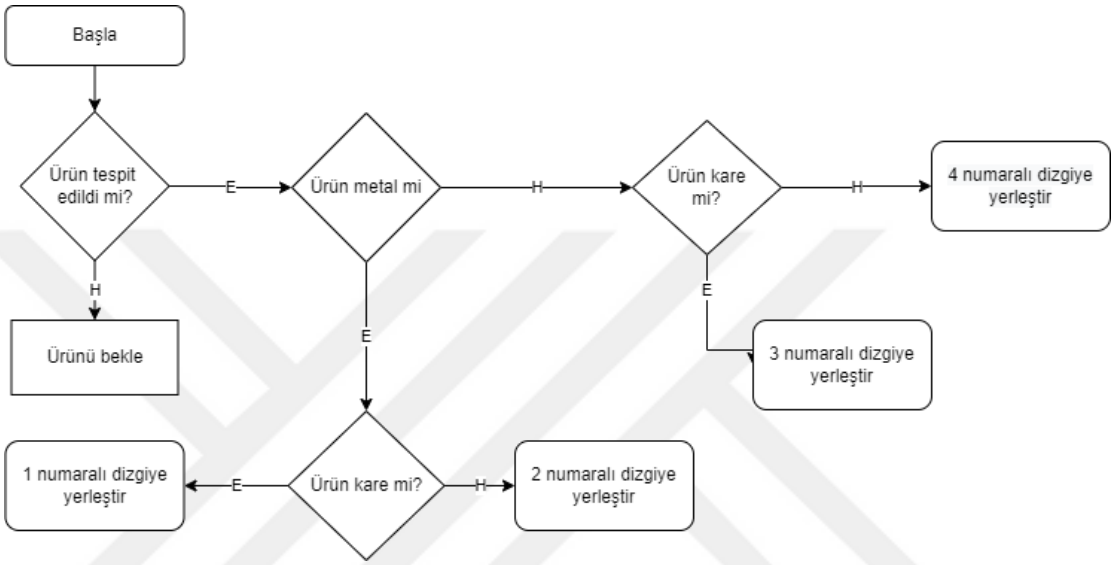
Şekil 3.22'de verilen blok diyagramın transfer fonksiyonu,

$$\frac{V_2(s)}{V_1(s)} = A - B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

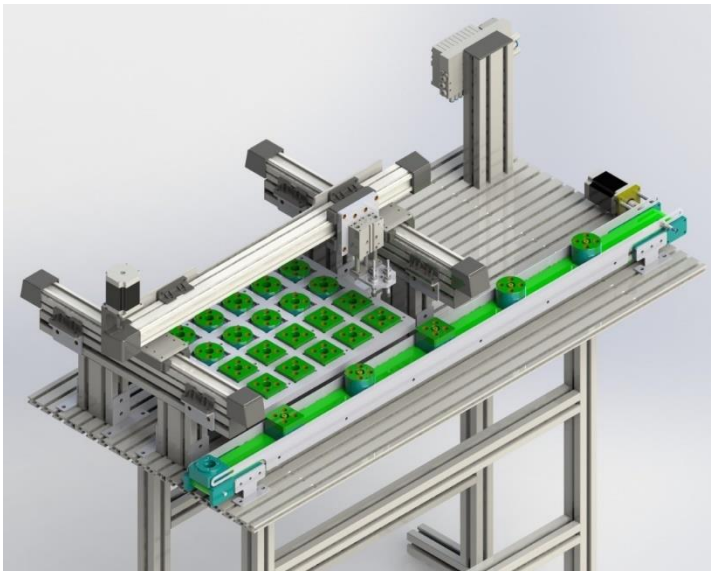
şeklindedir.

3.1.1.6 Kapak Yerleştirme İstasyonu

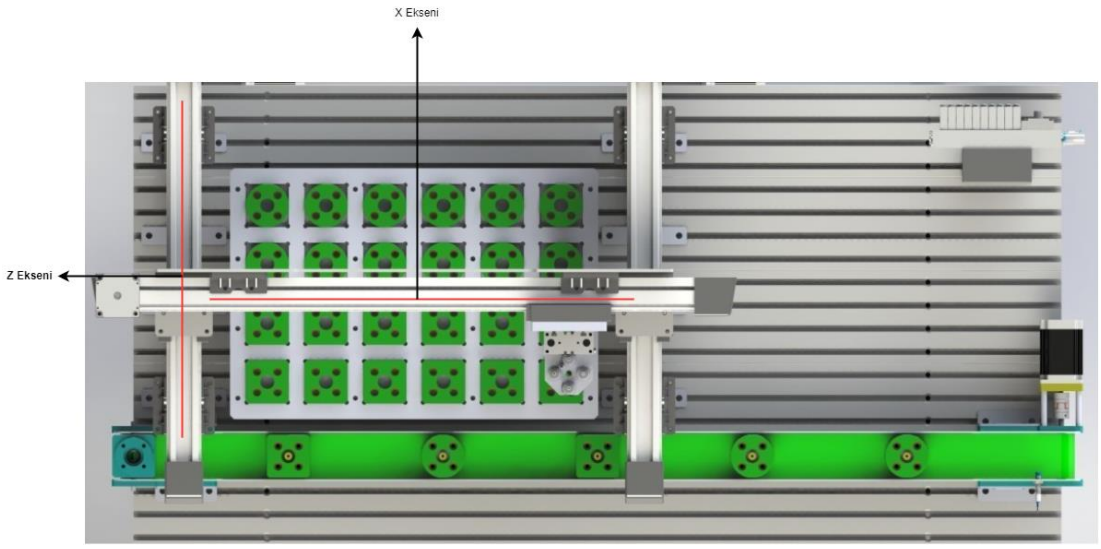
Bu istasyonda konveyör banttan gelen ürünler tespit edilerek kapak yerleştirme işlemi gerçekleştirilmektedir. Her bir çeşit kapak aynı eksende olmak üzere magazine dizilir. Gelen iş parçası tespit edildikten sonra parçaya ait olan kapaklar vakum ile tutulur ve ardından iki eksende hareket eden elektrikli eyleyici ile pozisyonlanır. Böylece iş parçalarının kapakları yerleştirilerek bir sonraki istasyona transfer edilir.



Şekil 3. 23. Kapak yerleştirme istasyonu iş akış şeması



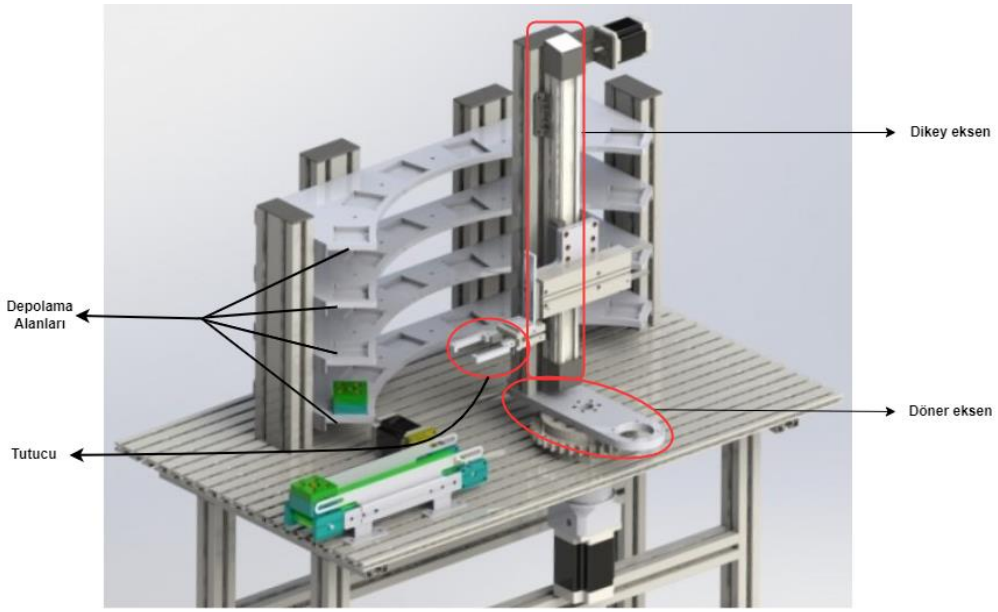
Şekil 3. 24. Kapak yerleştirme istasyonunun yandan görünüşü



Şekil 3. 25. Kapak yerleştirme istasyonunun üstten görünüşü

3.1.1.7 Otomatik Depolama ve Boşaltma İstasyonu

FMS'lerde anlık değişen isteklere hızlı cevap verebilmek için akıllı depolama sistemleri tercih edilir. Bu sistemler talep ya da üretim durumuna göre fazla malzemeyi depolar ya da gerektiğinde sisteme malzeme desteği sağlar. Otomatik depolama istasyonu sette bu işlevi yerine getirir. Montajı gerçekleştirilen iş parçaları son ürün olarak bu istasyona ulaşır. Dairesel ve lineer olarak hareket eden eyleyiciler ile pozisyonlama yapılır. Her bir ürün kendisine ait olan dizgide ilgili boş olan yere yerleştirilir. Böylece işlemi bitmiş ürünlerin otomatik olarak depolaması yapılmış olur.



Şekil 3. 26. Otomatik depolama ve boşaltma istasyonunun yandan görünüşü

3.1.2 FMS Kullanılan Hareket Elemanları

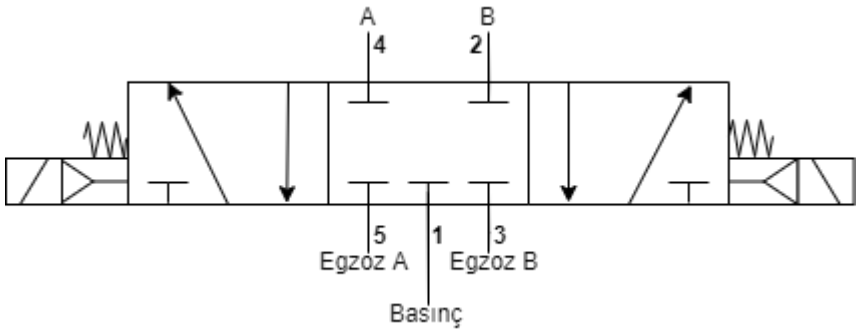
3.1.2.1 Valf Adaları ve Valfler

Sistemde lineer hareket, döner hareket ve tutucu olmak üzere pnömatik elemanlar bulunmaktadır. Bu elemanların her biri 24VDC tetiklemeli selenoid valfler ile kontrol edilmektedir. Yatay eksende lineer hareketler için 5 yollu 2 konumlu valfler tercih edilmiştir. Enerjilenen valfin konumunun değişmesi ile havanın akış yönü değişmektedir. Böylece silindirin hareketi sağlanmış olmaktadır. Şekil 3.27'de valf bloğu üzerine yerleştirilmiş valflerin bir görseli verilmiştir.

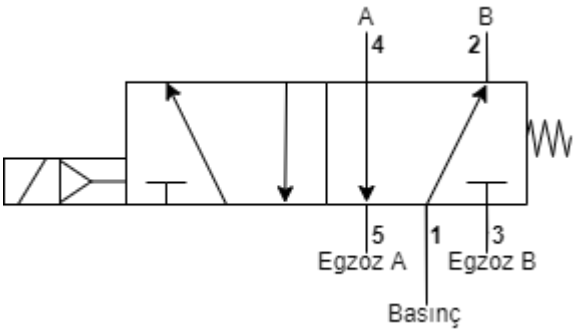


Şekil 3. 27. Selenoid valflerin blok üzerine yerleşimi

Dikey eksendeki silindirlerin hareketinde ise kapalı merkezli valfler tercih edilmiştir. Bu valfler 5 yollu 3 konumlu valflerdir. Bu valfin enerjisinin kesilmesi durumunda kapalı merkez konumuna geçer, silindirin A ve B uçlarındaki hava yolunu kapatarak hareket etmesini engeller. Böylece basınçlı havanın kesilmesi durumunda dikey eksendeki hareket yerçekimine rağmen sabit kalır. Pnömatik tutuculardada da tutulan parçanın enerji kesildiğinde düşme ihtimaline karşın bu merkez yapılı valfler tercih edilir.



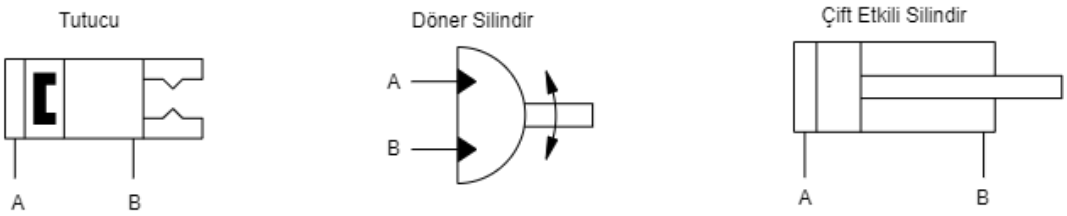
Şekil 3. 28. 5 yollu 3 konumlu çift bobinli valfin sembolü ve yolları



Şekil 3. 29. 5 yollu 2 konumlu tek bobin yay geri getirmeli valfin iç yapısı

3.1.2.2 Pnömatik Silindirler ve Tutucular

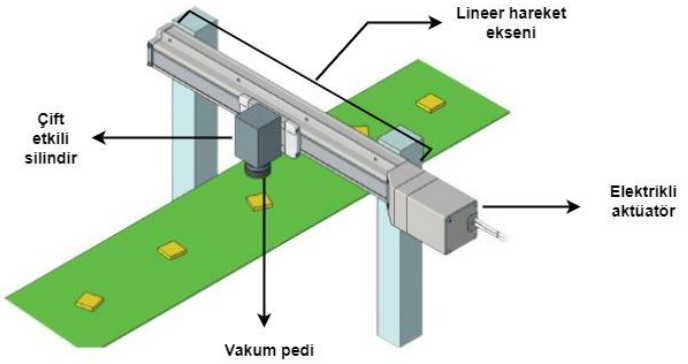
Sistemde lineer ve döner hareket gerçekleştiren farklı çap ve strokta çok sayıda pnömatik tahrikli eleman bulunmaktadır. Bu elemanların hava bağlantısı direkt olarak selenoid valflere yapılmaktadır. Valf adaları ile lojik kontrolün haberleşmesi sonucu bu pnömatik elemanların kontrolü gerçekleşmektedir. Şekil 3.30'da sistemde kullanılan bazı elemanlar ve bunların sembolleri verilmiştir.



Şekil 3. 30. Kullanılan pnömatik silindirler ve devre sembolleri

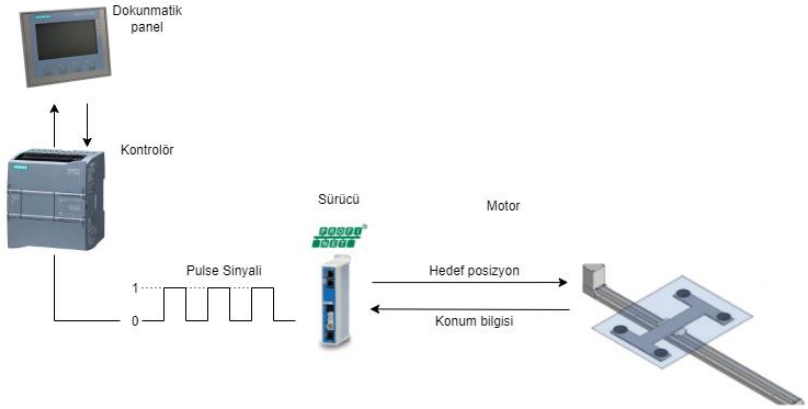
3.1.2.3 Elektrikli Eyleyiciler

Elektrikli eyleyiciler gerekli hareketi oluşturmak için elektrik motoru kullanarak yükün hareketini sağlayan sistemlerdir. Lineer elektrikli eyleyicilerde genellikle elektrik motorunun rotoruna bağlı olan bir milin dönmesi ile yükün hareketi kontrol edilir. Burada kullanılan lineer elektrikli eyleyicide, yük olarak çift etkili bir silindir kullanılmıştır. Bu silindirlerin miline bağlı şekilde vakumla tutma işlemi ya da gripper ile tutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Vakumla tutma işleminde dikey hareket eden çift etkili silindirler ile ürünlere yukarıdan yaklaşılarak vakumlama teknolojisi ile tutma ve konumlama işlemi (pick&place) gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.31'de bir uygulama resmi verilmiştir.



Şekil 3. 31. Konveyör bant üzerinde elektrikli eyleyici kullanımı

Görüldüğü gibi eksenin hareketinin kontrol edilmesi için bir motor sürücü kullanılması gerekmektedir. Motor sürücü lojik kontrolörün çıkışından üretilen pulse ile hedef pozisyona sürülür. Motor miline bağlı encoder ile de konum bilgisi geri besleme ile alınmaktadır. Böylece konumlama işlemi istenen hassasiyette gerçekleşmektedir. İlgili sistemin sürülmesi için kullanılan haberleşme ve donanım altyapısı görseli Şekil 3.32'de verilmiştir.



Şekil 3. 32. Elektrikli eyleyicinin bağlantısı ve haberleşmesi

Sistemin hareketine başlayabilmesi için ilk olarak bir referans nokta belirlenmesi gerekmektedir. Bu referans noktası eksenin sıfır noktası olarak adlandırılmaktadır. Ardından tüm hareket bu noktaya bağlı olarak gerçekleştirilmektedir. Temelde iki adet hareket türü bulunmaktadır. Mutlak (absolute) harekette referans noktası sıfır kabul edilir ve hedef pozisyon her zaman referans noktasına olan uzaklığa göre belirlenir. Bağımlı (relative) hareket yönteminde ise referans nokta sıfır kabul edilir ve hedef noktası sistemin bulunduğu pozisyonun

üzerine eklenerek devam edilir. Tablo 3.1'de bir örnek hareket uygulama tablosu verilmiştir.

Tablo 3. 1. Hareket türleri ve hedef konum bilgisi

Hedef Konum	Hareket Türü	
	Mutlak (Absolute)	Bağımlı (Relative)
Home	0	0
+30	+30	30
+60	+60	30
+200	+200	+140
+150	+150	-50
-10	-10	-160
-100	-100	90
0	0	100

3.1.3 Otomatik Kontrol Sistemleri

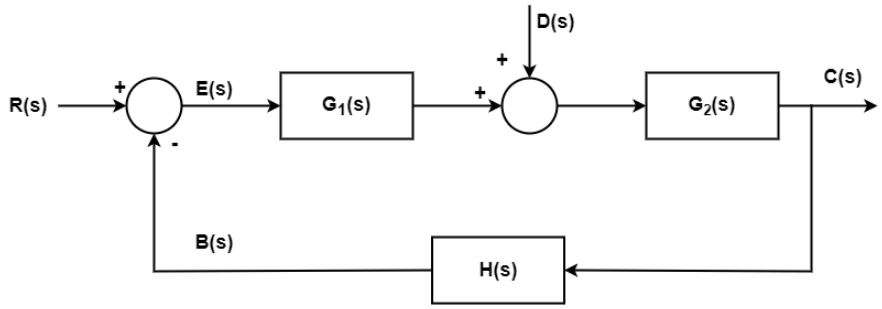
Denetim etkisi açısından denetim sistemleri açık-çevrim ve kapalı-çevrim olmak üzere iki grupta incelenir. Sistemin girişinin çıkış bilgisinden haberdar olmadığı denetim sistemleri açık-döngü denetim sistemleri olarak adlandırılır. Sistemin çıkış bilgisinin geri besleme ile girişe aktarılarak giriş değeri ile kıyaslandığı sistemlere, kapalı-döngü denetim sistemi denir [57].



Şekil 3. 33. Denetim sistemi türleri

Kapalı çevrim sistemler günümüzde endüstride ve günlük hayatta kullanım alanı en yaygın olan kontrol sistemleridir. Sürekli kontrol sistemleri çeşitli denetim birimleri ile denetlenen sistemin optimum durumda kalmasını sağlamaya yönelik çalışırlar. Sistemde meydana gelen değişikliklere ya da sistemin maruz kaldığı bozucu etkilere rağmen en kısa sürede etki büyüklüğüne göre en hızlı cevabı vererek daha önceden istenen aralıkta sistemin optimum seviyede kalmasını sağlarlar. Şekil 3.34'te bozucu girişe sahip bir geri beslemeli sistemin blok diyagramı verilmiştir. Burada; R(s)

sisteme uygulanan referans giriş sinyali, C(s) çıkış sinyali, D(s) bozucu etki ve H(s) geri besleme sinyalidir.



Şekil 3. 34. Bozucu girişe sahip kapalı çevrim denetim sisteminin blok diyagramı

Sürekli denetim sistemleri denetim etkilerine göre kendi içerisinde 3 ana grupta incelenmektedir.

i. P - Orantı denetim etkisi

Orantı denetim etkisinde (Kp), sabit orantı kazancında denetim etkisinin şiddeti hatanın şiddeti ile doğru orantılıdır. Herhangi bir zamanda hata şiddetinin büyüklüğü ne kadarsa bu etkinin hatayı düzeltme etkisi de o denli büyük olmaktadır. Bu tip geri beslemeli sistemlerde hata etkisinin belirli bir değerin altına inmesi denetim etkisini de düşürmektedir. Bu sebeple kalıcı durum hatalarına yol açmaktadır. Orantı kazancının büyük tutulması ise sistemde aşırı salınımların oluşmasına sebep olmaktadır [58].

ii. PI – Orantı integral denetim

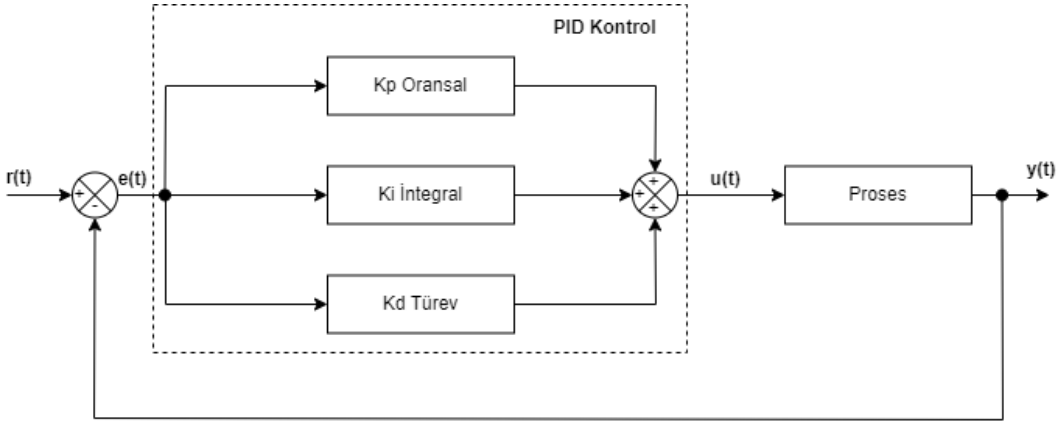
Orantı(P) etkiye integral(I) etkinin ilave edilmesi ile ya da Orantı-İntegral-Türev(PID) etkiden türev(D) etkisinin devre dışı bırakılması ile elde edilmektedir. Orantı etki halinde giderilemeyen kalıcı durum hatalarının önüne geçer [58].

iii. PID – Orantı Integral Türev Denetim

Kapalı çevrim bir sistemde, PID kontrolör hatayı sıfırlamak için sürekli değişen bir sinyal üretir. Böylece sistemi kararlı bir şekilde referansa yaklaştırır. Bu tür sistemlerde bozucu etki doğrudan kontrol edilen girişi etkiler [58].

İntegral etki, sistemdeki kalıcı durum hatasını sıfırlarken türev etki PI kullanılması durumuna göre kararlılık için cevap hızını arttırır. Böylece kalıcı durum

hatası olmadan en hızlı cevabın verilmesi sağlanır. Şekil 3.35'te standart PID denetleyicinin blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 3. 35. PID kontrol blok diyagramı

Tablo 3.2 PID denetleyici parametrelerinin sistemin cevabına olan etkisini özetlemektedir [59].

Tablo 3. 2. P, I ve D katsayıları değişiminin sisteme etkisi

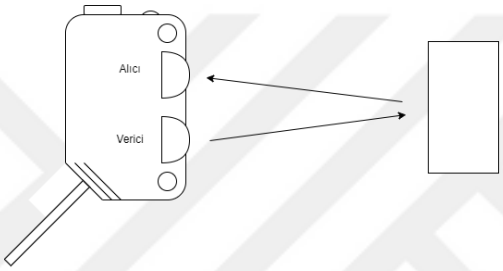
Kontrolör (Artarsa)	Yükselme Zamanı	Aşma	Oturma Zamanı	Kalıcı Durum Hatası
K_p	Kısalır	Artar	Küçük değişim	Azalır
K_i	Kısalır	Artar	Artar	Yok olur
K_d	Küçük değişim	Azalır	Azalır	Küçük değişim

3.1.4 Algılayıcılar

Endüstriyel algılayıcılar, üretim sistemlerinde sistemin kararlı çalışabilmesi için sahadaki durum ve koşulların algılanması aşamasında büyük rol oynamaktadır. Bir dizi işlem gerçekleşen bir sistemde süreç, işlem gören materyallerin, hareket organlarının durumunun ya da ortam koşulları gibi değişkenlerin algılanarak kontrolcüye iletilmesi ve değerlendirilmesi sonucunda gerçekleşmektedir. Aynı zamanda endüstriyel otomasyon sistemlerinde veri toplama işlemlerinin gerçekleşmesini ve bu sistemlerin çalışmasını sağlamaktadır. Veri toplama sistemleri, gerçek zamanlı izleme araçları ile üretim, takip ve verimlilik analizleri için çok zengin

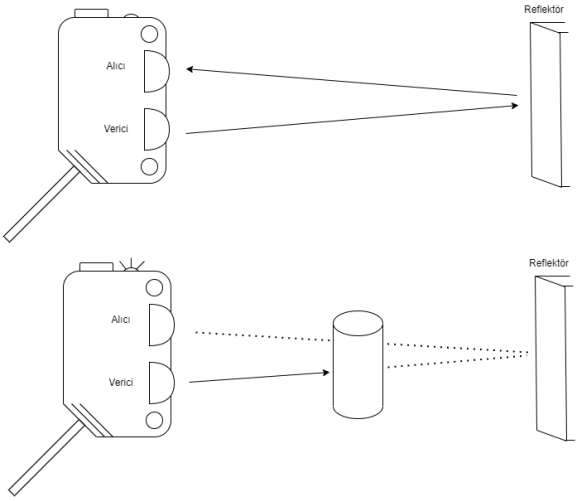
raporlama araçları sunmaktadır. Ayrıca, yüksek güvenilirlik ve performans ile hassas bir kontrol sağlarken izleme ve raporlama imkânı da sunar [60]. Aşağıda maddeler halinde sistemdeki durum ve koşulların algılanması için kullanılan bazı sensörler verilmiştir.

- İndüktif yaklaşım sensörü
- Kapasitif yaklaşım sensörü
- Cisimden yansımalı fiber optik sensör
- Reflektörlü sensör
- 0-5 V Analog basınç sensörü
- 0-10V Analog yük hücresi

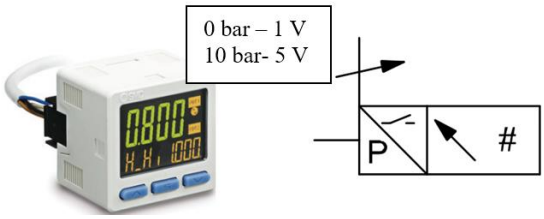


Şekil 3. 36. Cisimden yansımalı optik sensör

Optik sensörler vericiden çıkan optik ışınların alıcıya ulaşıp ulaşmamasını değerlendirerek çalışmaktadırlar. Reflektörlü optik sensörler vericiden çıkan ışının alıcıya reflektörden yansımasını değerlendirerek algılama işlemini gerçekleştirmektedir. Ancak cisimden yansımalı optik sensörlerde bu yansıma işleminin kararlı gerçekleşmesi için bir ön ayar yapılması gerekmektedir. Şekil 3.37'de reflektörlü optik sensörün çalışma mantığı ile ilgili bir görsel paylaşılmıştır.



Şekil 3. 37. Reflektörlü optik sensör



Şekil 3. 38. 1-5V analog basınç sensörü ve pnömatik sembolü

3.1.5 PLC (Programlanabilir Lojik Kontrolörler)

Endüstriyel otomasyon uygulamalarında en çok tercih edilen cihazlar PLC'lerdir. PLC cihazları endüstriyel ortamlara uygun olarak tasarlanıp üretildikleri için sağlam ve uzun ömürlüdürler. Farklı programlama dilleri kullanılarak programlama yapılmaktadır. Aynı zamanda ihtiyaca göre donanımsal ilavelere imkan tanımaktadır. Şekil 3.39'da istasyonlarda kullanılan PLC'nin görseli verilmiştir.



Şekil 3. 39. İstasyonlarda kullanılan Siemens S71200 serisi PLC (S7-1212C)

Tasarlanan sistemde her bir istasyon FMS'de bir üretim hücresini temsil etmektedir. Her bir istasyonda hücresel kontrolü gerçekleştirmek için bir PLC kullanılmıştır. Böylece her bir birimin hem bağımsız olarak hem de diğer birimler ile uyum içerisinde çalışabilmesi amaçlanmıştır.

3.1.6 HMI (Human Machine Interface)

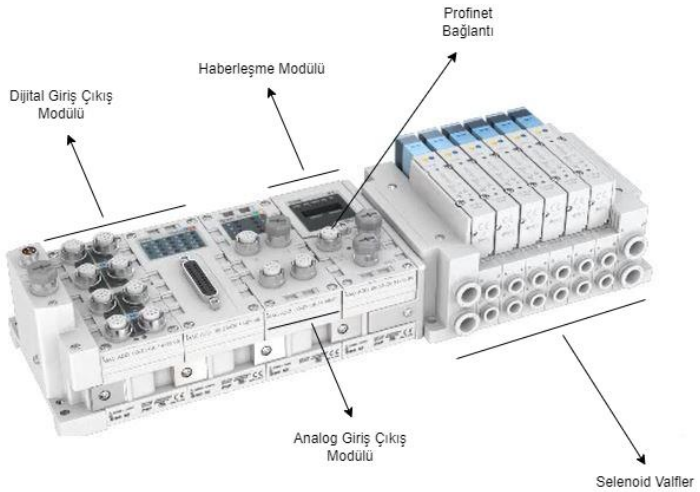
Makine ve proses otomasyonu uygulamalarında, makinenin ya da prosesin işleyişini izlemek, uyarı ve alarm mesajlarını görebilmek için PLC'den sonra en çok kullanılan cihazlardan biri de HMI cihazlarıdır. HMI cihazları PLC'ler ile entegre edilmektedir ve birlikte çalıştırılmaktadır. Şekil 3.40'ta istasyonların kontrol ve görselleştirme için tercih edilen HMI verilmiştir.



Şekil 3. 40. Siemens KTP-400 HMI panel

3.1.7 Valf Adaları

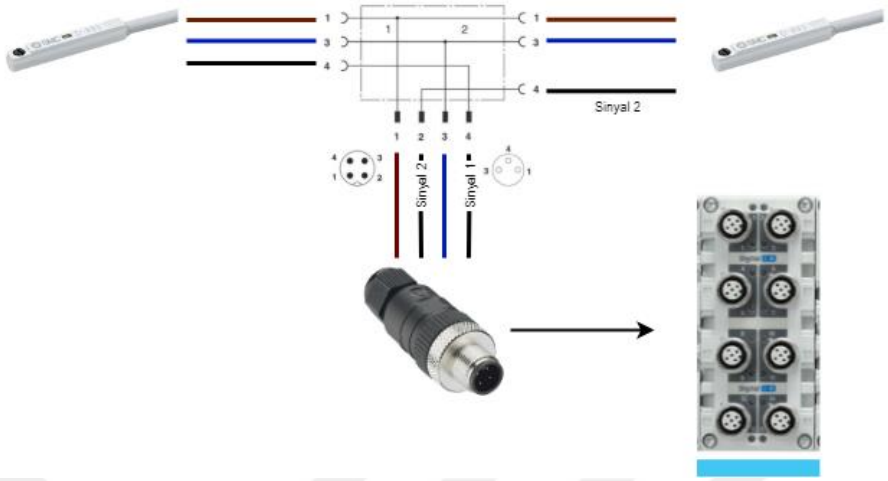
İstasyonlarda pnömatik silindirlerin tahriki için valfler ve bu valflerin kontrolünün sağlandığı valf adaları kullanılmaktadır. Valf adaları bir valf bloğunun üzerine birden fazla valfin bulunduğu yapılar olarak adlandırılmaktadır. Bu çoklu valf yapıları lojik kontrolör ile iletişime geçmektedir ve bu sayede kontrol edilmektedir. Valflerin tahriki ile harekete geçen silindirlerin üzerindeki manyetik temassız algılayıcı sensörler ile konum bilgisi PLc'ye iletilmektedir. Böylece sistemdeki tüm silindirlerin hem hareketi kontrol edilmiş olmakta hem de konum bilgisi öğrenilmiş olmaktadır. Şekil 3.41'de örnek bir valf adasının konfigürasyonu verilmiştir.



Şekil 3. 41. Valf adası ve birimleri

Öncelikle silindir üzeri manyetik temassız algılayıcıların kullanılması için dijital giriş birimine ihtiyaç duyulmaktadır. Silindir üzeri sensörler ortaklayıcı bir konnektör yardımıyla bağlanır ve ardından ilgili dijital giriş biriminin ilgili pinine bağlantı gerçekleştirilir. Tüm bu bağlantılar yapıldıktan sonra giriş bilgisi Ethernet ağı

üzerinden ilgili PLC'ye iletilmektedir. Böylece pnömatik silindirlerin konum bilgileri algılanmaktadır. Aşağıda ilgili bağlantının nasıl yapıldığı özetlenmiştir.



Şekil 3. 42. Silindir üzeri temassız algılayıcıların dijital giriş birimine bağlantısı

3.2 FMS Deney Seti Bağlantılarının Yapılması

Bu bölümde FMS'in basınçlı hava, istasyonların elektrik bağlantıları ve haberleşme yapısı konusunda bilgiler verilmiştir.

3.2.1 Basınçlı Hava Bağlantısı

Sistemdeki hareketin kaynağı basınçlı havadır. Basınçlı hava tankında bulunan basınçlı hava dağıtım hattıyla her bir istasyona iletilmektedir. İstasyona gelen basınçlı hava ilk olarak şartlandırıcı birimine uğramaktadır. Burada pnömatik şartlandırıcı ile basınçlı hava çalışma şartlarına uygun hale getirilmektedir. Uygun basınç değerine ulaşıldıktan sonra ve filtreleme işleminden sonra hava pnömatik ekipmanlara iletilmek üzere valf adasına yönlendirilir. Aşağıdaki görselde istasyonlarda kullanılan şartlandırıcı ünitenin görseli verilmiştir. Şartlandırıcı biriminde kullanılan elemanlar sırasıyla;

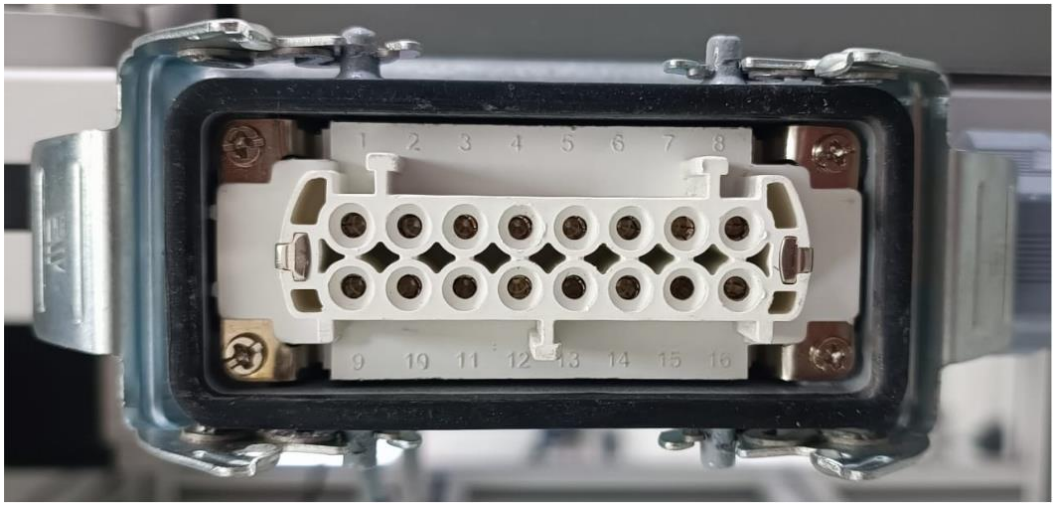
1. Giriş basınçlı hava hattı
2. Elle kontrol edilen açma kapama valfi
3. Basınç ayarlayıcı
4. Filtre
5. Analog çıkışlı manometre
6. Elektriksel yön kontrol valfi
7. Şartlandırılmış çıkış hava hattı



Şekil 3. 43. İstasyonlarda kullanılan şartlandırıcı birimi

3.2.2 Elektrik Bağlantısı

İstasyonların enerjisi tek bir hat kullanılarak ana kumanda panosu üzerinden sağlanmıştır. Ana kumanda panosuna alınan enerji içeride her bir istasyona ait olan güç kaynaklarına iletilmektedir. 16 pin soket yardımıyla istasyonlara bağlantı yapılmıştır. Aynı soket üzerinden acil stop, istasyonun durum bilgilerinin iletilmesi sağlanmıştır. Şekil 3.44'te istasyonlar arası haberleşmede kullanılan 16 pinli soket yapısının görseli verilmiştir.



Şekil 3. 44. 16 pinli haberleşme soketi



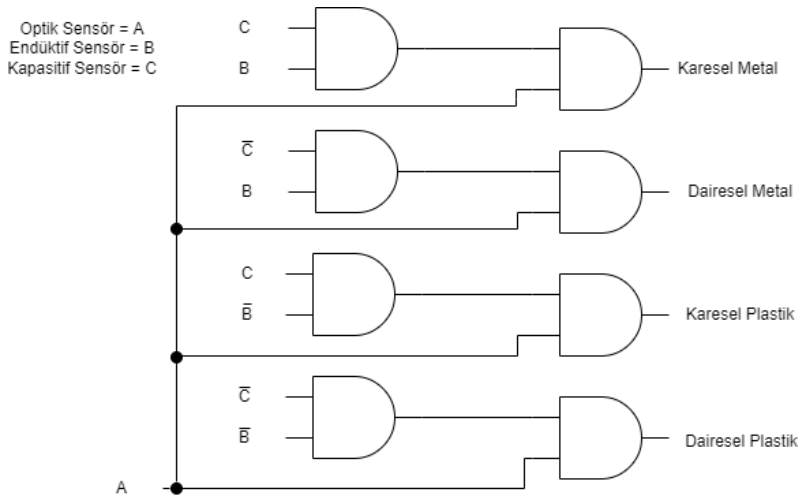
Şekil 3. 45. Ana kontrol ünitesinde bulunan elektrik ve haberleşme soketleri

3.2.3. İş Parçalarının Tespiti

İş parçalarının tespiti için iki farklı yöntem kullanılmıştır. (i) sensörler üzerinden, (ii) kamera ile görüntü işleme yöntemi ile tespit.

3.2.3.1 Algılayıcılar ile Tespit

İş parçaları, istasyonların çeşitli noktalarında tespit ve ayırma işlemine tabi tutulmaktadır. Örnek olarak istasyon 5'te ürünlerin şekli ve yapısı tespit edilerek uygun olan kapakların yerleştirilme işlemi gerçekleşmektedir. Ayrıca istasyon 6'da her bir iş parçasının şekli ve yapısı tespit edilerek farklı bir depolama dizgisine yerleştirilmektedir. Böylece her bir ürüne farklı bir işlem uygulanması sağlanmaktadır.



Şekil 3. 46. Ürün tespitinin lojik diyagramı

Şekil 3.46'da ürün tespitinde kullanılan yöntemin lojik diyagramı verilmiştir. Buradaki A, B ve C sembolleri sırasıyla optik, endüktif ve kapasitif sensörü sembolize etmektedir ve ilgili sensörün 1 olduğu durumu belirtmektedir. Tablo 3.3'te iş parçasının çeşidine bağlı olarak çıkış veren sensörlerin tablosu verilmiştir.

Tablo 3. 3. Ürünler tespit için sensörlerin durumları

	Optik Sensör	Endüktif Sensör	Kapasitif Sensör
Karesel Metal	✓	✓	✓
Dairesel Metal	✓	✓	✗
Karesel Plastik	✓	✗	✓
Dairesel Plastik	✓	✗	✗

Böylece iş parçalarının yapısal ve fiziksel özelliklerine göre tespit ve sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmektedir.

3.2.3.2 Görsel Tespit

İş parçalarının kamera ile tespit işlemi için Raspberry Pi 4 işlemcisi ve bu işlemciye uygun kamera modülü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.47'de verilen görselde bir nesne üzerinde threshold (eşikleme) işlemi yapılarak önce siyah beyaz bir görüntü elde edilmiş ve kenar tespit algoritmaları kullanılarakta şekil belirleme işlemi yapılmıştır. Böylece deney seti üzerindeki iş parçasının tanımlama işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. 47. Örnek bir görüntü işleme

3.2.4 FMS Deney Setinin PLC ile Programlanması

FMS deney setinin tüm istasyonlarında Siemens S7-1200 serisi PLC'ler tercih edilmiştir. Bu PLC'leri programlamak için Totaly Integrated Automation (TIA) programı kullanılmıştır. Programlama dili olarak ladder yöntemi kullanılmıştır. Ladder lojik programlama, günümüzde Sıralı Fonksiyon Dizisi (Sequential Function Charts), Fonksiyon Blok Diyagramı (Function Block Diagram), Yapısal Metin (Structured Text), Komut Listesi (Instruction List) gibi yöntemlerin arasında yaygın olarak kullanılan programlama yöntemlerinden birisidir.

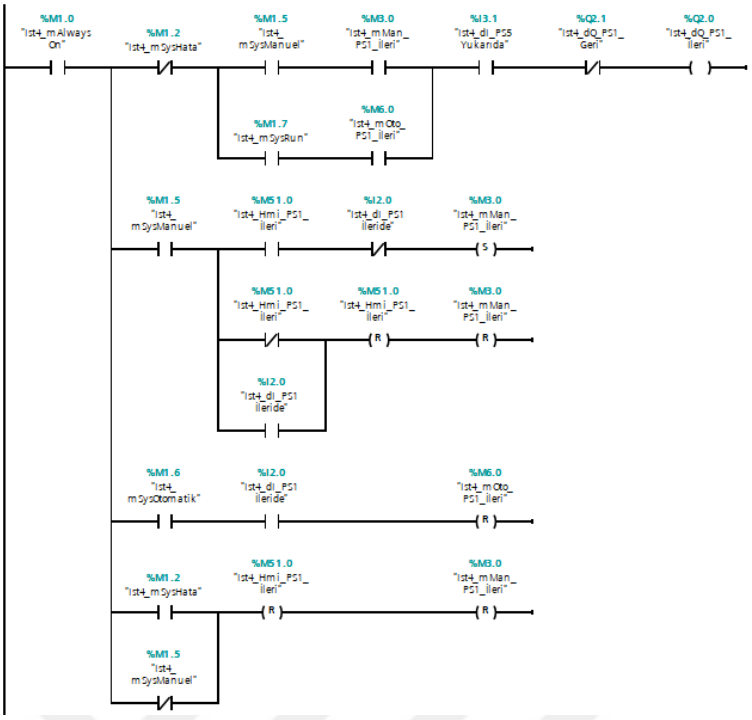
Tablo 3.4'de 4 numaralı istasyonun giriş ve çıkışlarının atandığı sembol tablosu verilmiştir. Buradaki tabloda istasyonda kullanılan hafızalı bitler listelenmemiş olup sadece giriş ve çıkış adresleri listelenmiştir.

Tablo 3. 4. İstasyon-4 giriş-çıkış adres listesi

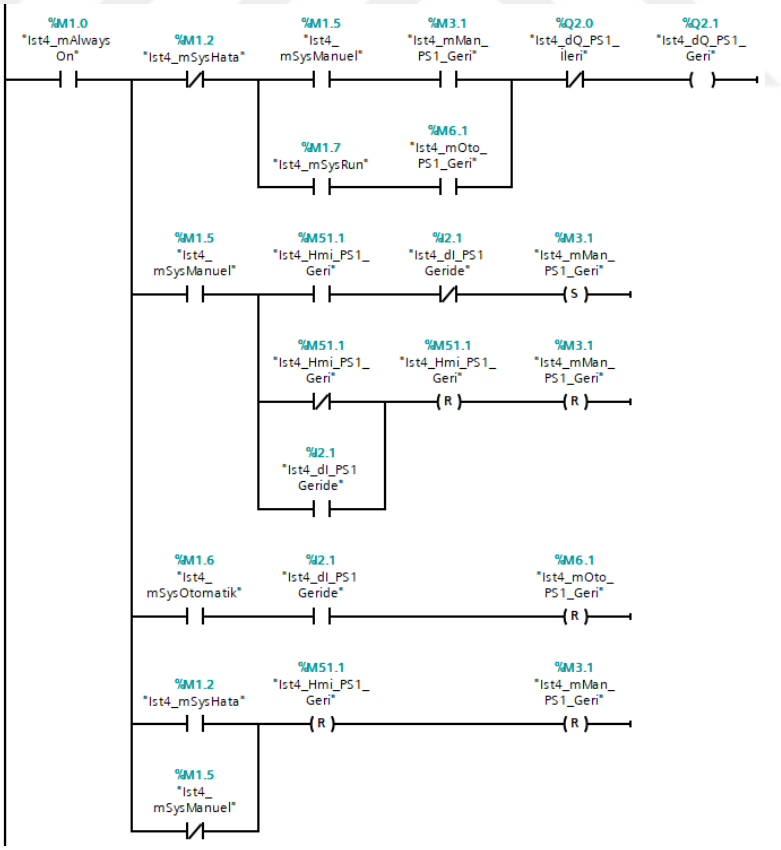
Tag İsmi	Data Tipi	Lojik Adresler
Ist4_dI_Start Buton	Bool	I0.1
Ist4_dI_Stop Buton	Bool	I0.2
Ist4_dI_Acil Stop Buton	Bool	I0.3
Ist4_dI_Ist4 24V Kontaktör ON	Bool	I0.4
Ist4_dI_Sonraki İstasyon Aktif	Bool	I0.5
Ist4_dI_Bant Giriş Sensor	Bool	I0.6
Ist4_dI_Bant Çıkış Sensor	Bool	I0.7
Ist4_dI_Rulman Hazne Sensor	Bool	I1.0
Ist4_dI_Rulman Sensor	Bool	I1.1
Ist4_dI_Gripper_1 Parca Sensor	Bool	I1.2
Ist4_dI_Gripper_2 Parca Sensor	Bool	I1.3
Ist4_dI_Mode Buton	Bool	I1.4
Ist4_dI_Reset Buton	Bool	I1.5
Ist4_dI_1.6	Bool	I1.6
Ist4_dI_1.7	Bool	I1.7
Ist4_aI_Hava Basıncı	Int	IW64
Ist4_aI_Baskı Kuvvet	Int	IW66
Ist4_dI_PS1 İleride	Bool	I2.0
Ist4_dI_PS1 Geride	Bool	I2.1
Ist4_dI_PS2 İleride	Bool	I2.2
Ist4_dI_PS2 Geride	Bool	I2.3
Ist4_dI_PS3 İleride	Bool	I2.4
Ist4_dI_PS3 Geride	Bool	I2.5
Ist4_dI_PS4 İleride	Bool	I2.6
Ist4_dI_PS4 Geride	Bool	I2.7
Ist4_dI_PS5 Asagıda	Bool	I3.0
Ist4_dI_PS5 Yukarıda	Bool	I3.1
Ist4_dI_Rotary Geride	Bool	I3.2
Ist4_dI_Rotary İleride	Bool	I3.3
Ist4_dI_PS7 Asagıda	Bool	I3.4
Ist4_dI_PS7 Yukarıda	Bool	I3.5
Ist4_dI_Gripper1 Tuttu	Bool	I3.6
Ist4_dI_Gripper2 Tuttu	Bool	I3.7
Ist4_dQ_Bant Adım	Bool	Q0.0
Ist4_dQ_Bant Yön	Bool	Q0.1

Ist4_dQ_0.2 Boş	Bool	Q0.2
Ist4_dQ_0.3 Boş	Bool	Q0.3
Ist4_dQ_0.4 Boş	Bool	Q0.4
Ist4_dQ_0.5 Boş	Bool	Q0.5
Ist4_dQ_Siren	Bool	Q1.0
Ist4_dQ_Kolon Yeşil Lamba	Bool	Q1.1
Ist4_dQ_Kolon Sarı Lamba	Bool	Q1.2
Ist4_dQ_Kolon Kırmızı Lamba	Bool	Q1.3
Ist4_dQ_Kolon Mavi Lamba	Bool	Q1.4
Ist4_dQ_Mode Buton Lamba	Bool	Q1.5
Ist4_dQ_Reset Buton Lamba	Bool	Q1.6
Ist4_dQ_Ana Hava	Bool	Q1.7
Ist4_aQ_Baskı Regülatör	Int	QW64
Ist4_dQ_PS1_İleri	Bool	Q2.0
Ist4_dQ_PS1_Geri	Bool	Q2.1
Ist4_dQ_PS2_İleri	Bool	Q2.2
Ist4_dQ_PS2_Geri	Bool	Q2.3
Ist4_dQ_PS3_İleri	Bool	Q2.4
Ist4_dQ_PS3_Geri	Bool	Q2.5
Ist4_dQ_PS4_İleri	Bool	Q2.6
Ist4_dQ_PS4_Geri	Bool	Q2.7
Ist4_dQ_PS5_Asagı	Bool	Q3.0
Ist4_dQ_PS5_Yukarı	Bool	Q3.1
Ist4_dQ_Rotary Geri	Bool	Q3.2
Ist4_dQ_Rotary İleri	Bool	Q3.3
Ist4_dQ_PS7 Aşağı	Bool	Q3.4
Ist4_dQ_PS7 Yukarı	Bool	Q3.5
Ist4_dQ_Gripper1 Tut	Bool	Q3.6
Ist4_dQ_Gripper1 Bırak	Bool	Q3.7
Ist4_dQ_Gripper2 Tut	Bool	Q4.0
Ist4_dQ_Gripper2 Bırak	Bool	Q4.1

Şekil 3.48 ve 3.49'da 4. İstasyona ait pnömatik bir silindirin ileri ve geri yönlü hareketini gerçekleştirecek ladder diyagram program örneği verilmiştir. Ladder diyagramı kontrolün otomatik ve manuel modda gerçekleşeceği göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Bu durumda manuel ve otomatik olmak üzere ayrı ayrı bitler oluşturulmuştur. Oluşturtulan manuel bitler HMI ekrandan kontrol edilmektedir. Böylelikle pnömatik ekipmanların ekran üzerinden kontrolü sağlanmaktadır.



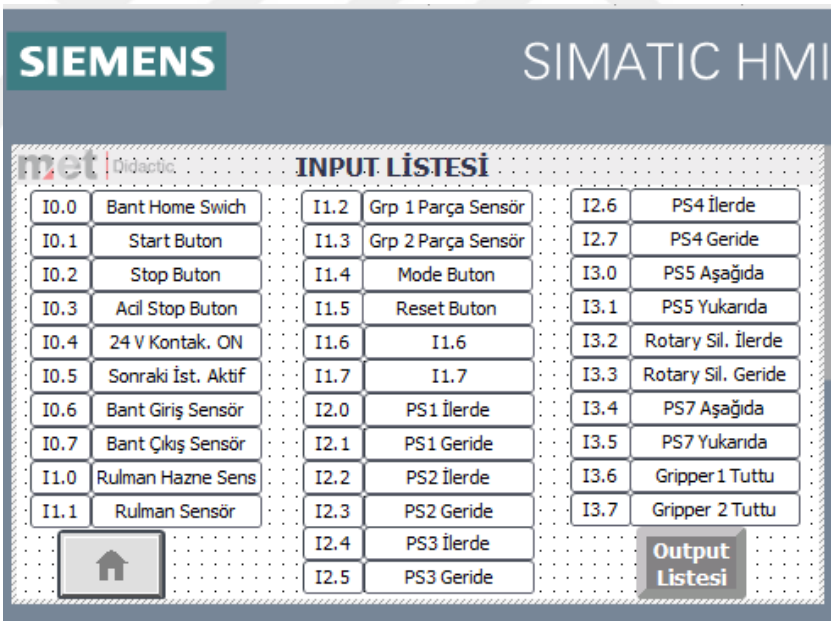
Şekil 3. 48. 4. İstasyon 1 numaralı silindirin ileri hareketi için ladder diyagramı



Şekil 3. 49. 4. İstasyon 1 numaralı silindirin geri hareketi için ladder diyagramı

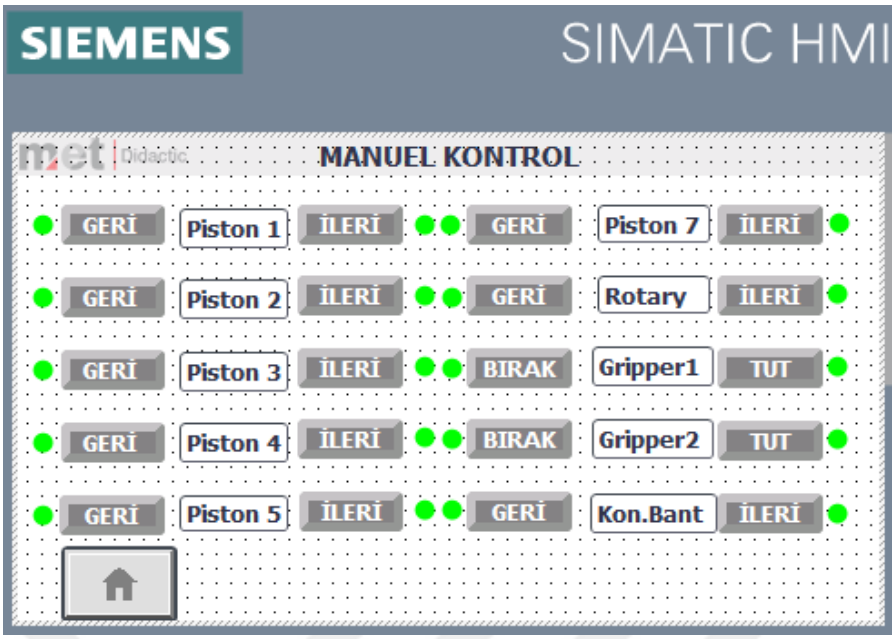
3.2.5 HMI Panellerin Programlanması

FMS deney setinde kullanılan dokunmatik paneller ile ilgili bilgiler bölüm 3.2.2'de verilmişti. Dokunmatik HMI panellerin bağlantıları, ethernet kablosu ile ait oldukları istasyonun PLC'lerine gerçekleştirilmiştir. Profinet haberleşme kullanılarak haberleşmesi sağlanmıştır. PLC programlamada kullanılan TIA Portal programı ile ekran tasarımları gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen tasarımlarda PLC'ye gelen dijital giriş ve çıkışların anlık durumları izlenebilmekte ve takip edilebilmektedir. Aynı zamanda manuel olarak istasyon üzerindeki pnömatik ekipmanların hareketi butonlar vasıtasıyla sağlanmaktadır. Step motor bulunan istasyonlarda motor kontrolleri ekran üzerinden de ulaşılabilir hale getirilmiştir. Bölüm 3.1.2.3'te belirtilen kesin hareket için sıfır noktasını bulma (Home) işlemi bu panel üzerinden gerçekleştirilmektedir. Meydana gelen hatalar ekranda uyarı şeklinde gösterilmektedir. Böylece kullanıcının bilgilendirilmesi sağlanmaktadır. Şekil 3.50'de istasyona ait girişlerin listelendiği HMI ekran görüntüsü verilmiştir. Herhangi bir giriş aktif olduğunda ilgili girişin arka plan rengi yeşil olmakta ve durum bilgisi kullanıcıya görsel olarak bildirilmektedir.



Şekil 3. 50. İstasyon 4 PLC dijital giriş listeleme sayfası

Şekil 3.51'de istasyonda bulunan pnömatik ekipmanların kontrolü için manuel kontrol sayfasının tasarımı ve yerleşimi örnek olarak verilmiştir. Butonların sağ ve sol yanlarında ise yeşil daireler tercih edilmiştir. Silindir tetiklendiğinde yeşil daire belirgin hale gelmekte ve ne yönde tetiklendiğinin bilgisi kullanıcıya aktarılmaktadır.



Şekil 3. 51. İstasyon 4 manuel kontrol sayfası

3.2.6 Kestirimci Bakım Modüllerinin Sisteme Entegrasyonu

Bu kısımda, FMS deney setine entegre edilmek üzere yapay arıza oluşturma ve kestirimci bakım modüllerinin tasarımı ve sisteme uyarlanması ile ilgili bilgilere yer verilmiştir.

3.2.6.1 Olası Arıza Noktalarının Tespiti

Kestirimci bakım modülü uygulaması için ilk olarak istasyonlar üzerinde olası arızaya sebep olacak noktalar tespit edilmiştir. Tespit edilen bu noktalarda uzun süreli çalışmalarda meydana gelme potansiyeli yüksek arıza çeşitleri analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre uzun süreli çalışmalarda karşılaşılabilecek arızalar şu şekilde listelenmektedir.

- Elektrik motorlarında meydana gelebilecek rotor ve rulman arızalarına bağlı olarak titreşimin artması
- Silindirlerin uzun süreli çalışmasına bağlı olarak yataklama elemanlarının aşınması ve bunun sonucunda silindir hareketlerinin zorlaşması buna bağlı olarak da işlem süresinin uzaması
- Rulman çakma noktasında çakma işleminde uygulanan kuvvetin tolerans değerlerinin dışında gerçekleşmesi ya da kuvvet uygulansa bile çakmanın tam sağlanamaması

Yukarıdaki olası arızaya sebep olacak durumlar incelenerek 3 adet kestirimci bakım uygulaması için kontrol noktası belirlenmiştir. Bu noktalar aşağıda listelenmiştir.

- 2. İstasyon vibrasyon kazanının titreşim durumu
- 3. İstasyonda çevrim süresi hızlı ve çevrim sayısı yüksek olan pnömatik silindirler
- 4. İstasyon rulman çakma noktası

3.2.6.2 İstasyon 2 İçin Kestirimci Bakım Modülü Uygulaması

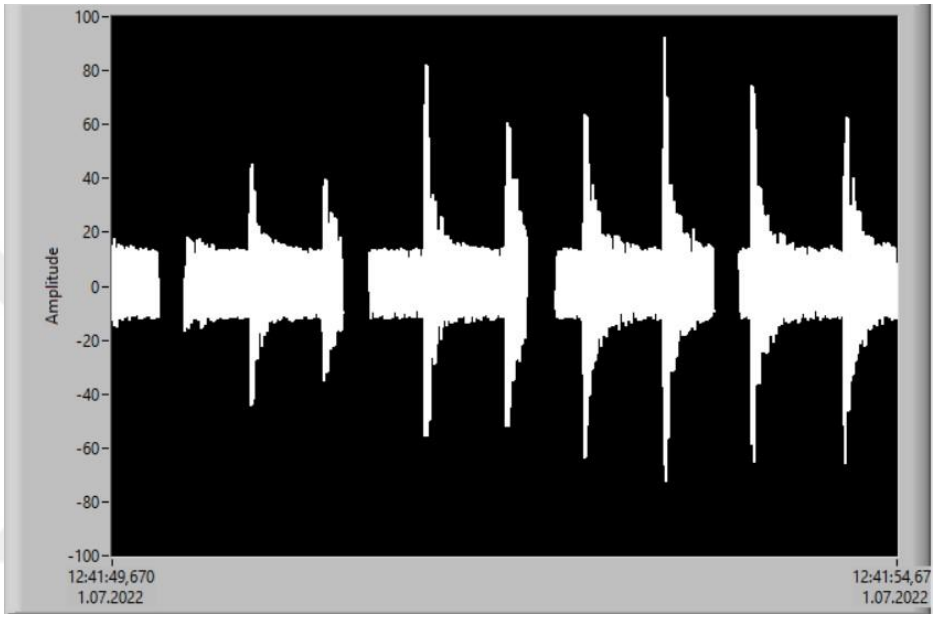
Kestirimci bakım konusu plansız duruşların önüne geçmek için uygulanan, veri toplama ve analizine dayanan bir yöntemdir. Dolayısıyla endüstriyel işletmelerde verimlilik anlamında bilinmesi ve yaygınlaştırılması gereken önemli bir husustur. Bu bakımdan FMS istasyonlarından vibrasyon kazanının yer aldığı 2 numaralı istasyon üzerinden titreşim verisi toplanması ve bu verinin analizine dayalı kestirimci bakım uygulaması gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak vibrasyon kazanına titreşim verisini toplayacak sensör montajlanmış ve test ölçümleri toplanmıştır. Farklı zamanlarda ve koşullarda alınan titreşim verileri kaydedilmiş genlik ölçümleri alınmıştır. Şekil 3.52'de normal durumdaki titreşim genlikleri verilmiştir.



Şekil 3. 52. Vibrasyon kazanı arızasız durum titreşim frekans grafiği

Alınan ölçüm sonuçlarına göre frekans genliklerinin +20 ile -20 arasında değiştiği izlenmiştir. Bu genlik değerleri normal durum olarak kabul edilmiştir. Bu genlik değerlerinin ortalaması alınarak tolerans değerleri hesaplanmıştır. Arıza durumlarında ya da arızaya yaklaşma durumlarında bu genlik değerinin büyüklüğündeki değişimlere bağlı olarak tolerans dışı değerler tespit edilmiştir. Bu veriler doğrultusunda kestirimci bakım uygulaması geliştirilmiştir.



Şekil 3. 53. Vibrasyon kazanının darbe altındaki titreşim genlik grafiği

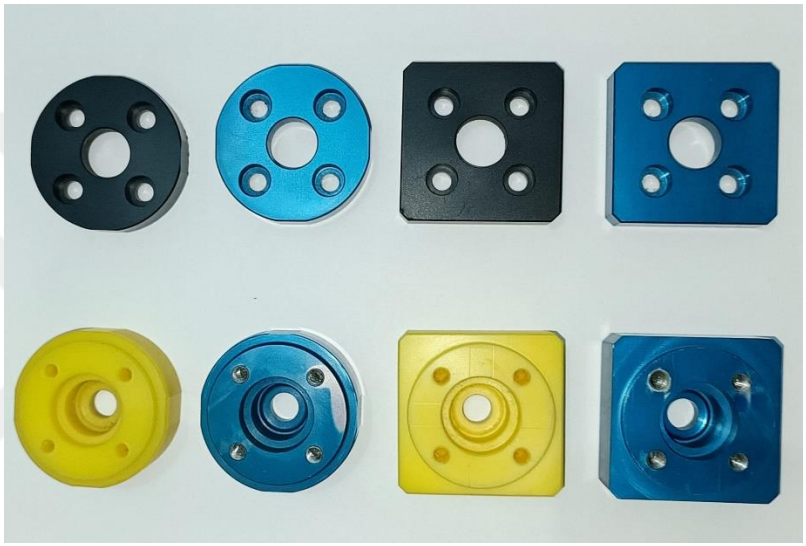
Titreşim ölçümü esnasında arızalı durum simüle edilmesi için kazana darbe uygulanmış ve uygulanan darbelerin frekans grafiğine yansıması Şekil 3.53'te verilmiştir. Uygulanan bu darbelerin titreşim genliğinde meydana getirdiği değişim ayrıca izlenmiş ve tolerans değerlerinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, üçüncü bölümde yapılan tasarım çalışmalarının uygulama aşamasına yönelik bilgiler verilmiştir.

4.1. Kullanılan İş Parçaları

Şekil 4.1'de FMS deney setinde kullanılan iş parçaları ve kapaklarının görseli verilmiştir. Soldan sağa sırasıyla; dairesel plastik, dairesel metal, karesel plastik ve karesel metal iş parçaları görülmektedir.



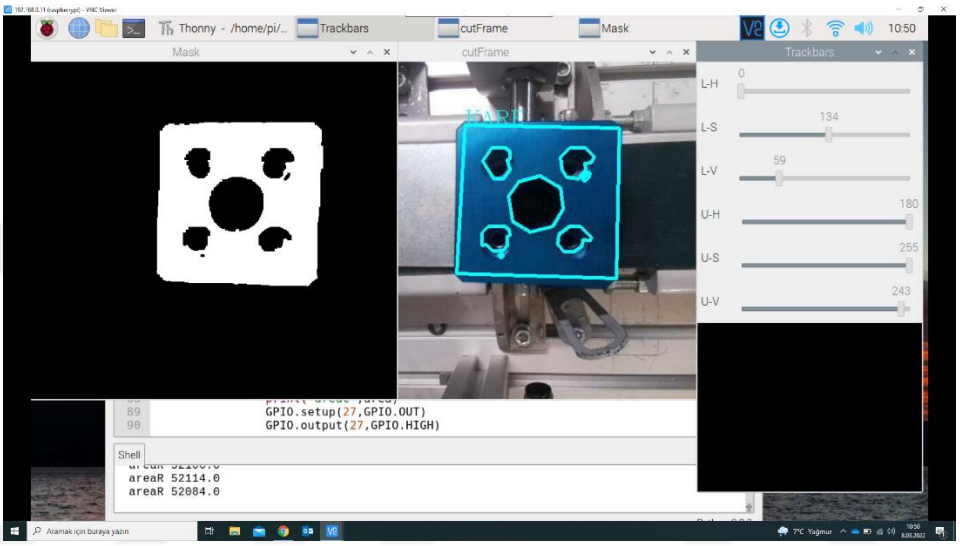
Şekil 4. 1. İş parçaları

4.2. Nesne ve Kenar Tespiti (Görüntü İşleme)

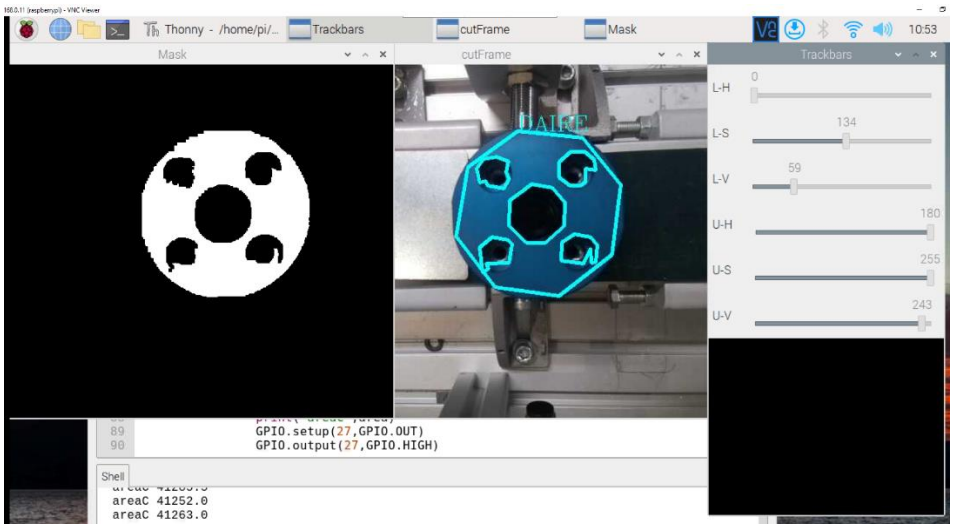
Görüntü işleme ile iş parçalarının tespiti üç aşamada yapılmaktadır. İlk olarak kameranın görüntü açısına giren iş parçası optik sensör ile tespit edilmektedir. Aynı zamanda endüktif sensör de kullanılarak iş parçasının metal olup olmadığı bilgisi kontrol edilmektedir. Cisimden yansımalı optik sensörün çıkış vermesi ile röle tetiklenir. Tetiklenen rölenin yardımcı kontağı üzerinden Raspberry Pi girişine 1 bilgisi iletilir. Böylelikle iş parçasının geldiği ve tespit için hazır olduğu anlaşılır.

İkinci aşamada Raspberry Pi içerisindeki kod dijital girişe bir (true) bilgisinin gelmesi ile döngüye girer ve 1 bilgisi kesildiğinde döngü kesilir. Böylece sadece gerekli durumda kodun çalışması sağlanmış olmaktadır. Bu noktada OpenCV kütüphanesi kullanılarak Python dilinden yararlanılmıştır. Kameradan alınan anlık

görüntü üzerinde gerekli maskeleme ve filtreleme işlemlerinden sonra oluşan siyah beyaz görüntü ile kenar tespiti yapılmaktadır. 4 adet kenar tespit edilen iş parçaları karesel olarak adlandırılırken 4 adetten fazla kenar tespit edilen iş parçaları ise dairesel olarak algılanmaktadır. Böylece dairesel ve karesel iş parçasına göre iki farklı röle tetiklenmektedir. Bu işlemin sonucunda kodlama tarafındaki işlem tamamlanmaktadır. Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te iş parçalarının tespit edildiği Raspberry Pi ekran çıktısı paylaşılmıştır.



Şekil 4. 2. Karesel metal iş parçası için ekran çıktısı



Şekil 4. 3. Dairesel metal iş parçası için ekran çıktısı

Son olarak görüntü ile tespit edilen bilginin PLC'ye iletilme aşaması kalmaktadır. Bu noktada PLC'de iki adet dijital giriş kullanılmaktadır. İkinci aşamada

tetiklenen rölelerin açık kontakları üzerinden PLC'nin ilgili girişine 24VDC(true) bilgisi iletilmektedir. Giden input bilgileriyle iş parçalarının şeklinin dairesel ya da karesel olduğu tespit edilmektedir. Aynı zamanda birinci aşamada belirtilen indüktif sensör ile de yapısı tespit edilmektedir. Böylece hem şekil hem de yapısının kontrolü sağlanarak iş parçalarının anlık olarak tespiti gerçekleştirilmektedir. Tespit işlemi ile ilgili detaylar aşağıda Tablo 4.1'de özetlenmiştir.

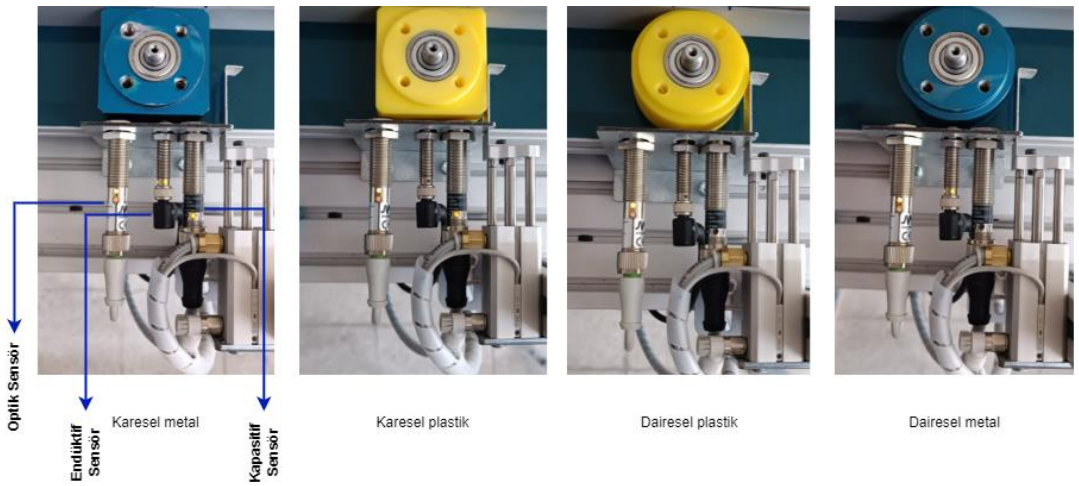
Tablo 4. 1. Çıkışların durumuna göre şekil tespit tablosu

İndüktif Sensör				
Optik Sensör				
Ras Pi Röle 1				
Ras Pi Röle 2				
	Karesel Plastik	Dairesel Plastik	Karesel Metal	Dairesel Metal

Ras Pi Röle 1 :	**1**	Ras Pi Röle 2 :	**0**
	Karesel		Dairesel

4.3. Sensörler ile İş Parçası Tespiti

Burada başlık 3.2.2.1 altında açıklanan iş parçası tespitinin uygulama çıktısı gösterilmiştir. Tespit için toplamda 4 farklı iş parçası analiz edilmektedir. Aynı zamanda her durum için ayrı ayrı olmak üzere iş parçası tespit görselleri Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4. 4. Ürün tespit noktasında sensörler ve iş parçalarının görüntüsü

Şekil 4.4'te bulunan 3 adet sensör (soldan sağa olmak üzere cisimden yansımalı optik sensör, endüktif sensör, kapasitif sensör) ile uygulama gerçekleştirilmiştir. İşlem ilk olarak en solda bulunan cisimden yansımalı optik sensörün çıkış vermesi ile başlamaktadır. Sensörün çıkış vermesi ile çift etkili silindir ileri hareket etmekte ve iş parçasına dayan dur yöntemi ile hizalanmaktadır. Ardından endüktif ve kapasitif sensörlerin çıkış bilgilerine bakılarak iş parçasının tespiti yapılmaktadır. Endüktif sensör sadece metal iş parçalarında çıkış verir. Kapasitif sensör ise yakın mesafeden algılama yapmaktadır. Bu sebeple dairesel olan iş parçalarının kenarını, uzak kaldığı için algılayamamaktadır. Hassas ayar yapmak için kapasitif sensörün üzerindeki çok turlu vida ile hassasiyet ayarı yapılmıştır. Böylelikle her bir iş parçasının algılanarak tespit işlemi gerçekleştirilmiştir. Uygulamanın sonucunda sistemin kararlı bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir.

4.4. Basınç ve Sızdırmazlık Testi

Sızdırmazlık testi işleminin temel amacı, başlık 3.1.1.1.'de anlatılan oring yerleştirme işleminin doğruluğunu kontrol etmektir. Cisimden yansımalı optik sensör ile istenen noktaya ulaşan iş parçasının tespit edilmesiyle işlem başlatılmaktadır. Çift etkili silindirin bağlı olduğu valf tetiklenerek silindir aşağı yönlü hareket ettirilir. Silindir üzerine yerleştirilmiş olan konum sensörleri ile silindirin ileri pozisyonda olduğu tespit edilir ve farklı bir valf tetiklenerek basınçlı hava iş parçasının içine yönlendirilir. Ekran üzerinden belirlenen süre kadar basınca maruz bırakılır. Süre içerisinde istenen basınç değerine ulaşır ve sabit kalırsa işlem başarılı olarak sonuçlandırılır. Başarısız olan işlem ışıklı ve sesli uyarı ile kullanıcıya bildirilir. Şekil 4.5'de sızdırmazlık testinin görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4. 5. Sızdırmazlık testi görüntüsü

4.5 Baskı ve Rulman Çakma İşlemi

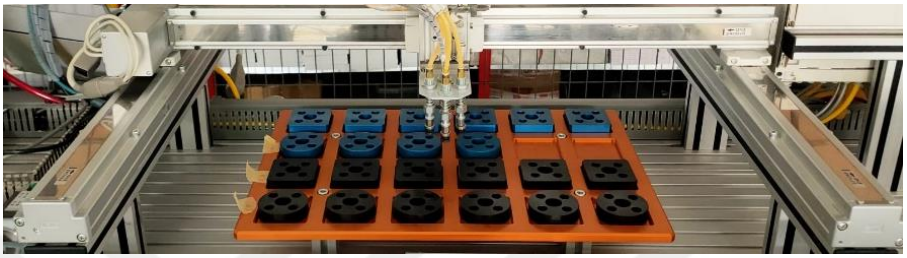
Başlık 3.1.1.5'te anlatılan rulman çakma işleminin uygulaması bu kısımda verilmiştir. Burada yük hücresi ve oransal regülatör kapalı çevrim kontrol yapısında çalışmaktadır. Yük hücresinden alınan 0-10V bilgisine göre oransal regülatör 4-20 mA üzerinden kontrol edilir. İstenen süre içerisinde başarısız sonuçlanan işlem sesli ve ışıklı uyarı ile kullanıcıya bildirilir. Şekil 4.6'da rulman çakma işlemine ait deney seti ekipmanı gösterilmiştir.



Şekil 4. 6. Rulman çakma birimi

4.6. Kapak Taşıma ve Yerleştirme İşlemi

Başlık 3.1.1.6.'da anlatılan işlemlerin uygulamasına burada yer verilmiştir. Her iş parçasına ait kapak farklı olduğu için ilk olarak iş parçası türünün ve şeklinin tespit edilmesi gerekmektedir. İlk olarak ürün tespit noktasına gelen ürünler dayan dur yöntemi ile tespit edilir. Ardından iki eksende hareket eden elektrikli eyleyiciler kullanılarak pozisyonlama yapılır ve ürüne ait olan kapak vakum tutucular ile taşınarak ürünün üzerine yerleştirilir. Şekil 4.7'da istasyonun görseli verilmiştir.



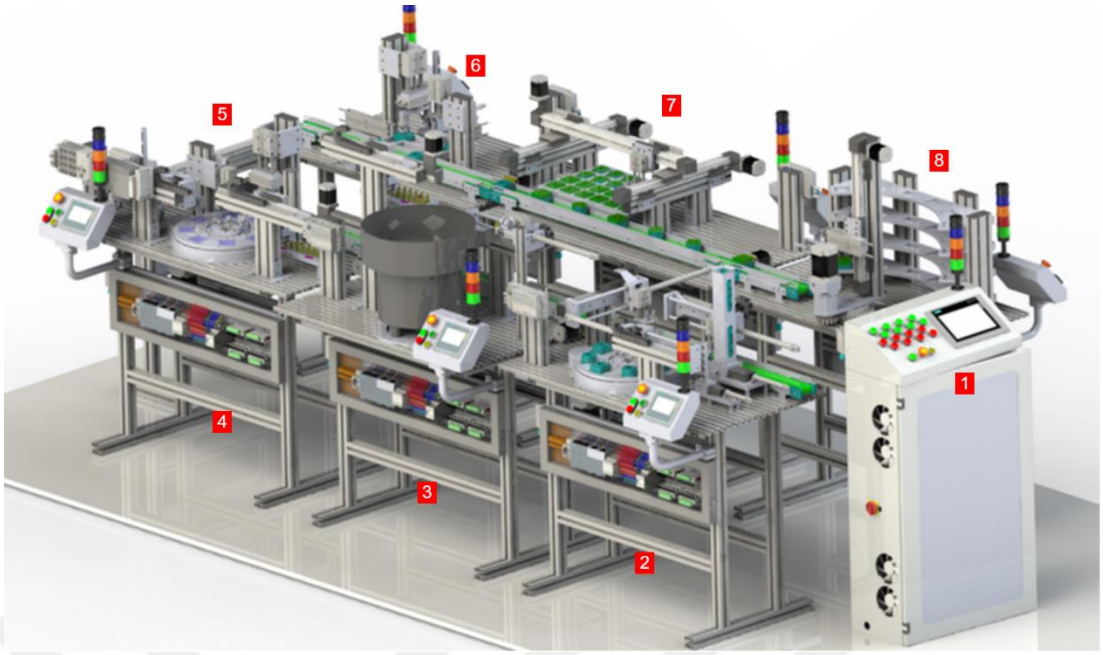
Şekil 4. 7. FMS kapak yerleştirme istasyonu

4.7. FMS Deney Setinin Genel Görünümü

Yukarıdaki bölümlerde detayları verilen FMS deney setinin genel görünümü Şekil 4.8'de gösterilmiştir. İstasyonlar 1-8 arasında sembolize edilmiştir.

İstasyonlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

1. Ana Kontrol Ünitesi
2. Oring Yerleştirme İstasyonu
3. Vibrasyon Çanağı İstasyonu
4. Mil ve Yüsük Yerleştirme İstasyonu
5. Transfer Birimi
6. Rulman Çakma İstasyonu
7. Kapak Yerleştirme İstasyonu
8. Otomatik Depolama ve Boşaltma İstasyonu



Şekil 4. 8. FMS Deney Seti Katı Model Görünümü

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dijital dönüşüme uygun, esnek üretim prosesleri barındıran, Elektrik, Elektronik, Otomasyon, Makine ve Mekatronik bölümlerinde öğrenim gören öğrencilerin nitelikli eğitim setlerini kullanarak deneyim kazanması sağlanarak endüstriye hazır bulunuşluk düzeylerinin arttırılması günümüzde daha da önemli hale gelmiştir.

Bu tez çalışmasında eğitim setleri üretimi gerçekleştiren bir firma işbirliği ile fabrika otomasyon süreçleri modelini simüle eden FMS deney seti geliştirilmiştir. Geliştirilen deney setinde farklı ürünleri temsil etmek için yapı ve şekil itibariyle birbirinden farklı 4 adet iş parçası üzerine bir dizi işlemler yapılmıştır. Böylece günümüz şartlarında üretimdeki gelişimlere ayak uydurabilen ve ürünlerin müşteriler tarafından belirlendiği fabrikalarda üretim modelini sembolize eden esnek üretim sistemi tasarlanmıştır.

Geliştirilen bu sistem ile birçok teknik bölümde öğretim yapılan alanlarda ihtiyaç duyulacak uygulamaların gerçekleştirilebileceği bir ortam sunulmuş olmaktadır. Tasarlanan model üzerinde endüstriyel ekipmanlar tercih edilerek endüstriyel ürünlere aşinalık sağlanmaya çalışılmıştır. FMS kullanılarak aşağıdaki uygulamalar sayesinde daha kalifiye mezunlar yetiştirilmesine katkı sağlayacağı öngörülmektedir. Aşağıda sıralanan teknik yetkinlikler geliştirilen FMS deney seti kullanılarak gerçekleştirilebilir.

- Dağınık kontrol ve merkezi kontrol uygulamaları,
- Üretim sistemleri arasında bilgi alışverişi ve haberleşme,
- Arıza tespit tekniklerinin uygulanması ve öğretilmesi,
- Elektrik kumanda ve devre elemanlarının bağlantıları ve kullanımı,
- Üretim biriminin mekanik olarak kurulumu,
- PLC programlama ile dijital ve analog sinyallerin işlenmesi,
- Basınçlı havanın dağıtımı ve kullanıma hazır hale getirilmesi,
- Pnömatik ekipmanlar sayesinde doğrusal ve döner eksenli silindir uygulamaları,
- Vakum teknolojisi ve uygulamaları,

- HMI panel tasarımı ve görsel kullanıcı arayüzü oluşturma,
- Basınç altında sızdırmazlık testi ile üretim kalite kontrol uygulaması,
- Yük hücresi ve transmitter kullanarak kuvvet testi uygulaması,
- Geri besleme denetim sistemleri ile oransal kontrol uygulamaları,
- Adım motoru sürme ve pozisyon kontrol uygulamaları,
- Optik, indüktif ve kapasitif temassız algılayıcıların kullanımı,
- Görüntü işleme ile nesne tespit ve takip uygulaması,
- Dağıtık/Uzak giriş çıkış modüllerinin sahada kullanılması,
- Farklı yapıda üretim senaryoları oluşturma ve programlama.

Yukarıdaki bu uygulamalara ek olarak set üzerinde yapılacak birtakım geliştirmeler ve farklı uygulamalar için altyapı oluşturulmuş durumdadır. Bu sebeple yeni akademik çalışmalara da zemin oluşturulmuştur. Aşağıda FMS deney seti ile yapılabilecek proje çalışmaları listelenmiştir.

- İstasyonların yer değişimi ile üretim akışını değiştirme,
- İstasyonlardan toplanan veriler ile çevrimiçi SCADA,
- Açık kaynak kodlu programlama kullanılarak mobil kontrol uygulamaları,
- Kablosuz uzak giriş-çıkış uygulamaları,
- İstasyon verilerini buluta aktarma,
- Bulut verilerini analiz ederek görselleştirme çalışmaları,
- İş parçaları üzerinde görsel kalite kontrol uygulaması.
- Her bir iş parçası için temel performans göstergesi (key performance indicator-KPI) oluşturma,
- Görselleştirme araçları kullanılarak modüler halde SCADA geliştirilmesi
- Üretimdeki her bir elemanın üzerindeki izlenebilirlik zincirinin oluşturulması

KAYNAKÇA

[1] Bulut, E.,Akçacı, T., Endüstri 4.0 ve İnovasyon Göstergeleri Kapsamında Türkiye Analizi, Assam International Refereed Journal, 2017, 4(7), 55-77.

[2] Yeni Sanayi Devrimi: Akıllı Üretim Sistemleri Teknoloji Yol Haritası, Tübitak , 2016.

[3] Gönen, S., Çelik, M., Esnek Üretim Sistemleri Uygulayan İşletmelerde Üretim Maliyetlerinin Değerlendirilmesi, Ege Academic Rewiev, 2014, 4(1), 133-143.

[4] Bildstein, A., Seidelmann, J., Endüstri 4.0 Üretimine Geçiş, Automatisierung und Logistik, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2014.

[5] Browne, J., Dubois, D., Rathmill, K., Sethi, S. P., & Stecke, K. E., Classification of Flexible Manufacturing Systems, The FMS Magazine,1984, 2(2),114-117.

[6] Ali, M., Ahmad, Z., A Simulation Study of FMS Under Routing and Part Mix Flexibility, Global Journal of Flexible Systems Management,2014,15(4), 277-294.

[7] Wang, S., Meng, J., Xie, Y., Jiang, L., Ding, H., Shao, X., Reference Training System for Intelligent Manufacturing Talent Education: Platform Construction and Curriculum Development, Journal of Intelligent Manufacturing, 2021, 1-40.

[8] Wang, S., Jiang, L., Meng, J., Xie, Y., Ding, H., Training for Smart Manufacturing Using a Mobile Robot-Based Production Line, Frontiers of Mechanical Engineering, 2021, 16(2),249-270.

[9] Margherita, E. G., & Braccini, A. M., Industry 4.0 Technologies in Flexible Manufacturing for Sustainable Organizational Value: Reflections from a Multiple Case Study of Italian Manufacturers, Information Systems Frontiers, 2020, 1-22.

[10] Miranda, J., Navarrete, C., Noguez, J., Molina-Espinosa, J. M., Ramírez-Montoya, M. S., Navarro-Tuch, S. A., Molina, A.,The Core Components of Education 4.0 in Higher Education: Three Case Studies in Engineerig Education, Computers And Electrical Engineering, 2021, 93.

[11] Yabanova, I., Esnek Üretim Sisteminin Gerçek Zamanlı Uzaktan Erişimli Kontrolü ve Mekatronik Eğitimine Uygulanması, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011, Doktora Tezi.

[12] Taşkın, S., MPS Modüler Üretim Sisteminin Bilgisayar Destekli Gerçek Zamanlı Kontrolü ve Teknik Eğitime Uygulanması, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007, Doktora Tezi.

[13] Tekin, M., Esnek Üretim Sistemlerinde Maliyetlerin Belirlenmesi, Kontrolü ve Bir Uygulama, Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2005, Doktora Tezi.

[14] Şimşek, E., Küçükatay, O., Uygulamalı Otomasyon Sistemleri Eğitim Simülatörü Geliştirilmesi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2016, 1(31), 405-419.

[15] Saadet, N.C., Üretim Sistemlerinde Otomasyon, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimelri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2012, 2.

[16] Torun, N.K, Cengiz, E., Endüstri 4.0 Bakış Açısının Öğrenciler Gözünden Teknoloji Kabul Modeli ile Ölçümü, International Journal of Economic and Administrative Studies, 2019, 22. 235-250,

[17] Ayaz,M., Koray,E., Otomasyon Sistemleri Eğitiminde Animasyon Tabanlı Uygulamaların Yeri ve Önemi, Otomasyon Dergisi, 2014.

[18] Saygin, C., & Kahraman, F., A Web-based programmable logic controller laboratory for manufacturing engineering education, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2004, 24, 590-598.

[19] Akpınar,B., Mechatronics Education in Turkey, Mechatronics,2006, 16(3/4), 185-192.

[20] Meek,S., Field, S., Devasia,S., Mechatronics education in the Department of Mechanical Engineering at the University of Utah, Mechatronics, 2003, 13(1), 1-11.

[21] Cronin, M. C., Awasthi, M. A., Conway, M. A., O'Riordan, D., Walsh, J., Design and Development of a Material Handling System fo an Autonomous Intellegent Vehicle for Flexible Manufacturing, 30th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, 2020, Athens.

[22] Skanda, K. S., Krishna, M., & Murthy, H. N. N., Conceptual Model Of Internet-Enabled Flexıble Manufacturıng Systems, Ieee Internatoanal Conference On Industrial Technology, December, 2002, Bangkok.

[23] Alszer, S., & Krystek, J., Modular, didactic flexible manufacturing system- Case study, 4th International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR), April, 2018, Auckland.

[24] Huang, X., A Mechatronics Educational Laboratory Platform For Manufacturing Automation Based On Googol FMS, Proceedings O.F 2011 International Conference On Electronic & Mechanical Engineering And Information Technology, August, 2011, Harbin.

[25] Zhang, X., Hu, B., Xiong, G., Liu, X., Dong, X., Li, D., Research And Practice Of Lightweight Digital Twin Speeding Up The İmplementation Of Flexible Manufacturing Systems, IEEE 1st International Conference On Digital Twins And Parallel Intelligence (DTPI), July, 2021, Beijing.

[26] Yabanova, I., Taşkın, S., Ekiz, H., Çimen, H., Denetleyicic Alan Ağı Üzerinden Mekatronik Bir Sistemin Kontrolü, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2010, 7(2), 63-72.

[27] Chawla, V. K., Chanda, A. K., Angra, S., Automatıc Guıded Vehıcle Systems In The Flexıble Manufacturıng System – A Revıew, International Journal Of Industrial Engineering, 2019, 7(26), 737-765.

[28] Zacharia, P. T., Xidias, E. K., AGV Routing And Motion Planning in a Flexible Manufacturing System Using a Fuzzy-Based Genetic Algorithm, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2020,7/8(108), 1801-1813.

[29] Sackey, S. M., Bester, A., Adams, D., Industry 4.0 Learnıng Factory Dıdactıc Desıgn Parameters For Industrıal Engıneerıng Educatıon In South Afrıca, South African Journal Of Industrial Engineering, 2017, 1(28),114-124.

[30] Demetgül M., Fault Diagnosis on Production Systems With Support Vector Machine and Decision Trees Algorithms, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2013, 1(67), 2183-2194.

[31] Cronin, C., Conway, A., Walsh, J., Flexible Manufacturing Systems Using IIoT in The Automotive Sector, Procedia Manufacturing , 2019, 38, 1652-1659.

[32] Sendrescu, D., Roman, M., Selisteanu, D., Interactive Teaching System for Simulation and Control of Electropneumatic and Electrohydraulic Systems, 24th EAEEIE Annual Conference, May, 2013, Chania.

[33] Erdil, A., Manufacturing-Production Systems and Their Importance:Evaluation of Flexible Manufacturing Systems (FMS), European Journal of Science And Technology, 2021, 29, 331-342.

[34] Aydoğan, E, Esnek Üretim Sistemleri ve Türk Traktör Fabrikasında Yapılan Bir Alan Araştırması, Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 1998, Yüksek Lisans Tezi.

[35] Wang, X., Xing, K., Feng, Y., Wu, Y., Scheduling of Flexible Manufacturing Systems, Ieee Transactıons on Systems, Man, and Cybernetıcs: Systems, 2021, 51(10), 6122-6133.

[36] Groover, M.P., Flexible Manufacturing Cells and Systems, Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing, 2008, 815.

[37] Bayuk, M.N., Güzeler, A.K., Esnek Üretim Sistemleri ve Pazarlama Faaliyetlerine Etkileri, Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi, 2008 ,7(25), 012-024, 2008.

[38] Gönen, S., Çelik, M., Esnek Üretim Sistemleri Uygulayan İşletmelerde Üretim Maliyetlerinin Değerlendirilmesi, Dergipark, 2004, 1(4), 133-143.

[39] Sun, C. H., Timing of Adopting a Flexible Manufacturing System and Product Differntiation, B.E. Journal of Economic Analysis & Policy, 2020, 20(2).

[40] Albagachiev, A. Y., & Krasko, A. S., The Loading Pattern of a Transport-Loading Facility of a Flexible Manufacturing System, Journal of Machinery Manufacture and Reliability, 2019, 48(4), 77-82.

[41] Li, J., Pang, D., Zheng, Y., Guan, X., Le, X., A Flexible Manufacturing Assembly System With Deep Reinforcement Learning, Control Engineering Practice, 2021, 118.

[42] Çimen, H., Taşkın, S., Yabanova, I., Eğitim Amaçlı Esnek ve Modüler Üretim Sistemlerinin Teknik Eğitimde Kullanılması, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2007, 3, 43-53.

[43] Avunduk, H., Endüstri İşletmelerinde Esnek Üretim Sistemleri ve Bir Uygulama, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir, 1998, Doktora Tezi.

[44] Groover, M.P., Automation, Production System and Computer Integrated Manufacturing, Pearson, 1987, 811.

[45] Gabbert, P., Brown, D. E, Knowledge-Based Computer-Aided Design of Materials Handling Systems, IEEE Transactıons on Systems, Man, and Cybernetıc, 1989, 19(2), 188-196.

[46] Atmaca, O., Erol, S., Esnek Üretim Sistemlerinde Yükleme ve Rotalama Problemleri İle İlgili Literatür Araştırması, Süleyman Demirel Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilşimler Fakültesi, 2002, 7(2), 299-311.

[47] [Çevrimiçi]. Available: https://www.artschwager-kohl.de/en/example-integration-of-an-agv-in-sap-ewm/. [Erişim: 05 02 2022].

[48] Soyalan, M., Sıvı Gıda Üretm Sektörü İçin Robotik Tabanlı Akıllı Depolama Sistemleriin Otomasyonu, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Tokat, 2012, Yüksek Lisans Tezi.

[49] [Çevrimiçi]. Available: https://www.interlakemecalux.com/press/warehouse-boxes-project. [Erişim: 05 02 2022].

[50] Mulc, T., Cıglar, D., Staroveski, T., Klaıc, M., Integral Design Proces of Flexible Manufacturing Systems, DAAAM International Scientific Book, 2021, 10(2), 139-162.

[51] Pekmezci, T., Demireli, C., Esnek ÜRetim Sistemleri: Esnek Üretim Sistemlerinin Tekstil İşletmelerinde Uygulanabilirliği Üzerine Bir Araştırma, Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 2015, 6(1), 131-146.

[52] Soba, M., Esnek Üretim Sistemlerinin İşletme Performansına Etkileri ve Vestel Elektronik A.Ş Örneği, Afyon Kacatepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Afyonkarahisar, 2016, Doktora Tezi.

[53] Delikan, H., Esnek Üretim Sistemleri ve Üretim İşletmelerinde Ugulanması ile İlgili Alan Araştırması, Atılım Üniveritesi, Ankara, 2010, Yüksek Lisans Tezi.

[54] [Çevrimiçi]. Available: https://cdn-acikogretim.istanbul.edu.tr/auzefcontent/20_21_guz/modern_uretim_sistemleri/. [Erişim: 21 01 2022].

[55] Say, S., Kınalı, F., İşletmelerde Esnek Üretim Sistemlerinin, Maliyet Unsurları ÜZerindeki Etkisi, Selçuk Üni. Sosyal Bilimler ve Meslek Yüksek Okulu Dergisi, 2017, 20(1), 89-95.

[56] Acar, D., Tekin, M., Alkan, H., Esnek Üretim Sistemlerinin İşletme Faliyetlerine Olan Etkisi ve Maliyet Unsurlarında Meydana Getirdiği Değişiklikler, Süleyman Demiral Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 2007,12(2), 1-20.

[57] Yüksel, I., Geri Besleme Mantığı ve Denetim Türleri, Otomatik Kontrol Sitem Dinamiği ve Denetim Sistemleri, Bursa, 2016, 12-240.

[58] Yüksel, I., Temel Denetim Etkileri ve Endüstriyel Denetim Organları, Otomatik Kontrol Sistem Dinamiği ve Denetim Sistemleri, Bursa, 2016, 228-240.

[59] Üstüner, M. A., Taşkın, S., Bir Süreç Kontrol Sisteminde Bulanık-PID Ayarı ile Etkileşimin Yok Edilmesi, Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, Denizli, 2015.

[60] Kaya, B., Altıntaş, A., Kök, Ü., Esnek Otomasyon Sisteminin Veri Takip Sisteminin Tasarımı ve Uygulanması, Suleyman Demirel University, International Journal of Technologic Sciences, 2015, 7(2), 30-38.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	:	Yakup Yasin ŞAHİN
Medeni Hali	:	Bekar
Yabancı Dili	:	İngilizce

Eğitim Durumu

Lise	:	Tülay Başaran Anadolu Lisesi, 2015
Lisans	:	Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 2020
Yüksek Lisans	:	Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 2023

Mesleki Deneyim

Modül Modern Eğitim Teknolojileri A.Ş. – Met Didactic	2019-2022
Koç Holding Defaş Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş.	2022- Halen