

T.C.  
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ  
HENDEK MESLEK YÜKSEKOKULU  
MAKİNE VE METAL TEKNOLOJİLERİ BÖLÜMÜ  
İMALAT YÜRÜTME SİSTEMLERİ OPERATÖRLÜĞÜ PROGRAMI

**ÜRETİMDE KULLANILAN HMI PANELLERİN  
GÖREVLERİ ve MES SİSTEMLERİYLE ETKİLEŞİMİ**

**Hazırlayan**

**Muhammed Arda SARI**

**24231401016**

**Danışmanı : Öğretim Görevlisi Serkan MUTLU**

**Aralık 2025**

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	i
<b>SEMBOLER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....</b>	ii
<b>1. GİRİŞ .....</b>	1
<b>2. HMI VE MES SİSTEMLERİNİN TEKNİK ALTYAPISI .....</b>	2
2.1. HMI (İnsan Makine Arayüzü) Teknolojisi	
2.1.1. HMI Donanım ve Yazılım Yapısı	
2.1.2. Operatör Açılarından HMI Kullanım Alanları	
2.2. ISA-101 Standardı ve Yüksek Performanslı HMI Tasarımı	
2.2.1. Durumsal Farkındalık (Situational Awareness)	
2.2.2. Ergonomik Renk ve Grafik Kullanımı	
2.3. MES Fonksiyonları 2.4. Endüstride Yaygın Kullanılan HMI Panel Markaları	
2.4.1. Siemens SIMATIC HMI Paneller	
2.4.2. Delta DOP Serisi Paneller	
2.4.3. Mitsubishi GOT Serisi	
<b>3. HMI VE MES ENTEGRASYONU VE VERİ AKIŞI .....</b>	8
3.1. Haberleşme Protokollerı ve Bağlantı	
3.2. İş Emri ve Reçete Yönetim Süreci	
3.3. Canlı Veri Toplama ve Raporlama	
3.4. Senaryo: Bir Arıza Durumunun Yönetimi	
3.5. Siber Güvenlik ve IEC 62443 Standardı ( <i>Mevcut başlığı genişlettik</i> )	
3.5.1. Endüstriyel Güvenlikte CIA Üçgeni	
3.5.2. Savunma Derinliği (Defense in Depth) Stratejisi	
3.5.3. HMI ve MES Sistemlerinde Fidye Yazılımı Tehditleri	
<b>4. YATIRIM GERİ DÖNÜŞÜ (ROI) ANALİZİ .....</b>	9
4.1. Yatırım Maliyet Kalemleri ve Kazançlar	
4.2. Amortisman Süresi Hesaplama Tablosu	
<b>5. SEKTÖREL UYGULAMA ÖRNEKLERİ VE VAKA ANALİZLERİ .....</b>	10
5.1. Vaka Analizi 1: Otomotiv Endüstrisi (Gövde Kaynak Hattı)	
5.2. Vaka Analizi 2: Gıda ve İçecek Sektörü (Dolum Hattı)	
<b>6. GELECEK TRENDLERİ .....</b>	11
6.1. Mobilite ve Tblet HMI Kullanımı	
6.2. Artırılmış Gerçeklik (AR) Destekli Bakım	
6.3. Lights-Out Manufacturing (Karanlık Fabrikalar)	
<b>7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME .....</b>	11
<b>KAYNAKÇA .....</b>	12
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	13

## **ÖZET**

Endüstriyel üretim süreçlerinde verimliliğin artırılması ve tam izlenebilirliğin sağlanması amacıyla dijital dönüşüm hız kazanmıştır. Bu dönüşümün merkezinde, saha seviyesindeki kontrolü sağlayan İnsan Makine Arayüzü (HMI) panelleri ile işletme seviyesindeki yönetimi sağlayan İmalat Yürütme Sistemleri (MES) yer almaktadır.

Bu çalışmada, HMI panellerinin teknik özellikleri ve MES sistemleri ile entegrasyonu detaylı olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında ISA-101 standardına göre yüksek performanslı arayüz tasarıımı, IEC 62443 standarı çerçevesinde endüstriyel siber güvenlik tehditleri ve işletmeler için Yatırım Geri Dönüşü (ROI) analizleri ele alınmıştır.

Sonuç olarak, doğru tasarlanmış bir HMI-MES entegrasyonunun operatör hatalarını azalttığı, veri güvenliğini sağladığı ve işletme verimliliğini (OEE) önemli ölçüde artırdığı ortaya konmuştur.

## **SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ**

ERP : Kurumsal Kaynak Planlama (Enterprise Resource Planning)

HMI : İnsan Makine Arayüzü (Human Machine Interface)

JIT : Tam Zamanında Üretim (Just In Time)

MES : İmalat Yürütmeye Sistemi (Manufacturing Execution System)

MQTT : Mesaj Kuyruğu Telemetri Taşıma (Message Queuing Telemetry Transport)

OEE : Genel Ekipman Etkinliği (Overall Equipment Effectiveness)

OPC UA : Açık Platform İletişimi Birleşik Mimarisi (Open Platform Communications Unified Architecture)

PLC : Programlanabilir Mantık Denetleyici (Programmable Logic Controller)

SCADA : Merkezi Denetim ve Veri Toplama (Supervisory Control and Data Acquisition)

TCP/IP : İletim Kontrol Protokolü / İnternet Protokolü

ISA : Uluslararası Otomasyon Topluluğu (International Society of Automation)

DMZ : Arındırılmış Bölge

OT : Operasyonel Teknoloji

IT : Bilgi Teknolojileri

IOT: Nesnelerin İnternet

IIOT: Endüstriyel Nesnelerin İnternet

ROI : Yatırım Geri Dönüşü

## **1. GİRİŞ**

Günümüz imalat sanayisinde rekabet koşulları giderek ağırlaşmakta, işletmeler "sıfır hata" ve "tam zamanında üretim" (JIT) hedeflerine ulaşmak için teknolojiyi yoğun bir şekilde kullanmaktadır. Geleneksel üretim yöntemlerinde operatörler, makine başında işlemeleri manuel butonlarla yönetmekte ve üretim verilerini kâğıt formlara kaydetmekteydi. Ancak bu yöntem, veri güvenilirliği ve analiz hızı açısından günümüz ihtiyaçlarını karşılamaktan uzaktır. Bu sorunun çözümü, akıllı arayüzler ve entegre sistemlerinde yatkınlıkta.

Bu bağlamda İnsan Makine Arayüzü (HMI), operatör ile makine arasındaki iletişimini sağlayan görsel bir köprü görevi görürken; İmalat Yürütmeye Sistemi, fabrikanın dijital ikizi olarak tüm süreci yönetmektedir. Bu iki sistemin birbirinden bağımsız çalışması düşünülemez. Operatörün HMI üzerindeki bir dokunuşu, arka planda MES sistemi için hayatı bir veri oluşturmaktadır.

Bu ödev çalışmasının amacı, HMI panellerinin sahadaki teknik işlevlerini detaylandırmak ve bu donanımların MES yazılımları ile nasıl haberleştiğini, veri alışverişinin hangi protokollerle ve yöntemlerle sağlandığını kapsamlı bir şekilde incelemektir. Çalışmada ayrıca, doğru kurulmuş bir HMI-MES entegrasyonunun işletme verimliliğine (OEE) olan etkileri de tartışılmaktadır.

## **2. HMI VE MES SİSTEMLERİNİN TEKNİK ALTYAPISI**

Bu bölümde, üretimde kullanılan temel bileşenlerin yapısal özellikleri ve fonksiyonları literatürdeki tanımlar ışığında detaylandırılacaktır.

### **2.1. HMI (İnsan Makine Arayüzü) Teknolojisi**

HMI, endüstriyel otomasyon sistemlerinde kullanıcının makine veya proses ile etkileşime girmesini sağlayan elektronik birimlerdir.

#### **2.1.1. HMI Donanım ve Yazılım Yapısı**

HMI panelleri genellikle zorlu endüstriyel ortamlara dayanıklı, dokunmatik ekranlı endüstriyel bilgisayarlardır. Yazılım tarafında ise Tag mantığı ile çalışırlar. PLC'deki (Programlanabilir Mantık Denetleyici) hafıza alanları HMI yazılımında tanımlanır ve ekrandaki butonlara veya grafiklere bağlanır. Örneğin, bir motorun sıcaklık verisi PLC'den okunarak HMI ekranında anlık grafik olarak çizdirilir.

#### **2.1.2. Operatör Açısından HMI Kullanım Alanları**

Bir makine operatörü için HMI paneli bu temel işlevleri yerine getirir:

- Sistem Kontrolü: Start, Stop, Reset, Acil EMG gibi temel komutların verilmesi.
- Parametre Girişi: Üretilen parçanın boyu, ağırlığı, işlem süresi gibi değişkenlerin ayarlanması.
- Reçete Yönetimi: Farklı ürün tipleri için önceden kaydedilmiş ayar setlerinin hafızadan çağrılması.
- Alarm ve Olay Görüntüleme: Makine arızalarının nedeninin, zamanının ve türünün operatöre bildirilmesi.

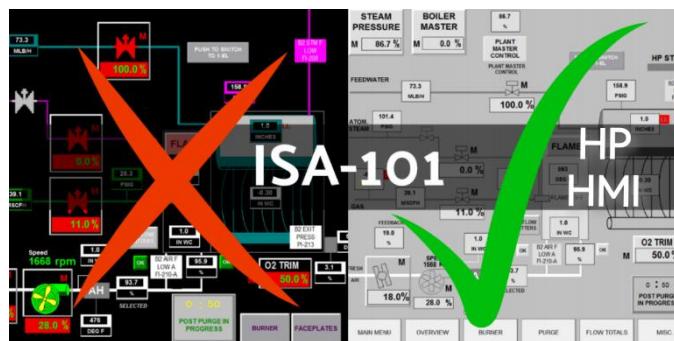
## 2.2. ISA-101 Standardı

Uluslararası Otomasyon Topluluğu (International Society of Automation - ISA) tarafından geliştirilen ve endüstriyel süreçlerde kullanılan İnsan-Makine Arayüzlerinin (HMI) tasarımı, uygulanması ve yönetimi için oluşturulmuş bir standarttır.

### 2.2.1. ISA-101 Temel Prensipleri

**Durumsal Farkındalık (Situational Awareness):** Operatör ekrana baktığında sadece sayıları değil, sürecin gidişatını bir bakışta anlamalıdır.

**Renk Kullanımı:** Geleneksel karmaşık ve çok renkli ekranlar yerine, gri tonların ağırlıkta olduğu sadelik tercih edilir. Kırmızı, sarı gibi dikkat çekici renkler sadece alarm ve arıza durumlarında kullanılır.



**Veri Gösterimi:** Ham sayısal değerler yerine, verinin limitler dahilinde olup olmadığını gösteren analog barlar, trend grafikleri ve "radar chart"lar kullanılır.

## 2.3. MES Fonksiyonları

MES, Kurumsal Kaynak Planlama (ERP) sistemleri ile fabrika sahası arasındaki bilgi akışını sağlayan ara katmandır. ISA-95 standardına göre MES'in temel fonksiyonları şunlardır:

- Kaynak Yönetimi: Makine, personel ve malzeme durumlarının takibi.
- Detaylı Çizelgeleme: Hangi işin hangi makinede, hangi sırada yapılacağının planlanması.
- Kalite Yönetimi: Üretim sırasında alınan numune ölçümlerinin standartlara uygunluğunun denetlenmesi.
- Performans Analizi: Makine duruş sürelerinin analizi ve Genel Ekipman Etkinliği (OEE) raporlaması

## 2.4. Endüstride Yaygın Kullanılan HMI Panel Markaları ve Özellikleri

Türkiye imalat sanayisinde, işletmenin ölçeğine ve kullanılan PLC sisteminin markasına göre farklı HMI panelleri tercih edilmektedir. Bir imalat yürütme sistemleri operatörünün, farklı arayzlere aşina olması yetkinlik açısından önemlidir.

### 2.4.1. Siemens SIMATIC HMI Paneller

Avrupa ve Türkiye pazarında en yaygın kullanılan markalardan biridir. Özellikle "Comfort" serisi paneller, yüksek çözünürlüklü ekranları ve zorlu endüstriyel koşullara dayanıklılığı ile bilinir. TIA Portal yazılımı ile programlanır ve PROFINET üzerinden hızlı veri akışı sağlar.



### 2.4.2. Delta DOP Serisi Paneller

Fiyat/performans oranı nedeniyle KOBİ'lerde ve makine imalatçılarında sıkça tercih edilir. Kullanıcı dostu arayüz yazılımı (DOPSoft) ve geniş haberleşme portu desteği (RS-485, Ethernet) sayesinde farklı marka PLC'ler ile kolayca entegre olabilir.



### 2.4.3. Mitsubishi GOT Serisi

Özellikle otomotiv ve ağır sanayi sektöründe, Mitsubishi PLC'lerin kullanıldığı hatlarda standarttır. "GOT" (Graphic Operation Terminal) serisi, yüksek dokunmatik hassasiyeti ve gesture (parmak hareketi) kontrol özellikleri ile operatörlere tablet benzeri bir kullanım deneyimi sunar.



### **3. HMI VE MES ENTEGRASYONU VE VERİ AKIŞI**

Bu bölümde, veri akışının nasıl gerçekleştiği ve sistemlerin birbirini nasıl beslediği incelenmiştir.

#### **3.1. Haberleşme Protokollerı ve Bağlantı**

HMI ve MES sistemleri genellikle Ethernet tabanlı ağlar üzerinden haberleşir. Endüstriyel ortamda veri güvenliği ve hızı kritik olduğu için OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture), Modbus TCP/IP, MQTT gibi standart protokoller kullanılır. HMI paneli, sahadaki sensörlerden gelen veriyi işleyerek MES sunucusuna iletir.

#### **3.2. İş Emri ve Reçete Yönetim Süreci**

Üretim süreci, MES sisteminden gelen "İş Emri" ile başlar.

- İş Emri Gönderimi:** Planlama departmanı, MES üzerinden üretim emrini yayınlar. Bu emir, ilgili makinenin HMI ekranına düşer.
- Operatör Onayı:** Operatör, HMI ekranında "Bekleyen İşler" listesini görür ve sıradaki işi seçerek "Başlat" butonuna basar.
- Otomatik Reçete Yükleme:** İş emri seçildiğinde, o ürüne ait makine ayarları MES veritabanından çekilerek HMI üzerinden makineye yüklenir. Bu özellik, operatörün manuel giriş hatası yapmasını engeller.

#### **3.3. Canlı Veri Toplama ve Raporlama**

HMI panelinden MES sistemine aktarılan kritik veriler sınıflandırılmıştır.

Veri Kategorisi	Akış Yönü	Veri İçeriği ve Açıklama
<b>Üretim Planlama</b>	MES HMI	İş emri numarası, hedef üretim miktarı, ürün teknik resmi ve termin süresi operatöre iletilir.
<b>Makine Ayarları</b>	MES HMI	Ürüne özel reçete parametreleri makineye gönderilir.
<b>Personel Takibi</b>	HMI MES	Operatör sicil numarası ile giriş yaparak, üretimi kimin gerçekleştirdiği sisteme işlenir.
<b>Üretim Miktarı</b>	HMI MES	Üretilen sağlam parça ve hatalı parça adetleri sensörlerden okunarak anlık gönderilir.
<b>Kalite Verileri</b>	HMI MES	Hatalı ürün ayrıldığında, operatör HMI üzerinden hata kodunu secer.
<b>Duruş Analizi</b>	HMI MES	Makine durduğunda operatörden bir neden seçmesi istenir
<b>Proses Değerleri</b>	HMI MES	Kritik üretim anındaki sıcaklık ve basınç değerleri kalite onayı için arşivlenir.

### **3.4. Senaryo: Bir Arıza Durumunun Yönetimi**

HMI-MES entegrasyonunun faydasını anlamak için arıza senaryosu incelenebilir.

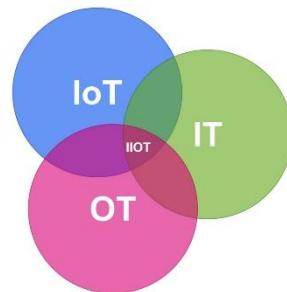
Geleneksel sistemde makine bozulduğunda operatör bakımcıyı arar ve duruş süresi kağıda tahmini olarak yazılırdı. Entegre sistemde ise:

1. Makine arızaya geçtiği anda HMI bunu algılar ve MES sistemine "Duruş Başladı" sinyali gönderir.
2. Operatör HMI ekranından "Arıza Duruşu" seçeneğini işaretler.
3. Sistem otomatik olarak Bakım Departmanına uyarı mesajı gönderir.
4. Arıza giderilip makine tekrar çalıştığında, duruş süresi saniyesi saniyesine MES sistemine kaydedilerek OEE raporlarına yansıtılır.

<b>Adım</b>	<b>Olay / İşlem</b>	<b>Sorumlu Birim/Cihaz</b>	<b>Sistem Tepkisi ve Veri Akışı</b>
<b>1</b>	Arıza Tespiti	PLC /Sensörler	Sensör hatayı algılar, PLC makineyi durdurur ve HMI ekranına "Alarm" sinyali gönderir.
<b>2</b>	Duruş Başlatma	HMI Paneli	HMI, MES sistemine "Makine Durdu" (Status: STOP) verisini saat ve tarih etiketiyle iletir.
<b>3</b>	Neden Girişi	Operatör	Operatör panelden "Arıza Duruşu" seçeneğini ve ilgili hata kodunu (Örn: Motor Aşırı Isındı) seçer.
<b>4</b>	Bakım Çağrısı	MES Sistemi	Sistem otomatik olarak bakım ekibinin tabletine veya ekranına "Acil Bakım Talebi" bildirimi düşürür.
<b>5</b>	Müdahale	Bakım Personeli	Arıza giderilir. Bakımcı panelden veya kendi terminalinden "Arıza Giderildi" onayını verir.
<b>6</b>	Kayıt ve OEE	MES Sistemi	Makine tekrar çalıştığı anda geçen süre "Plansız Duruş" olarak veritabanına işlenir ve OEE (Kullanılabilirlik) puanı güncellenir.

### 3.5 Siber Güvenlik ve IEC 62443

Endüstri 4.0 ile birlikte üretim sahalarının (OT - Operasyonel Teknoloji) ofis ağlarına (IT - Bilgi Teknolojileri) bağlanması, siber güvenlik risklerini daha önce hiç olmadığı kadar artırmıştır. Geçmişte "Air Gap" (Hava Boşluğu) yöntemiyle internetten tamamen izole edilen üretim hatları, günümüzde verimlilik analizi ve uzaktan izleme ihtiyaçları nedeniyle ağa bağlanmak zorundadır. Bu durum, HMI panellerini ve MES sunucularını siber saldırılardan açık hedef haline getirmektedir.



HMI panelleri genellikle Windows CE veya Linux tabanlı işletim sistemleri kullanır ve bu cihazların güvenlik güncellemeleri (patch) üretim kesintisi uğramasın diye sık yapılmaz. Bu güvenlik açığı, kötü niyetli yazılımların fabrikaya sızması için bir kapı araları.

#### 3.5.1. Endüstriyel Güvenlikte CIA Üçgeni ve Öncelikler

Bilgi güvenliğinde CIA (Gizlilik, Bütünlük, Erişilebilirlik) üçgeni esas alınır. Ofis ortamında (IT) en önemli unsur "Gizlilik" iken, üretim sahasında (OT) en kritik unsur "Erişilebilirlik"tir (Availability).

- Erişilebilirlik: Bir siber saldırı sonucu MES sisteminin durması, fabrikanın üretim yapamaması ve dakikada binlerce dolar zarar etmesi demektir.
- Bütünlük (Integrity): HMI üzerinden gönderilen reçete verisinin değiştirilmesi (örneğin fırın sıcaklığını 200°C yerine 1000°C girilmesi) fiziksel hasara ve güvenlik risklerine yol açabilir.



### 3.5.2. IEC 62443 Standardı ve "Savunma Derinliği" İlkesi

Endüstriyel otomasyon sistemlerinin güvenliği için dünya genelinde kabul gören standart IEC 62443'tür. Bu standart, güvenliği tek bir duvara (Firewall) emanet etmek yerine, "Savunma Derinliği" (Defense in Depth) stratejisini önerir. Bu stratejiye göre sistem katmanlara ayrılır:

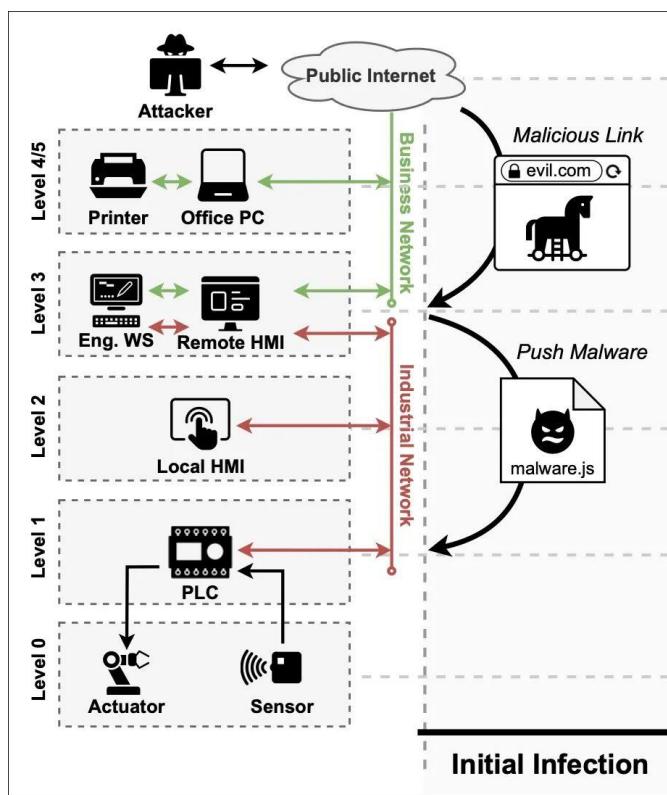
**Fiziksel Katman:** HMI panellerinin USB portlarının kilitlenmesi ve yetkisiz kişilerin panele erişiminin engellenmesi.

**Ağ Katmanı (Zones and Conduits):** Fabrika ağının "Bölgeler"e (Zones) ayrılması. Örneğin, Montaj Hattı ile Boyahane Hattı ağlarının birbirinden izole edilmesi, birine virüs bulaşsa bile diğerine sıçramasını engeller.

**Sistem Katmanı:** MES sunucularında ve HMI panellerinde sadece gerekli servislerin çalıştırılması, gereksiz portların kapatılması.

### 3.5.3. Güncel Tehditler: Fidye Yazılımları

Günümüzde üretim tesislerine yönelik en büyük tehdit fidye yazılımlarıdır. Bu saldırı türünde, saldırganlar MES veritabanını şifreleyerek fabrikanın geçmiş üretim verilerine ve reçetelerine erişimini engeller. Şifreyi çözmek için fidye talep edilir. HMI panelleri bu saldırılarda genellikle giriş kapısı olarak kullanılır; zayıf şifreye sahip bir panelden ağa sızan saldırgan, tüm MES altyapısını kilitleyebilir.



### 3.5.4. Alınması Gereken Güvenlik Önlemleri Tablosu

<b>Varsayılan Şifreler</b>	HMI panellerinin "admin/1234" gibi fabrika çıkış şifreleriyle bırakılması.	Rol Tabanlı Erişim Kontrolü (RBAC) ile her operatöre ayrı kullanıcı adı verilmesi.
<b>Ağ İzolasyonu Eksikliği</b>	Ofis bilgisayarına gelen bir e-posta virüsünün üretim makinelerine sıçraması.	IT ve OT ağları arasına <b>DMZ (Arındırılmış Bölge)</b> kurulması.
<b>Yazılım Güncellemeleri</b>	Eski Windows sürümlerinin güvenlik açıklarının kapatılmaması.	Planlı duruştarda sistem yedeklerinin alınıp güvenlik yamalarının yüklenmesi.

## 4. Yatırım Geri Dönüşü (ROI) Analizi

$$ROI = \frac{\text{Yatırımdan Elde Edilen Kazanç} - \text{Yatırım Maliyeti}}{\text{Yatırım Maliyeti}} \times 100$$

**Örnek Senaryo:** Bir fabrika manuel kağıt sisteminden MES'e geçmek için 50.000\$ harciyor.

### Kazançlar:

- **Kağıt maliyeti tasarrufu:** 2.000\$/yıl
- **Hatalı üretim azalması:** 20.000\$/yıl
- **Duruş süresi azalması:** 40.000\$/yıl

**Toplam Yıllık Kazanç:** 62.000\$

**Sonuç:** Sistem 1 yıldan kısa sürede  $\approx 10$  ayda kendini amorti eder.

## **5. SEKTÖREL UYGULAMA ÖRNEKLERİ VE VAKA ANALİZLERİ**

HMI ve MES entegrasyonunun farklı sektörlerdeki gerçek uygulamaları senaryolaştırılarak incelenmiştir.

**5.1. Vaka Analizi 1: Otomotiv Endüstrisi (Gövde Kaynak Hattı):** Yüksek hacimli üretim yapan, günde 800 araç kapasiteli bir otomobil fabrikası.

**Sorun:** Robotlu kaynak hatlarında anlık duruşların nedeninin tespit edilememesi ve vardiya sonu raporların manuel tutulması nedeniyle %15'e varan verimlilik kayıpları.

**Çözüm:** Hat başındaki HMI göstergeleri, doğrudan merkezi MES sistemine bağlanmıştır.

**Uygulama:** Operatör, kaynak robotu durduğunda HMI ekranında çıkan "Hata Kodu: 304 - Gaz Basıncı Düşük" uyarısını görür. Sistem bu hatayı saniyesinde MES veritabanına işler.

**HMI Arayüzü:** Panellerde "Andon" sistemi dijitalleştirilerek, operatörün malzeme çağrıma butonları dokunmatik ekrana taşınmıştır.

**Sonuç:** HMI üzerinden toplanan verilerle yapılan analizler sonucu, duruşların %40'inin malzeme besleme gecikmesinden kaynaklandığı bulunmuştur. Lojistik süreçleri iyileştirilerek OEE oranı %65'ten %78'e çıkarılmıştır.

**5.2. Vaka Analizi 2: Gıda ve İçecek Sektörü (Dolum Hattı):** Şişelenmiş içecek ve meyve suyu üreten, hijyen standartlarının kritik olduğu bir tesis.

**Sorun:** Ürün değişimlerinde reçete ayarlarının manuel yapılması sonucu hatalı karışım ve etiketleme riskleri.

**Çözüm:** Reçete yönetimli HMI-MES entegrasyonu.

**Uygulama:** MES sistemi, günlük üretim planına göre "Vişne Suyu - 1 Litre" iş emrinin dolum makinesinin HMI paneline gönderir.

**Denetim:** Operatör "Ayarları Yükle" dediğinde; dolum hızı, kapak torku ve etiket pozisyonu otomatik ayarlanır. HMI, ayrıca yıkama işleminin yapılmış yapılmadığını sensörlerden kontrol eder. Yıkama yapılmadıysa MES makinenin çalışmasına izin vermez.

**Sonuç:** Hatalı üretim oranı %3'ten %0.2'ye düşürülmüş ve gıda güvenliği izlenebilirlik tam olarak sağlanmıştır.

## **6.GELECEK TRENDLERİ**

**Mobilite:** Sabit HMI panelleri yerine operatörlerin elindeki tabletler. Operatör makinenin yanına gittiğinde tablet, makineyi NFC ile tanır ve o makinenin ekranını açar.

**Artırılmış Gerçeklik (AR):** Operatör tablet kamerasını elektrik panosuna tutar. Arızalı sigorta ekranda "kırmızı" olarak işaretlenir. Bu, bakım süresini %50 kısaltır.

**Lights-Out Manufacturing (Karanlık Fabrika):** İnsan müdahalesine gerek kalmadan, HMI'ların kendi kendine karar verdiği, robotların çalıştığı, ışıkların kapalı olduğu fabrikalar. MES sistemi burada tek karar vericidir.

## **7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME**

Bu çalışmada, modern üretim tesislerinin vazgeçilmez unsurları olan HMI panelleri ve MES sistemlerinin entegrasyonu detaylı bir şekilde ele alınmıştır. İmalat Yürütmeye Sistemleri Operatörlüğü açısından bakıldığında, bu teknolojilerin birleşimi üretim sahasında büyük değişiklikler yaratmıştır.

Elde edilen bulgular ışığında şu sonuçlara varılmıştır:

- HMI panelleri, operatör hatalarını minimize eden ve iş güvenliğini artıran en önemli donanımdır.
- MES entegrasyonu sayesinde kağıtsız fabrika hedefine ulaşılmakta, veriler manipüle edilmeden doğrudan kaynağından alınmaktadır.
- Reçete yönetiminin otomatikleştirilmesi, ürün kalitesindeki standart sapmaları ortadan kaldırmaktadır.
- Anlık duruş analizleri sayesinde işletmelerin darboğazları tespit etmesi ve verimliliği (OEE) artırması kolaylaşmaktadır.

Gelecekte, Yapay Zeka destekli HMI panellerinin gelişmesiyle birlikte, operatörlere sadece mevcut durumu gösteren değil, olası arızaları önceden tahmin edip öneriler sunan sistemlerin yaygınlaşacağı öngörülülmektedir.

## KAYNAKÇA

- [1] Groover, M. P. (2016). *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing* (4. Baskı). Pearson.
- [2] Almada-Lobo, F. (2016). The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). *Journal of Innovation Management*, 3(4), 16-21. [https://doi.org/10.24840/2183-0606\\_003.004\\_0003](https://doi.org/10.24840/2183-0606_003.004_0003)
- [3] International Society of Automation. (2015). *ANSI/ISA-101.01-2015, Human machine interfaces for process automation systems*. ISA. <https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards>
- [4] Hollifield, B., Oliver, D., Nimmo, I., & Habibi, E. (2008). *The high performance HMI handbook: A comprehensive guide to designing, implementing and maintaining effective HMIs*. PAS.
- [5] Siemens AG. (2023). *MES manufacturing execution system functions and benefits* [White Paper]. Berlin. <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/manufacturing-operations-management.html>
- [6] Özdemir, Y., & Yılmaz, A. (2021). Endüstri 4.0 sürecinde MES ve ERP entegrasyonu. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 150-158. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/saufenbilder>
- [7] Stouffer, K., Pillitteri, V., Lightman, S., Abrams, M., & Hahn, A. (2015). *Guide to industrial control systems (ICS) security* (NIST Special Publication 800-82). National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-82r2>
- [8] International Electrotechnical Commission. (2018). *IEC 62443-4-1: Security for industrial automation and control systems – Part 4-1*. IEC. <https://webstore.iec.ch/publication/59652>
- [9] Kobara, K. (2016). Cyber physical security for industrial control systems and IoT. *IEICE Transactions on Information and Systems*, 99(4), 787-795. <https://doi.org/10.1587/transinf.2015ICI0001>
- [10] International Society of Automation. (2019). *ISA-TR101.02-2019, HMI usability and performance*. ISA. <https://www.isa.org/products/isa-tr101-02-2019-hmi-usability-and-performance>
- [11] MESA International. (2022). *ROI & Justification for Smart Manufacturing* [White Paper]. <https://mesa.org/topics-resources/roi-justification-for-smart-manufacturing/>
- [12] Çelik, T., & Demir, O. (2022). Otomotiv endüstrisinde dijital dönüşüm ve robotik hatlarda veri analitiği. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 37(4), 1890-1905. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gumf>
- [13] Food and Agriculture Organization (FAO). (2023). *Digitalization of food supply chains: Guide to traceability* (Rapor No. 12). Rome. <https://doi.org/10.4060/cc5484en>

## **ÖZGEÇMİŞ**

### **Kişisel Bilgiler**

- Adı Soyadı: Muhammed Arda SARI
- Doğum Yeri ve Tarihi: 22.09.2006 İstanbul/Gaziosmanpaşa
- E-posta: sarimuhammadarda52@gmail.com

### **Eğitim Bilgileri**

- Lise: Sultangazi Anadolu Lisesi (2024)
- Ön Lisans: Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Hendek Meslek Yüksekokulu, İmalat Yürütme Sistemleri Operatörlüğü Programı (Devam Ediyor)

### **İlgili Alanları ve Yetkinlikler**

- C programlama
- Python programlama
- Microsoft programları kullanma
- Tinkercad
- Kestirimci Bakım
- SCADA
- Görüntü İşleme