

Araştırma Makalesi / Research Article

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

Yakup Yasin ŞAHİN^{1*}, Sezai TAŞKIN², Faruk KARTAL³

¹ Defaş Madencilik Sanayi ve Tic. A.Ş., Eynez-Soma, Manisa / Türkiye

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0944-4567>, yasin yakupsahin@gmail.com

² Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Yunusemre, Manisa / Türkiye

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2763-1625>, sezai.taskin@cbu.edu.tr

³ Modül Modern Eğitim Teknolojileri A.Ş., Muradiye-Yunusemre, Manisa / Türkiye

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-2070-955X>, faruk.kartal@metdidactic.com.tr

Geliş/ Received: 26.03.2023

Kabul / Accepted: 14.08.2023

ÖZET: Akıllı üretim sistemlerinin geliştirilmesi sanayide yeni bir yaklaşımı ve değişimi başlatmıştır. Günümüzde, teknolojiyi kullanarak katma değer üretebilen ve bu teknolojilerin gerektirdiği teknik becerilere sahip çözümler sunabilen çalışanlar daha avantajlı hale gelmektedir. Bu nedenle mesleki teknik eğitimin niteliğini artırmaya yönelik çalışmaların odağında bireylerin yeni teknolojilere kolayca uyum sağlamalarını ve öğrenmeyi öğrenmelerini sağlayan modeller geliştirmenin önemi her geçen gün daha da artmaktadır. Bu çalışmada sunulan esnek üretim sistemi deney seti, ürün esnekliği ve istasyon sıralama esnekliği gibi yapılanma imkanı sunan bir fabrika otomasyon seti olarak tasarlanmıştır. Deney seti; endüstriyel otomasyon ve haberleşme, veri işleme, hareket kontrol sistemleri, basınç, boyut vb. fiziksel değişkenlerin ölçülmesi ve analizi, kestirimci bakım, durum izleme, görüntü işleme vb. birçok teknik ve güncel konuyu kapsayacak özelliklere sahip olarak geliştirilmiştir.

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

*Sorumlu yazar / Corresponding author: yasin yakupsahin@gmail.com

Bu makaleye atıf yapmak için / to cite this article

Şahin, Y.Y., Taşkın, S., Kartal F. (2023). Akıllı Üretim Sistemlerinde Kontrol ve Otomasyon Uygulamaları İçin Esnek Üretim Sistemi Deney Seti Geliştirilmesi. Journal of Materials and Mechatronics: A (JournalMM), 4(2), 409-423.

Development of Flexible Manufacturing System Experimental Set for Control and Automation Applications in Smart Production Systems

ABSTRACT: The development of smart manufacturing systems has initiated a new approach and change in the industry. Employees who can add value by utilizing technology and providing solutions with the technical skills required by these technologies are at an advantage. Determining methods that simplify the adoption of new technologies by individuals and prevent them from becoming idle in the labor market is becoming increasingly crucial as part of efforts to improve the quality of vocational education. The experimental setup is designed to function as a factory automation system, offering options for product and station sequencing flexibility. The experimental setup is developed to encompass various technical topics including industrial automation and communication, data processing, motion control systems, measurement and analysis of physical variables such as pressure and dimensions, predictive maintenance, condition monitoring, image processing, and more.

Keywords: Flexible Manufacturing System Experimental Set, Smart Production Systems, Control and Automation, Condition Monitoring.

1. GİRİŞ

Üretim zincirinin her aşamasının dijitalleşmesi, makina-insan-altyapı etkileşiminin sağlanması ile akıllı üretim sistemlerinin geliştirilmesi sanayide yeni bir yaklaşımı ve değişimi başlatmıştır. Küresel öngörüler, yeni sanayi devrimi ile ilişkili teknolojilerin daha çok uygulama alanı bulacağını ve sürekli yükselen bir eğilim göstereceğini işaret etmektedir (Tübitak, 2016).

Gelişimin ve değişimin hızlı olduğu günümüz dünyasında işletmelerin verimliliklerinin artmasında teknolojik gelişmeleri takip etmek ve mümkün olduğunca bu teknolojilerle desteklemek büyük önem taşımaktadır. Pazarın müşteriler tarafından belirlendiği ve müşteri taleplerinin sürekli değişim gösterdiği günümüzde klasik üretim sistemlerinin yeterli verimi sağlayamadığı görülmektedir. Bu nedenle esneklik kavramı üretim sistemlerinin temelini oluşturmaktadır. Endüstri 4.0 ile birlikte bireyselleşmiş üretim sistemlerinin yanında, değişime ayak uydurabilen, esnek üretim sistemleri daha fazla ön plana çıkmaya başlamıştır. Böylece klasik üretimin yerini akıllı otomasyona dayalı esnek üretim sistemleri almaya başlamıştır (Gönen ve Çelik, 2014; Bildstein ve Seidelmann, 2014). Buna bağlı olarak, aynı üretim hattında farklı ürünlerin üretilebilmesi rekabetin temelini oluşturmakta ve düşük üretim adetlerinde yüksek çeşitliliği mümkün kılmaktadır.

Esnek üretim sistemleri otomotiv, elektronik, tüketici ürünleri ve diğer birçok endüstriyel sektörde kullanılmaktadır. Esnek üretim sistemi, bir üretim ortamında ürünlerin seri üretimi için kullanılan otomasyon ve bilgisayar kontrollü bir sistem olup farklı ürünlerin aynı üretim hattında üretilmesine ve üretim süreçlerinin hızlı bir şekilde değiştirilmesine olanak tanır. Bu sistemlerde üretim hatları bilgisayar desteklidir (Erdil, 2021).

Akıllı üretim sistemleri, esnek üretim sistemlerinin bir bileşeni olarak ortaya çıkmıştır (Wang ve ark., 2020). Bu sistemler, yapay zeka, nesnelerin interneti ve büyük veri analitiği gibi teknolojileri kullanarak üretim süreçlerini optimize etmek için akıllı kararlar alır. Akıllı üretim sistemleri, veri analitiği ile üretim verimliliğini artırırken, otomasyon teknolojileri sayesinde hata oranını azaltır (Jin ve ark., 2021). Durum izleme ise üretim süreçlerinin gerçek zamanlı olarak takip edilmesini sağlar (Li ve ark., 2022). Sensörler ve veri toplama sistemleri kullanılarak üretim ekipmanlarının performansı ve durumu sürekli olarak izlenir. Bu bilgiler, anormal durumları tespit ederek hızlı müdahale ve plansız duruşların önüne geçmeyi sağlar.

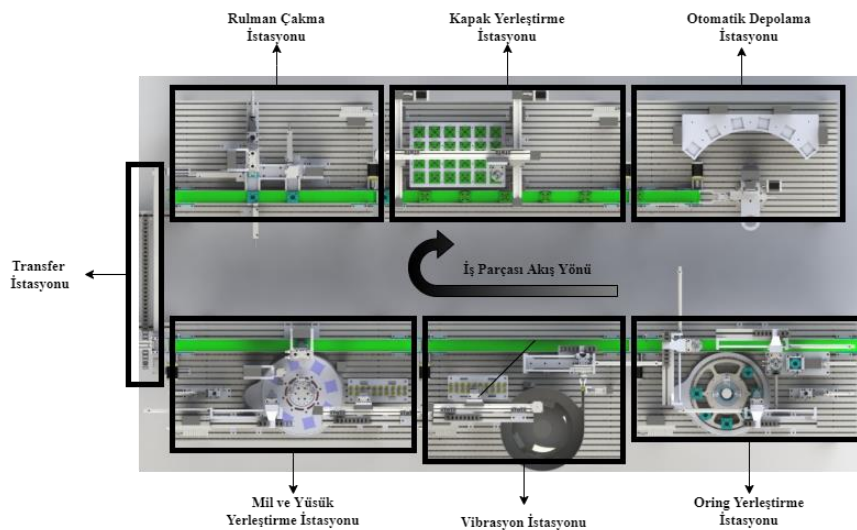
Çalışma konusu ile ilgili olarak literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, modüler üretim sistemi gerçek zamanlı ve uzaktan erişimli kontrolü (Taşkın, 2007), esnek üretim sistemi kontrolü için alternatif bir denetleyici tasarımı (Yabanova, 2011), mühendislik eğitimi için gerçekçi ve pratik öğrenme altyapısı sağlamak amacıyla Endüstri 4.0 öğrenme fabrikası konsepti (Sackey ve ark., 2017) ve öğrencilerin katılımını ve ilgisini arttırmak için bir akıllı üretim hattı (Wang ve ark., 2021) çalışmaları görülmektedir. Diğer benzer çalışmalar ise; bir esnek üretim sistemine ürünlerin sorunsuz taşınması için otonom transfer sistemi (Cronin ve ark., 2020), çok çeşitli üretime yönelik bir esnek üretim sistemi modeli (Alszer ve Krystek, 2018), dijital ikiz teknolojisinin modelleme yöntemi ile ilgili esnek üretim modeli prototipi (Zhang ve ark., 2021) olarak verilebilir.

Bu çalışmanın konusu olan akıllı ve esnek üretim sistemleri günümüzde orta ve büyük ölçekli birçok işletmede üretimin temelini oluşturmaktadır. Dolayısıyla bu sistemlerin kullanıldığı işletmelerde ciddi bir işgücü istihdam edilmektedir. Bu yüzden bu sistemlerde yer alan teknolojilerin öğrenilmesi, çalışma prensiplerinin ve işlevlerinin daha iyi anlaşılması gerekmektedir. Bu noktada çalışmada sunulan deney seti ile esnek üretim sistemlerindeki teorik bilginin uygulamalı pratik bilgiye dönüştürülmesi hedeflenmiştir. Deney seti sistem üzerinde ardışık yapıda işlemler gerçekleştiren iş parçaları üzerinde rulman çakma, kalite kontrol vb. uygulamaları gerçekleştiren 6 istasyondan ve 1 ana kontrol ünitesinden oluşacak şekilde tasarlanmıştır. Çalışmanın ana katkısı, sınırlı sayıda bulunan esnek üretim sistemleri deney setlerine yeni bir konfigürasyon ve açık mimaride bir tasarımın kazandırılmasıdır. Bu deney düzeneğinin kapsadığı teknolojiler kullanılarak uygulamalar gerçekleştirilmesi pratik deneyime önemli katkılar sağlayacak niteliktedir.

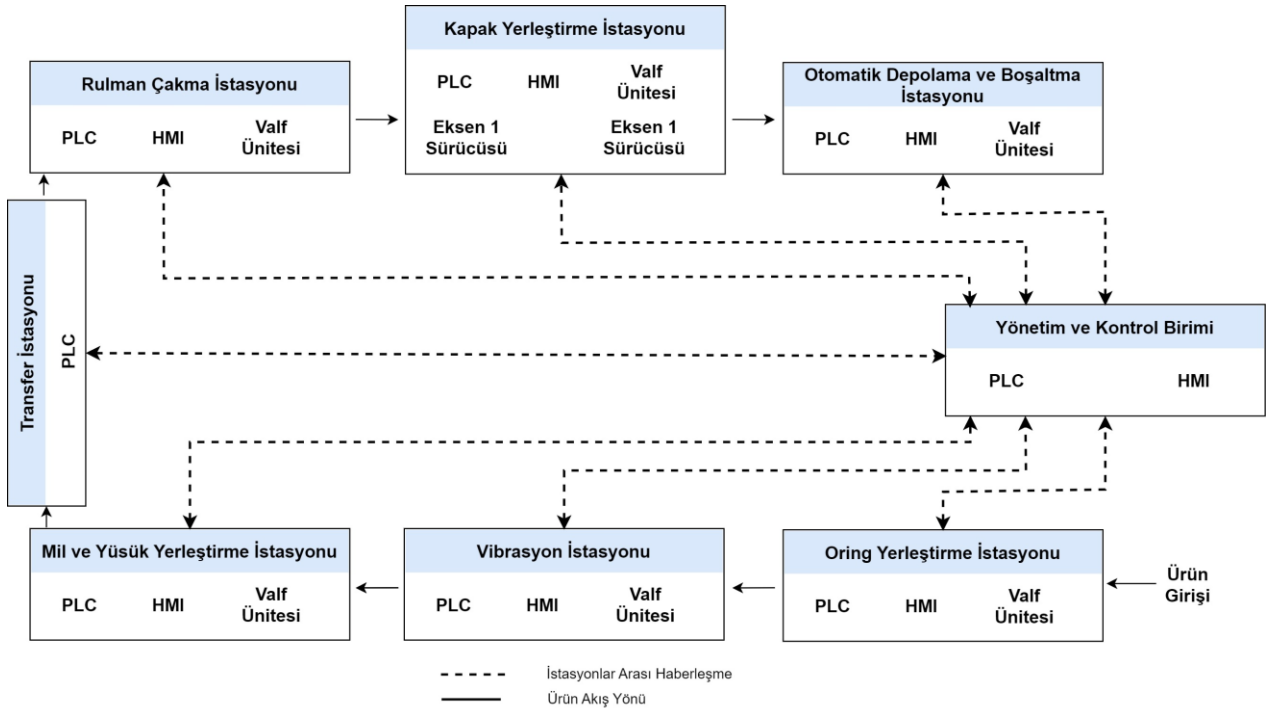
Çalışmanın ikinci kısmında materyal ve yöntem, üçüncü bölümünde esnek üretim sistemi deney setine ait bulgular, dördüncü bölümde ise elde edilen sonuçlara yer verilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Esnek üretim sistemi deney seti için toplamda 8 farklı birimden oluşan bir uygulama düzeneği tasarlanmıştır. Tasarlanan sistem, biri transfer birimi olmak üzere altı adet istasyondan ve bir adet ana kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Şekil 1’de tasarlanan sistemin katı model görüntüsü, Şekil 2’de ise haberleşme yapısına ait blok diyagram verilmiştir.

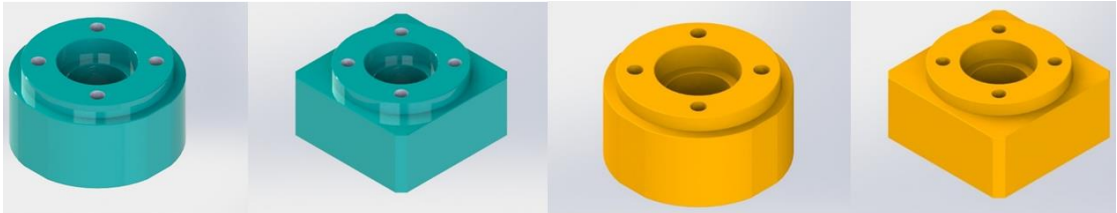


Şekil 1. İstasyonlar ve yerleşim planı

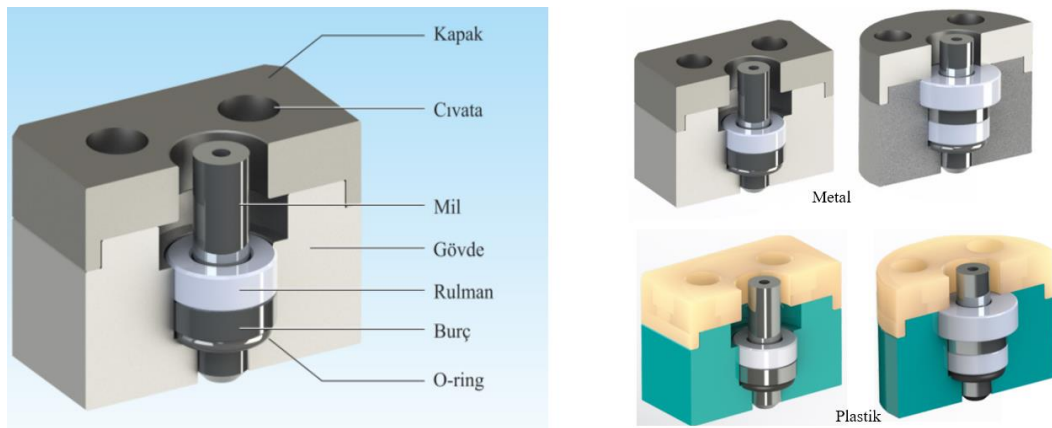


Şekil 2. İstasyonlar ile ana kontrol merkezi arası haberleşmesine ait blok diyagram

Bu istasyonlar dört farklı iş parçasının türüne ve şekline bağlı olarak işlemler gerçekleştirmek ve nihai bir ürün elde etmek üzerine planlanmıştır. İstasyonlarda işlenecek iş parçaları, kare/dairesel metal ve plastik yapıda olmak üzere dört farklı şekildedir. Şekil 3'de iş parçaları verilmiştir.



Şekil 3. Esnek üretim sisteminde kullanılan iş parçaları

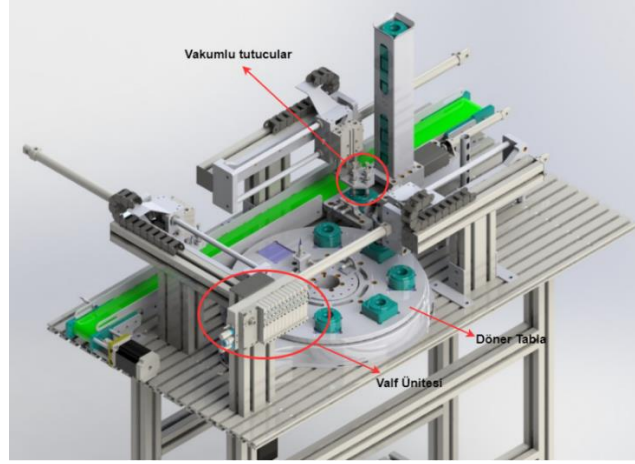


Şekil 4. Montaj işlemi bitmiş iş parçasının kesit görüntüsü

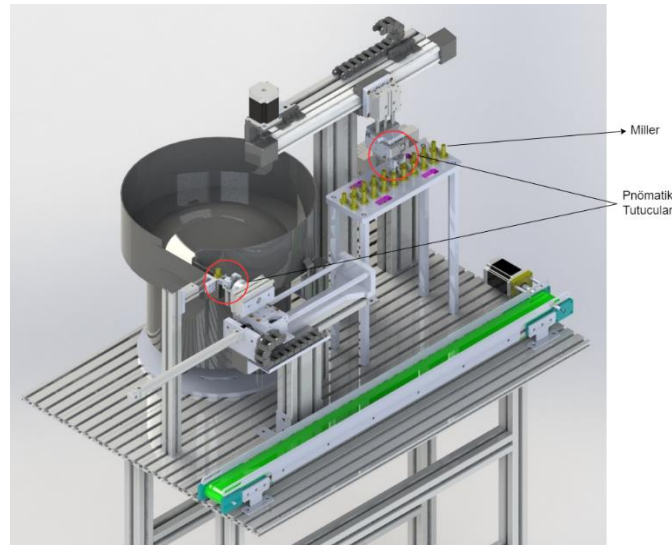
Şekil 4'te iş parçalarına montaj işleminde kullanılan ürünlerin iş parçası üzerindeki işlem sıralamasına ait görsel verilmiştir. İşlem sıralaması; (i) oring yerleşimi, (ii) mil yerleşimi, (iii) yüşük (burç) yerleşimi, (iv) rulman çakma işlemi, (v) kapak montajı şeklindedir.

2.1. Oring İstasyonu

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. İstasyona alınacak olan ürünler seçilir ve lineer çift etkili silindire bağlı olan vakum pistonu ile döner tablaya transfer edilir. 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. 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. Şekil 5'te oring istasyonun görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5. Oring istasyonu



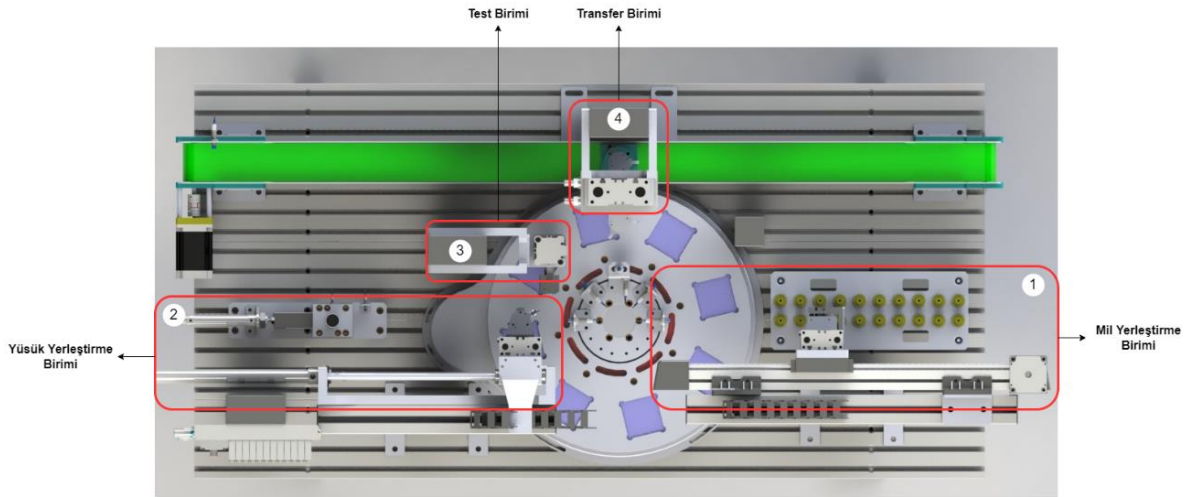
Şekil 6. Vibrasyon istasyonu

2.2 Vibrasyon İstasyonu

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 dizilir. Vibrasyon istasyonu Şekil 6'da verilmiştir.

2.3 Mil ve Yüyük Yerleştirme İstasyonu

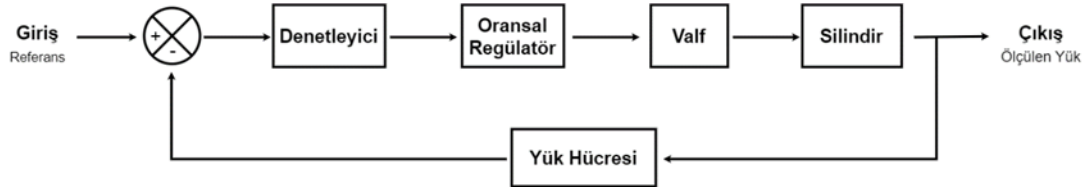
İlk olarak istasyona alma işlemi lineer hareket eden çift etkili silindire bağlı olan döner silindirlerdeki iki adet gripper tutucu sayesinde gerçekleştirilir (Şekil 7, No 4). Magazine bir önceki istasyonda dizilmiş olan miller sırasıyla iş parçalarının içerisine yerleştirilir. Lineer actuator-eyleyici yardımıyla pozisyonlama yapılarak miller daha önceden belirlenen noktalardan gripper tutucu yardımıyla tutularak iş parçalarına yerleştirilir (Şekil 7, No 1). Lineer çift etkili silindire bağlı bulunan gripper yardımı ile yüyükler tutularak iş parçalarının içerisine yerleştirilir (Şekil 7, No 2). Yerleştirme işleminin ardından döner tabla 45 derece saat yönünde dönerek bir sonraki birime iş parçasını aktarır. Lineer silindir iş parçası üzerine kapanması ile belirli süreli bir basınç sızdırmazlık testine tabi tutulur (Şekil 7, No 3). İşlem sonucunda hatalı montaj yapılmış olan ürünlerin ayrıştırılması sağlanır. Mil ve yüyük yerleştirme istasyonu Şekil 7'de verilmiştir.



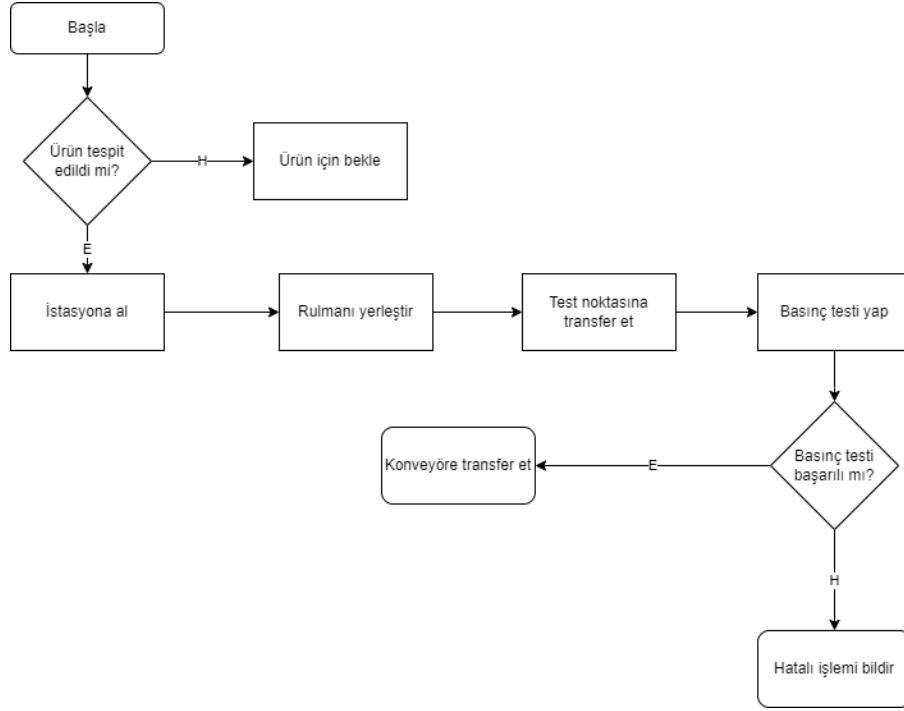
Şekil 7. Mil ve yüyük yerleştirme istasyonu

2.4 Rulman Çakma İstasyonu

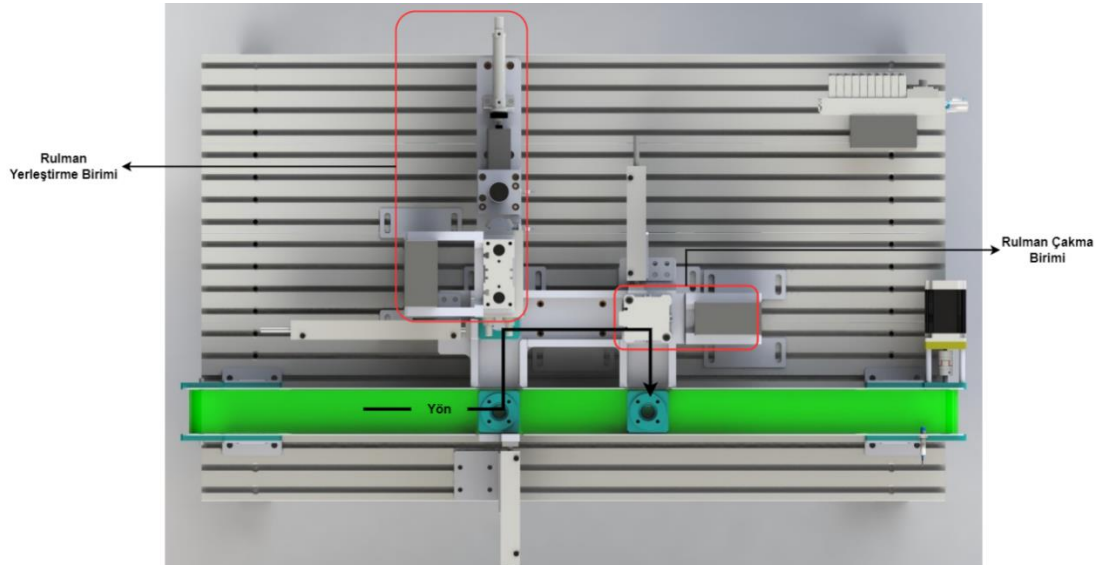
Geliştirilen deney setinin dördüncü istasyonu olan rulman çakma istasyonunda iş parçalarındaki millere rulman geçirme ve baskı kuvvetiyle istenen ölçüde çakma işlemi gerçekleştirilir. Çift etkili silindir ile iş parçaları istasyona alınır. Döner silindire bağlı pnömatik tutucular ile rulman merkezdeki milin çevresine yerleştirilir. Ardından çift etkili lineer 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 8'de geri beslemeli baskı kontrol sisteminin blok diyagramı, Şekil 9'da bu istasyonun akış şeması, Şekil 10'da ise istasyon görselinin üstten görünüşü verilmiştir.



Şekil 8. Geri beslemeli baskı kontrol sisteminin blok diyagramı



Şekil 9. Rulman çakma istasyonu akış şeması

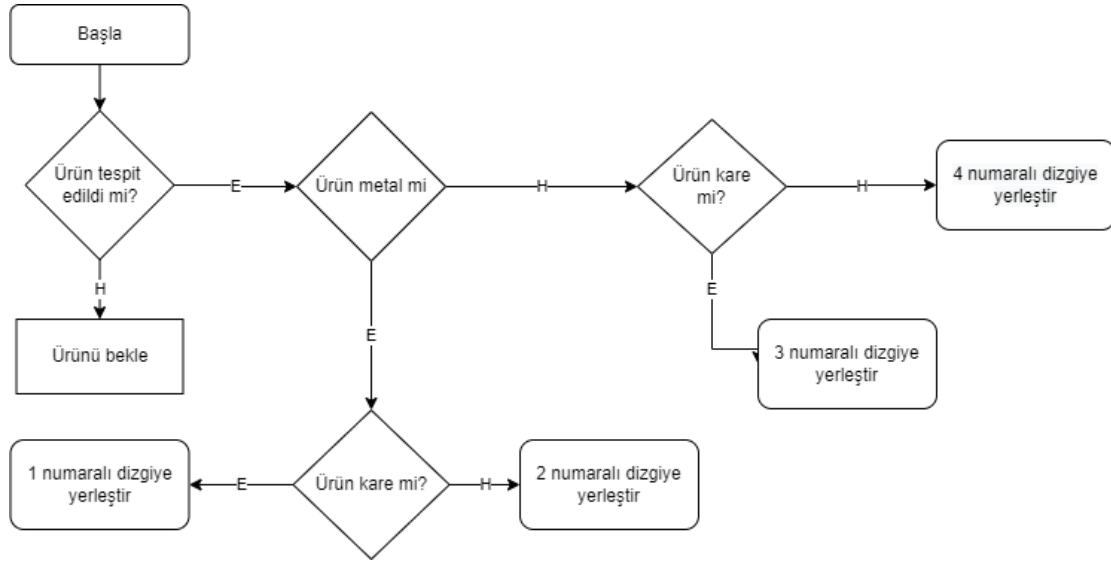


Şekil 10. Rulman çakma istasyonu

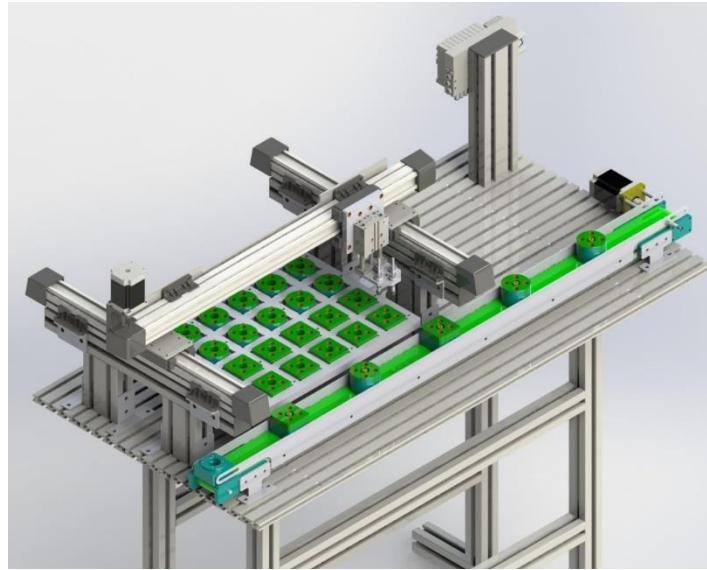
2.5. Kapak Yerleştirme İstasyonu

Bu istasyonda konveyör banttın 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 eksen

hareket eden elektrikli eyleyici ile pozisyonlanır. Böylece iş parçalarının kapakları yerleştirilerek bir sonraki istasyona transfer edilir. Şekil 11’de kapak yerleştirme istasyonu akış şeması, Şekil 12’de ise istasyon görünümü yer almaktadır.



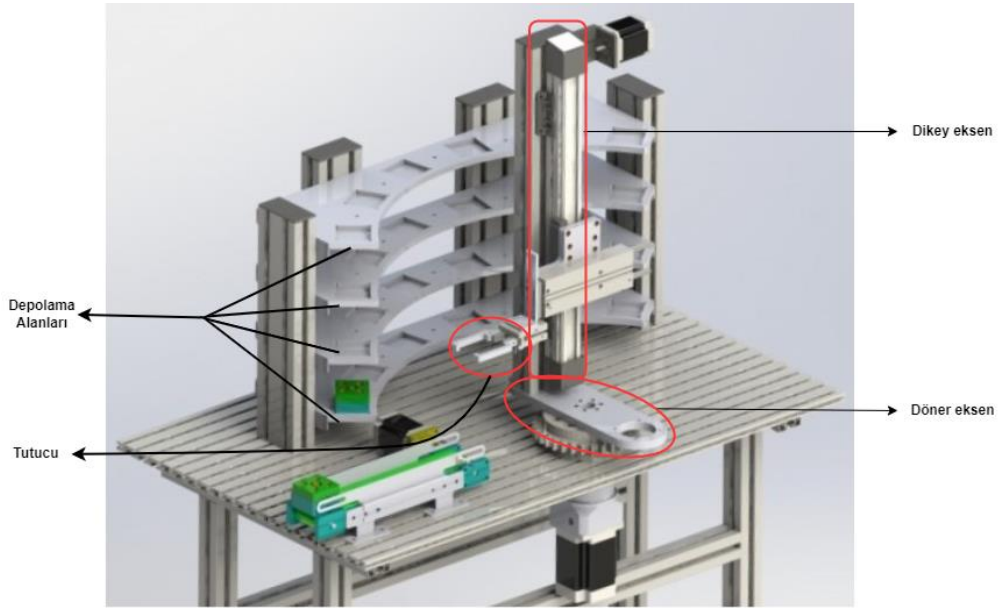
Şekil 11. Kapak yerleştirme istasyonu iş akış şeması



Şekil 12. Kapak yerleştirme istasyonu

2.6. Otomatik Depolama ve Boşaltma İstasyonu

Esnek üretim sistemlerinde 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, deney setinde bu işlevi yerine getirmektedir. 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 yere yerleştirilir. Böylece işlemi bitmiş ürünlerin otomatik olarak depolanması yapılmış olur. Şekil 13’de istasyonun görseli verilmiştir.

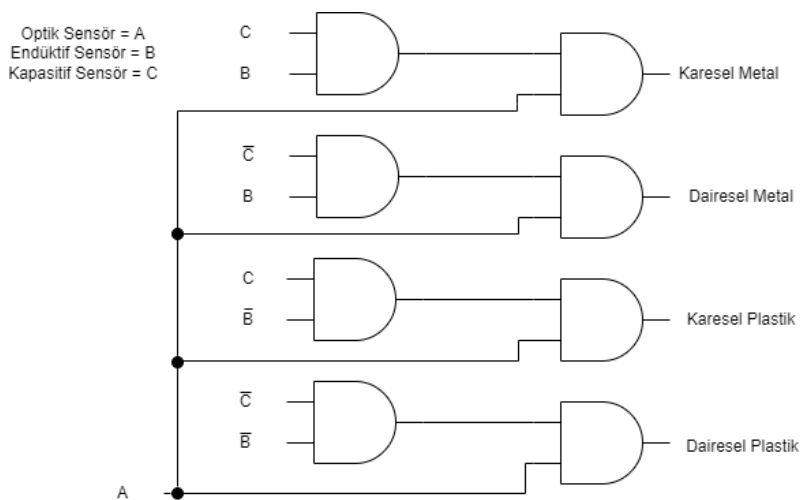


Şekil 13. Otomatik depolama ve boşaltma istasyonu

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. İş Parçalarının Tespiti

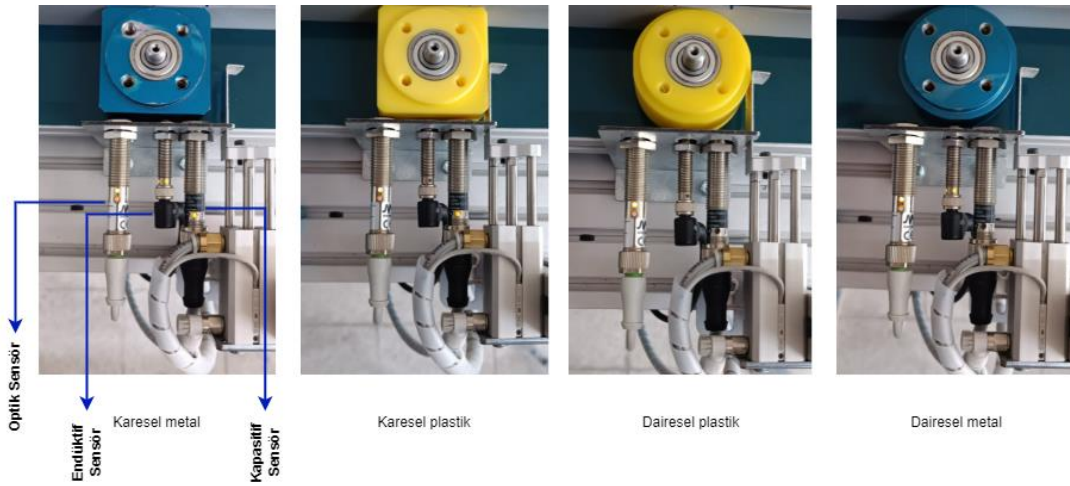
İş parçalarının tespitinde ; (i) optik, indüktif ve kapasitif algılayıcılar ve (ii) kamera kullanılarak görüntü işleme yöntemi ile ürün tespiti olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmıştır. İş parçaları, istasyonların çeşitli noktalarında tespit ve ayırma işlemine tabi tutulmaktadır. Örnek olarak istasyon 5’te ürünlerin şekli ve yapısı tespit edilerek uygun olan kapakların yerleştirilme işlemi gerçekleştirilmektedir. 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 14’de ürün tespitinde kullanılan yöntemin lojik şeması verilmiştir. Tablo 1’de iş parçasına bağlı olarak çıkışı veren algılayıcıların tablosu verilmiştir.



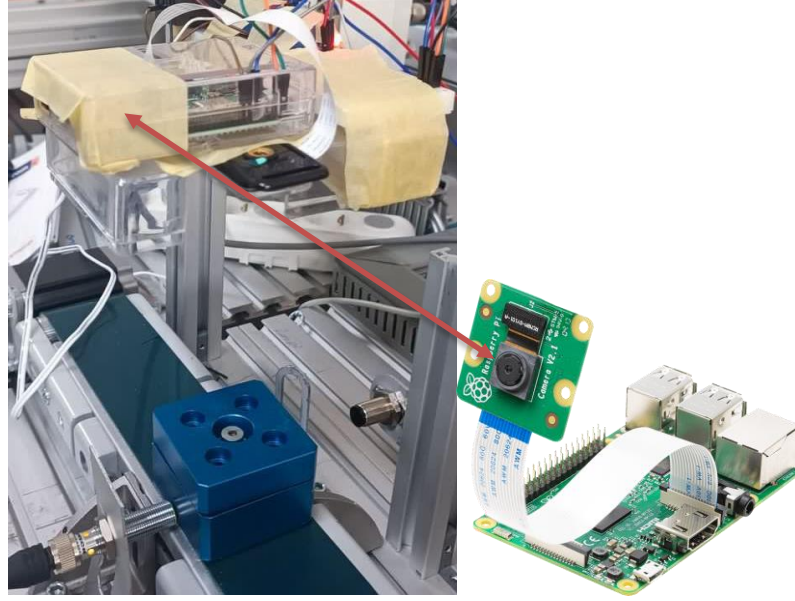
Şekil 14. Ürün tespitinde kullanılan algılayıcıların lojik bağlantı şeması

Tablo 1. Ürünlerin tespiti için algılayıcı çıkış durumları

	Optik Sensör	İndüktif Sensör	Kapasitif Sensör
Kare Metal	✓	✓	✓
Daire Metal	✓	✓	✗ (dairesel yapıdan dolayı cisme uzak olduğundan)
Kare Plastik	✓	✗	✓
Daire Plastik	✓	✗	✗ (dairesel yapıdan dolayı cisme uzak olduğundan)

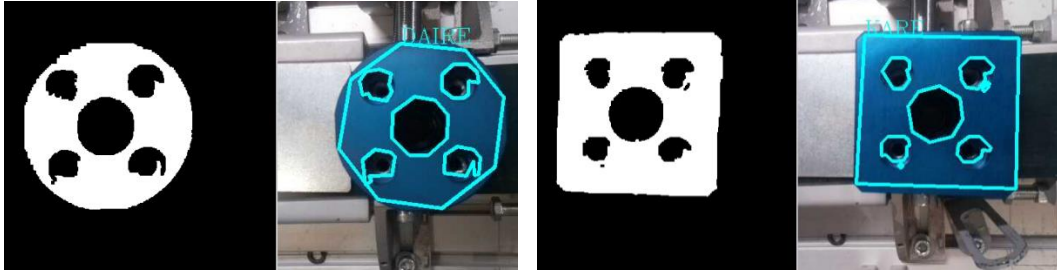
**Şekil 15.** Ürün tespit noktasında algılayıcılar ve iş parçalarının görüntüsü

Görüntü işleme ile iş parçalarının tespiti üç aşamada yapılmaktadır. İlk olarak kameranın görüntü açısına giren iş parçası optik algılayıcı ile tespit edilmektedir. Aynı zamanda indüktif algılayıcı kullanılarak iş parçasının metal olup olmadığı bilgisi kontrol edilmektedir. Cisimden yansımali optik algılayıcı üzerinden Raspberry Pi girişine dijital sinyal bilgisi iletilerek iş parçasının geldiği ve tespit için hazır olduğu bilgisi gönderilmektedir. İş parçası tespiti, OpenCV kütüphanesi kullanılarak Python programlama ortamında gerçekleştirilmiştir. Kamradan alınan anlık görüntü üzerinde gerekli maskeleme ve filtreleme işlemlerinden sonra oluşan siyah beyaz görüntü ile kenar tespiti yapılmıştır. 4 adet kenar tespit edilen iş parçaları kare olarak adlandırılırken 4 adetten fazla kenar tespit edilen iş parçaları ise daireli olarak tanımlanmıştır. Şekil 16'da görüntü işleme yöntemi ile iş parçası tanımlamasına ait bir ekran görüntüsü verilmiştir.



(a) Uygulama Görseli

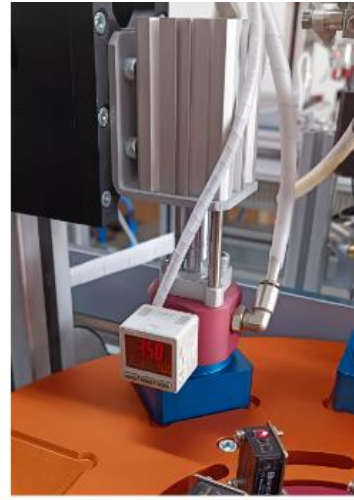
(b) Raspberry Pi ve Kamera



Şekil 16. Deney setinde görüntü işleme yöntemi ile iş parçası tanımlaması



(a) İşlem öncesi



(b) İşlem sonrası

Şekil 17. Sızdırmazlık testi görüntüsü

3.2. Basınç ve Sızdırmazlık Testi

Cisimden yansımali optik algılayıcı ile istenen noktaya ulaşan iş parçasının tespit edilmesiyle basınç ve sızdırmazlık testi başlatılmaktadır. Silindir üzerine yerleştirilmiş olan konum algılayıcıları ile silindirin ileri pozisyonda olduğu tespit edilir ve farklı bir valf tetiklenerek basınçlı hava iş parçasının içine yönlendirilir. Ekran üzerinden belirlenen süre kadar basınç iş parçasına uygulanır.

Belirlenen süre içerisinde istenen basınç değerine ulaşılır ve basınç değeri sabit kalırsa işlem başarılı olarak değerlendirilir. Başarısız olan işlem görsel ve sesli uyarı ile kullanıcıya bildirilir. Şekil 17’de sızdırmazlık testinin uygulama görüntüsü verilmiştir.

3.3. Baskı ve Rulman Çakma İşlemi

Bu istasyonda yer alan yük hücresi (load-cell) ve oransal regülatör Şekil 8’de gösterilen kapalı çevrimli denetim sistemi yapısında çalışmaktadır. Geri besleme elamanı olarak kullanılan yük hücresinden alınan 0-10V bilgisine göre oransal regülatör kontrol edilmektedir. İstenen süre içerisinde başarısız sonuçlanan işlem görsel ve sesli uyarı ile kullanıcıya bildirilmektedir. Şekil 18’de rulman çakma işlemine ait deney seti ekipmanı gösterilmiştir.



Şekil 18. Rulman çakma ünitesi

Deney setinin tüm istasyonlarının birlikte yer aldığı resim Şekil 19’da verilmiştir. Burada tüm istasyonlar ana kontrol ünitesi ile birlikte görülmektedir. Deney setindeki tüm çalışma senaryoları farklı istasyonların bir araya getirilmesi, yerlerinin değiştirilmesi vb. şekilde oluşturularak çeşitli çalışma senaryoları oluşturulabilmektedir.

4. SONUÇLAR

Elektrik, Elektronik, Otomasyon, Makine ve Mekatronik gibi teknik bölümlerde öğrenim gören öğrencilerin dijital dönüşüm süreçlerini içeren ve esnek üretim prosesleri barındıran nitelikli eğitim setlerini kullanarak deneyim kazanmaları sağlanarak endüstriye hazır bulunuşluk düzeylerinin artırılması günümüzde daha da önemli hale gelmiştir. Bu çalışmada sunulan deney setinde farklı ürünleri temsil etmek için yapı ve şekil itibarıyla birbirinden farklı 4 adet iş parçası kullanılarak bir dizi üretim işlemleri benzetimi yapılmıştır. Bu çalışma ile fabrikalarda üretim modelini sembolize eden esnek üretim sistemi tasarlanmıştır.



Şekil 19. Tasarlanan esnek üretim sistemi deney seti

Aşağıda sıralanan konuların uygulamaları bu çalışma kapsamında geliştirilen deney seti kullanılarak gerçekleştirilebilir.

- Dağıtık ve merkezi kontrol uygulamaları,
- Üretim sistemleri arasında veri 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,
- Doğrusal ve döner eksenli pnömatik silindir uygulamaları,

- Vakum teknolojisi ve uygulamaları,
- HMI panel tasarımı ve görsel kullanıcı arayüzü oluşturma,
- Basınç altında sızdırmazlık testi ile üretimde kalite kontrol uygulaması,
- Yük hücresi 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,
- Dağıtık/Uzak giriş çıkış modüllerinin kullanılması,
- Farklı yapıda üretim senaryoları oluşturma ve PLC programlama.

Deney setinin geliştirilmesi süreçlerinde dijitalleşme, veri analizi, görselleştirme, iş parçaları için izlenebilirlik zincirinin oluşturulması gibi özellikle yazılım süreçlerine yönelik uygulamalar sisteme entegre edilebilir.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, sorumlu yazar Yakup Yasin ŞAHİN'in Yüksek Lisans tez çalışması kapsamında ve Modül Modern Eğitim Teknolojileri A.Ş firmasının desteği ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada sunulan deney seti için Modül Modern Eğitim Teknolojileri A.Ş firması KOSGEB'ten Ür-Ge desteği almıştır. Katkılarından dolayı KOSGEB Manisa İl Müdürlüğü'ne ve Modül Modern Eğitim Teknolojileri A.Ş'ye teşekkür ederiz.

7. ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazar(lar), bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

8. YAZAR KATKISI

Yakup Yasin ŞAHİN çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi, Sezai TAŞKIN ve Faruk KARTAL tasarım süreçlerinin geliştirilmesi, genel konseptin doğrulanmasında çalışmaya katkı sağlamışlardır.

9. KAYNAKLAR

- Bildstein A., Seidelmann, J., Endüstri 4.0 Üretimine Geçiş, Automatisierung und logistik, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2014.
- Cronin, C., Awasthi, A., Conway, A., O'Riordan, D., Walsh, J., Design and development of a material handling system for an autonomous intelligent vehicle for flexible manufacturing, Procedia Manufacturing, 51, 493-500, 2020.
- Erdil A., Manufacturing-Production systems and their importance:evaluation of flexible manufacturing systems, European Journal of Science And Technology, 29, 331-342, 2021.
- Gönen S., Çelik M., Esnek üretim sistemleri uygulayan işletmelerde üretim maliyetlerinin değerlendirilmesi, Dergipark, 1(4), 133-143, 2004.

- Jin X., Wu X., Yu L., Intelligent manufacturing system based on big data and deep learning. *Engineering Science*, 23(6), 60-68, 2021.
- Li Y., Liu X., Wang F., Yang Y., Real-time monitoring and fault diagnosis of production processes in smart manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 64, 408-420, 2022.
- Alszer S., Krysrek K. Modular, didactic flexible manufacturing system - case study, 4th International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR), Auckland, 2018.
- Sackey S. M., Bester A., Adams D., Industry 4.0 learning factory didactic design parameters for industrial engineering education in South Africa, *South African Journal of Industrial Engineering*, 1(28),114-124, 2017.
- Taşkın S., MPS modüler üretim sisteminin bilgisayar destekli gerçek zamanlı kontrolü ve teknik eğitime uygulanması, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2007.
- Wang L., Lu Y., Cao W., Hu G., Intelligent manufacturing systems with digital twin in industry 4.0. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 63, 101921, 2020.
- 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*,1-40, 2021.
- Yabanova I., Esnek üretim sisteminin gerçek zamanlı uzaktan erişimli kontrolü ve mekatronik eğitimine uygulanması, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2011.
- Yeni sanayi devrimi: akıllı üretim sistemleri teknoloji yol haritası, Tübitak, 2016.
- Zhang Hu, Xiong Liu, Dong Li, Research and practice of lightweight digital twin speeding up the implementation of flexible manufacturing systems, *IEEE 1st International Conference on digital Twins and Parallel Intelligence (DTPI)*, Beijing, 2021.