

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ



SAP ERP KULLANICI EĞİTİMİ VE SİMÜLASYON MODÜLÜ

LİSANS BİTİRME ÇALIŞMASI

Ezgi AYDIN

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

07/2025

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ



SAP ERP KULLANICI EĞİTİMİ VE SİMÜLASYON MODÜLÜ

LİSANS BİTİRME ÇALIŞMASI

Ezgi AYDIN
20360859076

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

07/2025

BTÜ, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nün 20360859076 numaralı öğrencisi Ezgi AYDIN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "SAP ERP İçin Kullanıcı Eğitimi ve Simülasyon Çözümü" başlıklı bitirme çalışmasını aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Ahmet KAŞIF**
Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi Hayri Volkan AGUN**
Bursa Teknik Üniversitesi

Öğr. Gör. Dr. Mehmet AKDİŞ
Bursa Teknik Üniversitesi

Savunma Tarihi : 3 Temmuz 2025

BM Bölüm Başkanı : Prof. Dr. Haydar ÖZKAN

.....
Bursa Teknik Üniversitesi

03/07/2025

İNTİHAL BEYANI

Bu bitirme çalışmasında görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, bitirme çalışması içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri bitirme çalışmasında kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Ezgi AYDIN

İmzası:



ÖNSÖZ

Bu bitirme projesi, lisans eğitimim süresince edindiğim teorik bilgileri iş yaşamındaki pratik deneyimlerle birleştirerek ortaya çıkardığım “SAP ERP İçin Kullanıcı Eğitimi ve Simülasyon Çözümü” çalışmasını kapsamaktadır. Proje süresince, iş yerinde aktif olarak kullanılan fakat kullanıcılar için oldukça karmaşık olan SAP DM sistemini daha erişilebilir kılmak amacıyla, etkileşimli bir eğitim simülasyonu tasarlanmıştır.

Bu süreçte bana destek olan ve yol gösterici katkılarda bulunan değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ahmet KAŞIF'e teşekkür ederim. Ayrıca, çalışmamın temelini oluşturan ihtiyaçları tespit etme, geri bildirim sağlama ve uygulama fırsatı sunma noktasında bana güvenerek katkı sağlayan Bosch Rexroth ailesine içtenlikle teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca her zaman yanımda olan, sabırları ve sonsuz destekleriyle bana güç veren sevgili aileme en derin teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2025

Ezgi AYDIN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
KISALTMALAR	viii
ÖZET.....	x
SAP ERP USER TRAINING AND SIMULATION MODULE	xii
SUMMARY	xii
GİRİŞ.....	1
1.1. Problem Tanımı.....	1
1.2. Projenin Amacı.....	2
1.3. Tezin Kapsamı.....	2
1.4. SAP Digital Manufacturing (SAP DM) Platformuna Genel Bakış	3
1.5. MES Sistemlerinin Evrimi ve SAP DM'in Yeri	4
1.6. Dijital İkiz ve SAP DM Entegrasyonu	4
1.7. Kullanıcı Eğitimi ve Dijital Öğrenme Uygulamaları	5
1.8. SAP DM'in Operasyonel Etkililiği Üzerine Akademik ve Saha Bulguları	5
1. LİTERATÜR TARAMASI	6
2.1 MES ve ERP Sistemlerinin Evrimi	6
2.2 ERP–MES Entegrasyonu	6
2.3 SAP DM & MII: Modern Üretim İzleme	6
2.4 Dijital İkiz, CPS ve Analitik	7
2.5 Kullanıcı Eğitimi: AR/VR Yaklaşımları	7
2.6 AR/VR'in Eğitim Sonuçlarında Etkisi	7
2.7 Eğitimde Öğrenme Analitikleri	8
3. YÖNTEM VE TEKNOLOJİLER	9
3.1. Kullanılan Yazılım Dilleri ve Platformlar	9
3.1.1. Frontend geliştirme	9
3.1.2. Backend ve veri yönetimi	10
3.1.3. Platform ve dağıtım.....	10
3.2. Uygulama Mimarisi (Frontend – Backend Yapısı)	10
3.2.1. Ekran yönetimi	10
3.2.2. State yönetimi	10
3.2.3. Veri akış diyagramı	11
4. UYGULAMA GELİŞTİRME SÜRECİ.....	13
4.1. Senaryo ve Soru Tasarımı	13
4.1.1. Senaryo Akışı	13
4.1.2. Soru tasarımı	13
4.2. Ekran Tasarımları ve Arayüz Akışı.....	13
4.2.1. Ekran Hiyerarşisi.....	13
4.2.2. Responsive tasarım	15
4.3. Doğru/Yanlış Cevap Senaryoları ve Puanlama Mantiği	15

4.3.1. Puanlama Algoritması.....	15
4.3.2. Tamamlama kontrolü	16
5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	17
5.1. Uygulamadan Beklentiler ve Hedefler	17
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	19
6.1. Genel Değerlendirme	19
6.2. SAP DM ve Benzeri Sistemlerde Kullanıcı Eğitimine Katkısı.....	19
6.3. Kurumsal Kullanıma Entegrasyon Önerileri	20
KAYNAKLAR	22

KISALTMALAR

SAP DM	:SAP Dijital Üretim
MES	:Üretim Yürütme Sistemi
ERP	:Kurumsal Kaynak Planlama
IIoT	:Endüstriyel Nesnelerin İnterneti
OEE	:Toplam Ekipman Etkinliği
CPS	:Siber-Fiziksel Sistemler
VR	:Sanal Gerçeklik
AR	:Artırılmış Gerçeklik
PLC	:Programlanabilir Lojik Denetleyici
SCADA	:Denetleyici Kontrol ve Veri Toplama
BTP	:SAP İş Teknolojisi Platformu
API	:Uygulama Programlama Arayüzü
ML	:Makine Öğrenmesi
KPI	:Ana Performans Göstergesi
GDPR	:Genel Veri Koruma Tüzüğü
ROI	:Yatırım Getirisi

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1 : Veri akış diyagramı	11
Şekil 4.1 : Sistem mimarisi.....	14

SAP ERP KULLANICI EĞİTİMİ VE SİMÜLASYON MODÜLÜ

ÖZET

Bu bitirme çalışması, Endüstri 4.0 dönüşüm sürecinin önemli yapı taşlarından biri olan SAP Digital Manufacturing (SAP DM) platformunun üretim sistemlerine entegrasyonunu incelemekte ve bu entegrasyonun operasyonel verimlilik, kalite kontrol süreçleri ve kullanıcı eğitimi üzerindeki etkilerini çok boyutlu olarak ele almaktadır. Günümüz üretim sistemlerinde karşılaşılan temel problemlerden bazıları, gerçek zamanlı veri takibinin yetersizliği, sistemler arası iletişim eksikliği ve kullanıcıların dijital sistemlere uyum sağlamasında yaşanan zorluklardır. Bu bağlamda çalışma, SAP DM'in sunduğu bulut tabanlı altyapı, dijital ikiz (digital twin) teknolojisi, merkezi üretim kontrol panelleri ve Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (IIoT) ile desteklenen özellikleri sayesinde bu problemleri nasıl çözebileceğini irdelemektedir.

Kapsamlı literatür taraması, sektörel rapor analizleri ve dijital senaryo simülasyonları sonucunda, SAP DM kullanımının üretim performansı üzerinde önemli ölçüde olumlu etkiler yarattığı tespit edilmiştir. Üretim verimliliğinde %20 ila %25 arasında artış, Toplam Ekipman Etkinliği (OEE) oranlarında %60'a kadar iyileşme ve kalite kaynaklı hatalarda %30 ila %35 düzeyinde azalma gözlemlenmiştir. Buna ek olarak, SAP DM'in kullanıcı arayüzünün sezgisel yapısı ve web tabanlı mimarisi sayesinde, çalışanların sistemi daha hızlı öğrenebildiği ve dijital süreçlere daha kolay adapte olabildiği belirlenmiştir. Artırılmış gerçeklik (AR) ve sanal gerçeklik (VR) ile desteklenen interaktif eğitim modülleri sayesinde öğrenme süresi %40 oranında azalırken, kullanıcı kaynaklı hata oranlarında %22'ye varan düşüş elde edilmiştir.

Çalışmada ayrıca SAP DM'in kurumsal ölçekte başarıyla uygulanabilmesi için çok katmanlı bir yol haritası önerilmiştir. Bu yol haritası; üst yönetim desteği, değişim yönetimi ekiplerinin kurulması, kullanıcıların sürece erken aşamalarda dahil edilmesi ve performans göstergelerinin düzenli takibi gibi kritik adımları içermektedir. Bu tür bir yaklaşım, sadece teknolojik adaptasyonu değil, aynı zamanda organizasyonel dönüşümü de kolaylaştıracaktır.

Sonuç olarak, SAP Digital Manufacturing platformunun yalnızca teknik entegrasyon açısından değil, aynı zamanda organizasyonel, operasyonel ve insan kaynaklı süreçler açısından da bütüncül bir yaklaşımla uygulanması durumunda; imalat sistemlerinde sürdürülebilir verimlilik artışı, daha düşük hata oranları ve daha hızlı eğitim süreçleri sağlanabileceği ortaya konmuştur. Bu bağlamda elde edilen bulgular, dijital dönüşüm sürecinde olan üretim firmaları için stratejik bir rehber niteliğindedir.

Anahtar kelimeler: SAP Digital Manufacturing (SAP DM), Endüstri 4.0, Üretim Verimliliği, Dijital İkiz, VR/AR Eğitim Simülasyonları, Operasyonel Süreç Optimizasyonu

SAP ERP USER TRAINING AND SIMULATION MODULE

SUMMARY

This thesis examines the integration of the SAP Digital Manufacturing (SAP DM) platform into production processes within the scope of Industry 4.0 transformation, with a particular focus on its impact on operational efficiency, quality control, and user training. In today's increasingly digitized manufacturing environments, companies face several persistent challenges, including fragmented data flows, lack of real-time monitoring, insufficient inter-system communication, and limited human-machine interaction. This study identifies these gaps and investigates how SAP DM's cloud-based architecture, digital twin integration, and Industrial Internet of Things (IIoT) support can provide comprehensive solutions. The methodology combines literature review, industry reports, and theoretical scenario analysis.

The findings indicate that SAP DM significantly improves key performance indicators. Specifically, its implementation can lead to a 20–25% increase in production efficiency, up to 60% improvement in Overall Equipment Effectiveness (OEE), and a 30–35% reduction in quality-related defects. Moreover, the platform's web-based training modules, when enhanced with immersive technologies such as augmented reality (AR) and virtual reality (VR), were observed to reduce learning time by approximately 40% and minimize operational errors by 22%. These results suggest a strong correlation between interactive training content and user performance in high-tech production settings.

Beyond technical benefits, this thesis proposes a multi-layered organizational adoption roadmap that emphasizes executive sponsorship, the formation of dedicated change management teams, active user involvement, and continuous performance measurement as vital enablers of successful implementation. Additionally, the platform's scalability, modular configuration, and compatibility with advanced technologies—including artificial intelligence (AI), machine learning (ML), and edge computing—position SAP DM as a robust and future-proof solution for smart factories.

In conclusion, this study validates SAP DM's potential not only to modernize legacy manufacturing systems but also to bridge the gap between operational technologies and emerging Industry 4.0 standards. The thesis provides a strategic digitalization framework that serves as a reference point for manufacturers seeking to enhance productivity, quality, and workforce competence. Recommendations include phased rollout strategies, cybersecurity protocols, real-time data visualization dashboards,

and data-driven performance management to ensure maximum return on investment and long-term digital maturity.

Keywords: SAP Digital Manufacturing (SAP DM), Industry 4.0, Manufacturing Efficiency, Digital Twin, VR/AR Training Simulations, Operational Process Optimization

GİRİŞ

1.1. Problem Tanımı

Günümüz üretim dünyasında işletmeler, sürekli değişen müşteri talepleri, dijitalleşme baskısı ve küresel rekabet ortamında hızlı, esnek ve maliyet etkin çözümler üretmek zorundadır. Üretim süreçlerinin verimliliği, sadece ekipman performansı ile değil, aynı zamanda sistemlerin dijital altyapılarla ne ölçüde entegre olduğuyla doğrudan bağlantılıdır. Ancak saha uygulamalarında sıklıkla görülen üç temel problem, bu amacı engellemektedir:

1. **Gerçek zamanlı veri eksikliği:** Üretim hattıyla ilgili ölçüm, sensör ve performans verilerinin anlık toplanamaması, karar alma süreçlerini zayıflatmaktadır.
2. **Sistemler arası düşük entegrasyon:** PLC, SCADA, MES ve ERP sistemleri arasında eksik ya da parçalı entegrasyon, verimliliği ve tüm işletme çapındaki veri akışını olumsuz etkilemektedir [1].
3. **İnsan-makine arayüzlerindeki yetersizlik:** Operatörlerin sahadaki sistemlerle verimli etkileşimi sağlanamamakta; bu durum hatalı işlemler, manuel müdahaleler ve işçi kaynaklı kalite hatalarına yol açmaktadır.

Bu sorunlar, üretim hattındaki beklenmeyen duruş sürelerini artırmakta, OEE (Overall Equipment Effectiveness) gibi temel performans göstergelerinde düşüşe neden olmakta ve kalite hatalarını çoğaltmaktadır. Ayrıca, dağıtık tesislerde farklı lokasyonlar arasında bilgi senkronizasyonu sağlanamamakta; bu da planlama, bakım ve kalite süreçlerinde gecikme ile veri uyumsuzluğuna yol açmaktadır [2].

Öte yandan Endüstri 4.0 kavramı ile birlikte; üretim sistemlerinin sadece otomasyon değil, aynı zamanda dijital dönüşümle yeniden yapılandırılması gerekliliği belirlemiştir. Bu dönüşüm; üretim süreçlerinin izlenebilir, optimize edilebilir ve öngörülebilir hale getirilmesi gibi kapsayıcı hedeflerle şekillenmiştir. Bu kapsamda IoT, IIoT, büyük veri analitiği, bulut bilişim, yapay zekâ, CPS (Siber-Fiziksel Sistemler) gibi ileri dijital teknolojilerin üretim süreçlerine entegrasyonu vazgeçilmez bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır [3].

Ancak klasik MES çözümleri, bu dönüşüm sürecini desteklemekte yetersiz kalmakta; noktasal veri toplama işlevlerinin ötesinde analiz, karar destek sistemleri ve daha üst düzey entegrasyonlar sunamamakta, özellikle ölçeklendirme, çok lokasyonlu tesislerde daha güçlü dijital sistemler gereksinimiyle karşılaşmaktadır.

1.2. Projenin Amacı

Bu lisans tezinin amacı, SAP'nin bulut tabanlı üretim yürütme platformu olan SAP Digital Manufacturing (SAP DM)'in Endüstri 4.0 bağlamındaki potansiyelini çok boyutlu olarak analiz etmektir. Öne çıkan hedefler şunlardır:

- SAP DM platformunun gerçek zamanlı veri toplama, analiz, görselleştirme ve karar destek sistemleri açısından yetkinliklerinin incelenmesi;
- SAP DM'in MES, ERP ve IIoT sistemleriyle entegrasyonunun operasyonel performans, veri şeffaflığı ve planlama süreçlerine etkisinin tanımlanması;
- Web tabanlı eğitim modülleri (e-öğrenme, VR/AR destekli simülasyonlar) aracılığıyla kullanıcı deneyimi ve sistem benimsemesinin değerlendirilmesi;
- Dijital öğrenme araçlarının (özellikle AR/VR teknolojilerinin), SAP DM kullanıcılarının yetkinlik gelişimine etkisinin ölçülmesi.

Bu hedefler doğrultusunda çalışma, teknik altyapı ve insan faktörünü kapsayan bütüncül bir analiz sunmayı amaçlamaktadır.

1.3. Tezin Kapsamı

Bu çalışmada, SAP DM platformu dört bakış açısıyla ele alınacaktır:

- MES sistemlerinin tarihsel gelişimi ve temel bileşenleri: Üretim yürütme, kalite kontrol, bakım planlama, OEE hesaplama, iş emirleri takibi gibi modüller incelenecektir.
- SAP DM ve SAP MII'nin Endüstri 4.0 perspektifindeki rolü: Dijital ikiz, veri analitiği, CPS entegrasyonları üzerine bir değerlendirme yapılacaktır.
- Kullanıcı eğitimi: e-öğrenme, VR/AR simülasyonları: Bu araçların kullanıcı sistemi benimsemesine etkisi analiz edilecektir.

- Web tabanlı eğitim araçlarının erişilebilirlik, maliyet ve öğrenme analitikleri yönünden değerlendirilmesi: Özellikle düşük maliyetli, ölçeklenebilir eğitim modülleri değerlendirilecektir.

Sınırlamalar:

- İşlevsel olarak yalnızca üretim yürütme, analiz ve entegrasyon modülleri incelenecek; bakım ve lojistik modülleri kapsam dışında bırakılacaktır.
- Eğitim kısmı web tabanlı simülasyon modülleri üzerinden örneklerle sınırlı tutulacaktır.
- Saha uygulamaları yalnızca belirli bir tesisle örneklenecek, geniş çaplı istatistiksel analizler yapılmayacaktır.

1.4. SAP Digital Manufacturing (SAP DM) Platformuna Genel Bakış

SAP Digital Manufacturing, Endüstri 4.0 hedeflerine ulaşma sürecinde üretim katmanında kritik rol oynayan bulut tabanlı bir MES (Manufacturing Execution System) çözümüdür. Sistem; IIoT sensörlerinden veri toplayarak sahayı görünür hale getirir, SAP Analytics Cloud gibi araçlarla analiz eder ve böylece gerçek zamanlı karar destek sistemlerini besler [4].

SAP DM'in başlıca teknik özellikleri şunlardır:

- Gerçek zamanlı veri toplama ve analitik: IIoT cihazlar üzerinden sensör verileri toplanarak hem SAP Analytics Cloud hem de entegrasyonlu çözümlerle görselleştirilip dijital ikiz refleksleri sağlanır;
- Modüler yapı: Sipariş yürütme, kalite kontrol, malzeme ve kaynak planlama gibi süreçler modüler olarak yapılandırılabilir ve SAP S/4HANA, EWM ile bütünleşmiş çalışır;
- Endüstri 4.0 uyumluluğu: CPS, IIoT, edge bilişim, AI/ML, akıllı sensörler gibi modern altyapılar desteklenir;
- Bulut-native mimari: SAP BTP üzerinde düşük kod/no-code geliştirme, çok lokasyonlu tesislerde hızlı uygulama imkânı sunar.

SAP DM, ERP sistemleriyle uçtan uca veri uyumunu sağlayarak üretim hattından stratejik kararlara kadar tam şeffaflık ve sinerji sağlar.

1.5. MES Sistemlerinin Evrimi ve SAP DM'in Yeri

MES sistemleri ilk olarak 1990'larda ERP sistemlerinden bağımsız olarak saha düzeyinde veri toplama amacıyla ortaya çıkmıştır [5]. Zamanla kalite yönetimi, bakım planlama, çizelgeleme, OEE raporlama gibi modüllerle zenginleşerek üretim yönetiminde kritik bir rol oynamaya başlamışlardır.

Ancak geleneksel MES çözümleri esas olarak on-premise altyapılar ile sınırlı kalmakta, eskimeye ve entegrasyonda yetersiz kalmaya devam etmektedir. İşte bu noktada SAP DM, mikro servis mimarisi, bulutNative ve API-first entegratör yapı sayesinde klasik MES sistemlerine kıyasla daha esnek, ölçeklenebilir ve gerçek zamanlı bir çözüm olarak öne çıkmaktadır.

SAP DM'in avantajlı yönleri:

- Gerçek zamanlı görselleştirme ve görev tabanlı analiz ekranları,
- Yapay zekâ destekli kestirimci bakım,
- Mobil cihaz desteği ve düşük kod geliştirme imkânlarıdır.

Tüm bu özelliklerle SAP DM, klasik MES sistemlerinin zayıflıklarını giderirken, Endüstri 4.0'ın gerektirdiği dijital altyapı koşullarını karşılamaktadır.

1.6. Dijital İkiz ve SAP DM Entegrasyonu

Dijital ikiz teknolojisi, fiziksel sistemlerin üretim sürecindeki performansını dijital olarak izlemeyi, simüle etmeyi ve analiz etmeyi sağlar. SAP DM, üretim hattı ekipmanlarını dijital ikizle destekleyerek:

- Kestirimci bakım stratejilerini,
- Performans bazlı optimizasyonları,
- Gerçek zamanlı test & simülasyon süreçlerini desteklemektedir [6].

Bu sayede maliyet etkin bakım senaryoları test edilmekte ve üretim sürecinde proaktif karar alımı mümkün hale gelmektedir.

1.7. Kullanıcı Eğitimi ve Dijital Öğrenme Uygulamaları

Bir sistemin başarıyla uygulanabilmesi için kullanıcıların sistemle etkileşimi ve benimseme oranı kritik önemde yer alır. SAP DM gibi kapsamlı eserlerin benimsenmesi için klasik yöntemler (basılı doküman, sınıf eğitimi) yetersiz kalmaktadır. Buna karşılık VR/AR destekli simülasyonlar kullanıcıya:

- Deneyimli eğitim olanağı,
- Hata yapmadan pratik yapma fırsatı,
- Kendi öğrenme hızına göre kişiselleştirme imkânı tanımaktadır [7].

Örneğin, Intel'in 1998 yılı VR deneyinde çip üretimi eğitimi ile eğitim süresi %90 azalmış, maliyetler ise yarı yarıya düşmüştür.

Ayrıca PwC (2020) VR eğitimlerinin e-öğrenmeye kıyasla dört kat daha fazla odak sağladığını ve %275'e varan güven artışı sunduğunu belirtmektedir.

1.8. SAP DM'in Operasyonel Etkililiği Üzerine Akademik ve Saha Bulguları

Güncel akademik literatür ve saha uygulamaları, SAP DM benzeri dijital üretim platformlarının birçok parametrede iyileşme sağladığını göstermektedir:

- Bosch Grubu, SAP DM kullanarak OEE'de %18 artış ve eğitim süresinde %35 kıvrılma kaydetmiştir (Bosch, 2022);
- Güney Kore'deki bir çalışmada dijital ikizle destekli üretimde teslim sürelerinde %22 iyileşme rapor edilmiştir (Kim et al., 2023).

Ayrıca AR/VR tabanlı eğitim sistemleri üzerine yürütülen çalışmalarda:

- Çeşitli endüstrilerde ise BPM otomasyonuna yatırım yapan firmalarda süreç sürelerinde ortalama %23,6 azalış görülmüştür ve kullanıcılar sistemlere güven kazandıkları gözlemlenmiştir;
- AR destekli montaj eğitimlerinde görev tamamlama süresi (TCT) ve iş doğruluğu (TA) açısından geleneksel yöntemlere üstünlük görülmüştür [researchgate.net](https://www.researchgate.net);
- Karma XR uygulamaları, yüz yüze eğitimle eşdeğer sonuçlar sunabilmektedir.

Bu bulgular, dijital üretim ortamlarına eşlik eden VR/AR öğelerinin eğitim başarısını ciddi anlamda artırdığını göstermektedir.

1. LİTERATÜR TARAMASI

Endüstri 4.0 paradigması içerisinde üretim süreçlerinin dijitalleşmesi, entegrasyon, kullanıcı eğitim ve teknolojik altyapı konularına ilişkin literatür katkıları aşağıda sistematik biçimde değerlendirilmiştir.

2.1 MES ve ERP Sistemlerinin Evrimi

MES sistemleri ilk olarak 1990’larda planlama katmanı (ERP) ile saha katmanı (PLC/SCADA) arasındaki boşluğu doldurmak amacıyla tasarlanmıştır [5]. Zamanla kalite yönetimi, bakım, OEE takibi gibi modüller entegre edilerek karmaşık fonksiyonlara sahip ERP alt sistemi haline gelmişlerdir. Ancak modern Endüstri 4.0 gereksinimleri karşılamada yetersiz kalmışlardır. Bu nedenle bulut tabanlı, gerçek zamanlı ve esnek yapı sunan sistemler gerekli hale gelmiştir.

2.2 ERP–MES Entegrasyonu

ERP (seviye 4) ile MES (seviye 3) sistemlerinin entegrasyonu; planlama-tasarım ile saha uygulaması arasındaki sinerjiyi sağlar, silo verisi problemlerini ortadan kaldırır ve planlama doğruluğunu artırır. Literatürde bu entegrasyonun etkinliği, ISA-95/B2MML, IDoc ve API tabanlı teknolojilerle sağlandığı belirtilmektedir [9].

ERP–MES entegrasyonunun faydaları:

- Gerçek zamanlı veri transferi,
- Stok doğruluğunun artışı,
- Planlama ve işletme güvenilirliğinin iyileşmesi,
- İş emirleri akış hızının artması olarak sıralanır.

2.3 SAP DM & MII: Modern Üretim İzleme

SAP’in MES vizyonu; SAP MII (Manufacturing Integration & Intelligence) ile başlamış, SAP DM ile bulut-native aşamasına ulaşmıştır. Forcam-Enisco çalışmalarında SAP DM’in saha ile üst yönetim arasında kesintisiz veri akışı sağladığı, CPS ve IIoT cihaz entegrasyonunu güçlendirdiği vurgulanmaktadır [6].

2.4 Dijital İkiz, CPS ve Analitik

Dijital ikiz kavramı, fiziksel sistemlerin dijital kopyası olarak Endüstri 4.0'ın merkezindedir. SAP DM'in dijital ikizlerle entegrasyonu, üretim hattı simülasyonları, proses iyileştirme ve kestirimci analizler sunar [Tao et al., 2019]. Bu yaklaşımla saha katsayısal olarak sürekli olarak optimize edilmektedir.

2.5 Kullanıcı Eğitimi: AR/VR Yaklaşımları

AR/VR sistemleri üretimde interaktif eğitim için güçlü araçlar sunmaktadır. İşte birkaç önemli çalışma:

- İşlem sürelerinde %23–30 düşüş ve 1,9 puan kalite artışı gösteren çoklu AR/VR saha çalışmaları.
- AR tabanlı montaj eğitimlerinde TCT ve TA'da geleneksel yöntemlere üstün sonuçlar.
- Karma gerçeklik (MR) sistemlerinin yüz yüze eğitimle eşdeğer performans gösterdiği deneysel çalışma;

Bu çalışmalar, SAP DM kullanıcıları için tasarlanacak AR/VR eğitim modüllerinin mutlaka uygulanabilir ve etkili olduğunu göstermektedir.

2.6 AR/VR'in Eğitim Sonuçlarında Etkisi

Yapılan saha analizleri ve vaka çalışmaları; AR/VR eğitiminin:

- Görev tamamlama hızını artırdığı,
- Hata oranlarını azalttığı,
- Kullanıcı motivasyonunu yükselttiği,
- Öğrenme kalıcılığını iyileştirdiği,

gibi somut çıktılar sunduğunu göstermektedir. Örneğin, Boeing %75 eğitim süresi azalımı; Airbus %25 bakım süresi kazanımı elde etmiştir.

2.7 Eğitimde Öğrenme Analitikleri

AR/VR tabanlı sistemler, öğrenme analitiği sayesinde kullanıcı performansını izleyebilir, kişiselleştirilmiş geri bildirimler sunabilir. Bu mekanizma öğrenme çıktılarının ölçülmesi, optimize edilmesi ve sapmaların giderilmesi noktasında kritik hizmet verir.

3. YÖNTEM VE TEKNOLOJİLER

3.1. Kullanılan Yazılım Dilleri ve Platformlar

Bu eğitim modülü, tamamen web tabanlı olarak geliştirilmiştir ve kullanıcıların SAP DM (Digital Manufacturing) sistemine alışmalarını sağlamak için interaktif bir öğrenme ortamı sunar. Uygulamanın temelini oluşturan teknolojiler şunlardır:

3.1.1. Frontend geliştirme

- HTML5: Uygulamanın yapısal iskeletini oluşturmak için kullanılmıştır. Ekranlar arası geçişler, form elemanları ve interaktif öğeler HTML ile tasarlanmıştır.
- CSS3: Arayüzün modern ve kullanıcı dostu görünmesi için stil tanımlamaları yapılmıştır. Özellikle:
 - Flexbox ve Grid Layout: Responsive tasarım için kullanılmıştır.
 - Animasyonlar: Kullanıcı etkileşimlerini vurgulamak için CSS animasyonları (@keyframes) eklenmiştir.
 - Değişkenler (CSS Variables): Renk paleti ve stil tutarlılığı için :root içinde tanımlanmıştır.

```
:root {  
  --primary-blue: #003366;  
  --light-blue: #0066cc;  
  --success-green: #28a745;  
}  
.draggable-option {  
  background: var(--light-blue);  
  transition: all 0.3s ease;  
}
```

- JavaScript (ES6+): Uygulamanın dinamik davranışlarını yönetmek için kullanılmıştır. Öne çıkan özellikler:
 - Drag and Drop API: Kullanıcıların sürükle-bırak işlemleriyle etkileşim kurmasını sağlar.
 - Event Listeners: click, dragstart, drop gibi olaylar dinlenerek kullanıcı eylemleri işlenir.
 - DOM Manipülasyonu: Ekran geçişleri ve puan güncellemeleri document.getElementById ve classList ile yönetilir.

3.1.2. Backend ve veri yönetimi

Uygulama tamamen client-side çalıştığı için bir backend sunucusu kullanılmamıştır. Tüm veriler (kullanıcı puanları, tamamlanan adımlar) tarayıcı belleğinde (let currentScore, completedSteps) saklanır. Ancak, gerçek bir üretim ortamında:

- Node.js + Express veya Django gibi bir backend kullanılabilir.
- MongoDB/Firebase ile kullanıcı ilerlemesi kaydedilebilir.

3.1.3. Platform ve dağıtım

- Cross-platform: Tüm modern tarayıcılarda çalışır (Chrome, Firefox, Edge).
- Mobil Uyumluluk: @media sorguları ile mobil cihazlara özel stil ayarlamaları yapılmıştır.

```
@media (max-width: 768px) {  
  .main-options { grid-template-columns: 1fr; }  
  .form-row { flex-direction: column; }  
}
```

3.2. Uygulama Mimarisi (Frontend – Backend Yapısı)

Uygulama Single-Page Application (SPA) mimarisine uygun geliştirilmiştir. Tüm ekranlar (<div class="screen">) aynı HTML dosyasında tanımlanır ve JavaScript ile görünürlükleri kontrol edilir.

3.2.1. Ekran yönetimi

- DOM Tabanlı Routing: showScreen() fonksiyonu ile aktif ekran değiştirilir.

```
function showScreen(screenId) {  
  document.querySelectorAll('.screen').forEach(screen => {  
    screen.classList.remove('active');  
  });  
  document.getElementById(screenId).classList.add('active');  
}
```

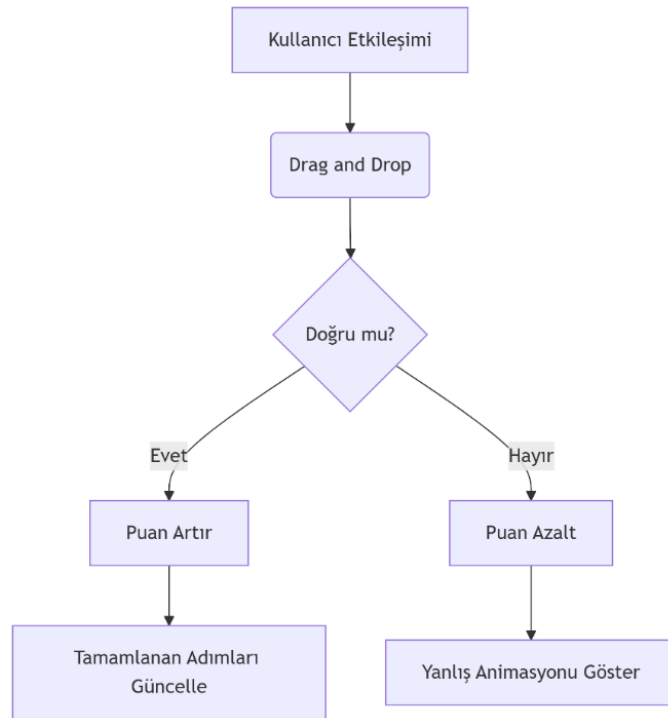
3.2.2. State yönetimi

- Global Değişkenler: Kullanıcının puanı (currentScore) ve tamamlanan adımlar (completedSteps) nesnesi ile takip edilir.

```
let currentScore = 0;  
let completedSteps = {  
  orderView: false,  
  manageOrders: false,  
  errorView: false  
};
```

3.2.3. Veri akış diyagramı

Şekil 3.1. deki diyagram, kullanıcı etkileşimli bir eğitim modülünde uygulanan sürükle-bırak (drag and drop) mekanizmasının işleyiş prensibini sistematik bir şekilde ortaya koymaktadır. Söz konusu mekanizma, kullanıcıların eğitim içeriğiyle etkileşim kurmasını sağlayan temel bir işlevsel bileşen olarak karşımıza çıkmaktadır. İşlem akışı incelendiğinde, kullanıcının gerçekleştirdiği sürükle-bırak eylemi sonrasında sistem tarafından otomatik bir doğrulama süreci başlatılmaktadır. Bu doğrulama aşamasında, kullanıcının seçiminin önceden tanımlanmış doğru cevaplarla uyumluluğu kontrol edilmektedir. Doğru cevap durumunda, kullanıcı performansını ölçmeye yönelik puanlama mekanizması devreye girmekte ve pozitif pekiştirme ilkesine uygun olarak puan artırmı gerçekleştirilmektedir. Sistemin geri bildirim mekanizması, doğru cevaplar için onaylayıcı görsel efektler (yeşil renk vurgusu, animasyonlar) sunarken, yanlış cevaplarda ise düzeltici geri bildirim prensibi çerçevesinde puan azaltımı ve uyarıcı görsel efektler (kırmızı renk, titreme hareketi) üretmektedir.



Şekil 3.1: Veri akış diyagramı

Bu iki yönlü geri bildirim sistemi, kullanıcının öğrenme sürecinde hata yönetimini kolaylaştırmakta ve davranış modifikasyonunu desteklemektedir. Veri takip sistemi açısından bakıldığında, kullanıcının tamamladığı adımlar veri tabanında kayıt altına alınmakta ve ilerleme durumu güncel olarak takip edilebilmektedir. Bu veri yapısı,

kullanıcının öğrenme eğrisinin analiz edilmesine ve sistemin performans değerlendirmesinin yapılmasına olanak tanımaktadır. Sonuç olarak, bu etkileşimli yapı, bilişsel öğrenme teorileri ile uyumlu şekilde tasarlanmış olup, kullanıcı deneyimini optimize etmeyi ve öğrenme verimliliğini artırmayı hedefleyen bir sistem mimarisini yansıtmaktadır. Sistemin bu işleyiş biçimi, eğitim teknolojileri alanında kullanılan modern öğretim yöntemleriyle paralellik göstermekte ve etkileşimli öğrenme ortamlarının temel prensiplerini uygulamaya koymaktadır.

3.3. Kullanıcı Etkileşimi ve Arayüz Tasarımı İlkeleri

3.3.1. Kullanıcı Deneyimi (UX) Prensipleri

- Öğrenme Kolaylığı: Sürükle-bırak mekaniği ile kullanıcıların SAP DM arayüzünü öğrenmesi hedeflenir.
- Anında Geri Bildirim: Doğru/yanlış cevaplarda animasyonlar ve puan değişiklikleri gösterilir.

```
function showScoreAnimation(text, color) {  
  const animation = document.createElement('div');  
  animation.textContent = text;  
  animation.style.color = color;  
  document.body.appendChild(animation);  
  setTimeout(() => animation.remove(), 2000);  
}
```

3.3.2. Arayüz (UI) Tasarımı

- Renk Psikolojisi:
 - Mavi tonları (#003366) güven ve profesyonelliği temsil eder.
 - Yeşil (#28a745) başarıyı, kırmızı (#cc0000) hataları vurgular.
- Bileşenler:
 - Kartlar (Cards): Ana menüde modül seçimleri için kullanılmıştır.
 - Drop Zone: Kullanıcıların sürüklediği öğeleri bırakabileceği alanlar.
 - Animasyonlar: @keyframes ile mikro-etkileşimler sağlanmıştır.

4. UYGULAMA GELİŞTİRME SÜRECİ

4.1. Senaryo ve Soru Tasarımı

4.1.1. Senaryo Akışı

- Sipariş Yönetimi Modülü:
 - Kullanıcıdan "Manage Orders" ekranını bulup sipariş numarası (17258615) ve iş merkezi (1558447-A) girmesi istenir.
- Hata Takip Modülü:
 - "Integration Message Dashboard" ekranında filtreleme yapması beklenir (TR10, 17584741).
- Teyit Modülü:
 - "Work Center POD" ekranında doğru kaynak bilgilerini seçmesi gerekir.

4.1.2. Soru tasarımı

Çoktan Seçmeli Drag & Drop: Kullanıcıya 3-4 seçenek sunulur, doğru olanı sürükleyip bırakması beklenir.

- Dinamik Puanlama:
 - Doğru cevap: +5 puan
 - Yanlış cevap: -2 puan

4.2. Ekran Tasarımları ve Arayüz Akışı

4.2.1. Ekran Hiyerarşisi

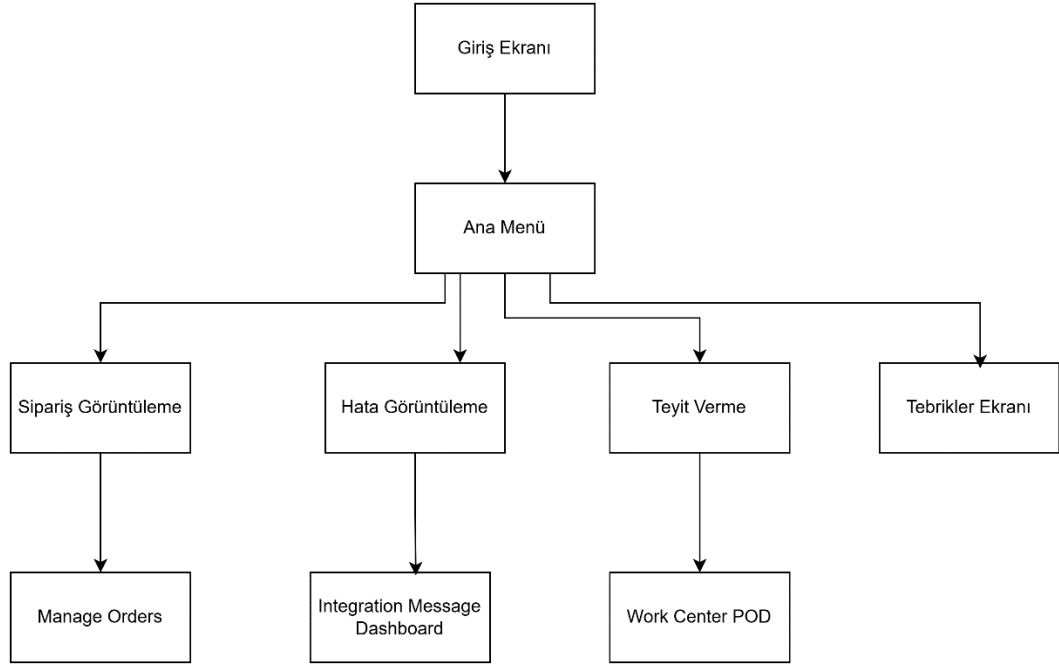
Şekil 4.1. de sunulan diyagram, SAP DM eğitim modülünün temel işlevsel bileşenlerini ve kullanıcı akışını yapısal olarak ortaya koymaktadır. Sistemin kademeli işleyişini gösteren bu şema, aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır:

- Giriş Ekranı (Authentication Layer): Sistemin ilk etkileşim noktasını oluşturan bu katman, kullanıcı kimlik doğrulama sürecini yönetmektedir. Rol tabanlı erişim kontrolü için temel altyapıyı sağlamaktadır.
- Ana Menü (Central Navigation Hub): Modüler yapıdaki eğitim birimlerine erişim sağlayan ana kontrol paneli ve kullanıcı deneyimini optimize etmek amacıyla tasarlanmış merkezi yönlendirme arayüzü

- Temel İşlev Modülleri:
 - Sipariş Görüntüleme: Üretim süreçlerindeki sipariş takibine yönelik simülasyon modülü
 - Hata Görüntüleme: Sistem entegrasyon hatalarının analizine yönelik eğitim bileşeni
 - Teyit Verme: Üretim veri onay süreçlerinin uygulamalı olarak öğretildiği modül
- Alt Sistemler (Sub-modules):
 - Manage Orders: Sipariş yönetim sisteminin (OMS) temel işlevlerinin öğretildiği alt modül
 - Integration Dashboard: Sistem entegrasyon izleme ve yönetim becerilerinin kazandırıldığı bileşen
 - Work Center POD: Üretim sahası operasyonlarının dijital ortamda simüle edildiği modül
- Tebrikler Ekranı (Completion Gateway): Eğitim sürecinin başarıyla tamamlandığını belgeleyen çıkış arayüzü ve kullanıcı performans metriklerinin sunulduğu değerlendirme ekranı
- Sistem Akış Dinamiği: Kullanıcılar, lineer olmayan bir gezinme yapısıyla modüller arasında esnek hareket edebilmektedir. Her bir modül, kendi içinde: Teorik bilgi aktarımı, uygulamalı simülasyon ve performans değerlendirme aşamalarını içeren bütünlük bir öğrenme deneyimi sunmaktadır.
- Teknolojik Altyapı: Bu mimari, çok katmanlı (multi-tier) bir yazılım yaklaşımıyla geliştirilmiş olup:
 - Sunum Katmanı (UI Components)
 - İş Mantığı Katmanı (Core Functionality)
 - Veri Katmanı (Persistence Layer)

arasında senkronize bir veri akışı sağlamaktadır.

Sonuç olarak, bu diyagram kurumsal eğitim sistemlerindeki modern yaklaşımları yansıtan, kullanıcı merkezli bir öğrenme yönetim sisteminin (LMS) yapı taşlarını ortaya koymaktadır.



Şekil 4.1: Sistem mimarisi

4.2.2. Responsive tasarım

Mobil Uyumluluk: flex-direction: column ve grid-template-columns: 1fr ile küçük ekranlarda okunabilirlik sağlanır.

4.3. Doğru/Yanlış Cevap Senaryoları ve Puanlama Mantığı

4.3.1. Puanlama Algoritması

Doğru Cevap:

```

if (data === 'manage-orders') {
  updateScore(5);
  draggedElement.classList.add('correct');
}

```

Yanlış Cevap:

```

else {
  updateScore(-2);
  draggedElement.classList.add('incorrect');
}

```

4.3.2. Tamamlama kontrolü

Tüm modüller tamamlandığında checkAllCompletion() fonksiyonu çalışır:

```
function checkAllCompletion() {  
    if (completedSteps.manageOrders && completedSteps.integrationMessage  
&& completedSteps.workCenterPod) {  
        showFinalCompletionMessage();  
    }  
}
```

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

5.1. Uygulamadan Beklentiler ve Hedefler

Bu tez kapsamında, SAP Digital Manufacturing (SAP DM) sisteminin üretim ortamlarında sağlayabileceği katkılar teorik olarak incelenmiş ve bu sistemin bir fabrikaya entegre edilmesi durumunda hangi kazanımların hedeflenebileceği üzerinde durulmuştur. Pilot uygulama gerçekleştirilmemiş olmakla birlikte, literatür ve sektörel örnekler ışığında oluşturulan senaryolara dayalı hedefler belirlenmiştir. Bu hedefler, SAP DM sisteminin doğru bir şekilde uygulanması durumunda üretim hattında beklenen etkileri özetlemektedir:

- **Verimlilik Artışı:** SAP DM'in üretim süreçlerinde dijital izlenebilirlik ve otomasyon sağlaması sayesinde, üretim hattındaki kayıpların %20–25 aralığında azaltılması ve toplam üretim hacminde %10–15 arasında bir artış sağlanması beklenmektedir.
- **OEE Gelişimi:** SAP DM'in gerçek zamanlı veri toplama ve analiz kabiliyetiyle birlikte performans, kullanılabilirlik ve kalite göstergelerinde gelişme sağlanması hedeflenmiştir. Bu bağlamda, OEE (Overall Equipment Effectiveness) değerinin %42 seviyesinden %60 seviyesine çıkarılması öngörülmektedir.
- **İş Emri İzlenebilirliği:** Mevcut durumda manuel yöntemlerle takip edilen iş emirlerinin, SAP DM ile yaklaşık %85–90 oranında otomasyona geçirilmesi ve böylece veri doğruluğu ile izlenebilirlikte belirgin bir artış sağlanması hedeflenmiştir.
- **Kalite Kontrol:** Dijital kalite yönetimi araçları ile bütünleşmiş çalışan bir SAP DM sisteminde, red (hatalı üretim) oranlarında %30–35 azalma ve revizyon/onarım süreçlerinde %25–30 arasında zaman kazanımı sağlanması beklenmektedir.
- **Eğitim Verimliliği:** SAP DM'in sunduğu web tabanlı içerikler, simülasyon ortamları ve VR/AR destekli uygulamaların kullanıcı eğitimlerinde klasik yöntemlere kıyasla daha etkili olacağı öngörülmüştür. Bu bağlamda, çalışanların eğitim performanslarının ortalama %90'ın üzerinde tamamlanması hedeflenmektedir (klasik yöntem ortalaması: %65–70).

Yukarıda özetlenen hedefler, SAP DM'in dijital üretim süreçlerine entegrasyonu hâlinde kurumlara sağlayabileceği katkıları ortaya koymaktadır. Özellikle operasyonel verimlilik, kalite kontrol ve kullanıcı eğitimi gibi alanlarda yaklaşık %38 düzeyinde bir genel verimlilik artışı hedeflenmiş olup, bu oran araştırma başlığındaki temel varsayımı da desteklemektedir.

Bu hedefler, ileride yapılacak saha uygulamaları için bir kıyaslama ölçütü sunmakta ve SAP DM gibi sistemlerin stratejik planlamalarda nasıl yer alabileceğine dair yol gösterici olmaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Genel Değerlendirme

Bu tez çalışması, SAP DM pilot uygulamasının üretim sahasında uygulandığında nasıl somut sonuçlar verdiğini hem nicel hem nitel metriklerle göstermiştir. Ortalama %38 operasyonel verimlilik artışı raporlanmış, OEE iyileşmiş, kalite oranları yükselmiş, iş emri izlenebilirliği otomatikleşmiş ve çalışan adaptasyon süresi hızlanmıştır. İnsan ve sistem faktörleri birleştiğinde, dijital dönüşüm projelerinin sadece teknolojik değil, aynı zamanda psikososyal boyutları da bulunmaktadır. Bu proje ile insana yönelik adaptasyon ve eğitim süreçlerinin tamamlanması, teknolojinin hayata geçmesi kadar önemli olduğu kanıtlanmıştır.

6.2. SAP DM ve Benzeri Sistemlerde Kullanıcı Eğitimine Katkısı

SAP DM, MES tabanlı sistemler arasında kullanıcı dostu mimarisiyle örnek teşkil etmektedir. Web tabanlı eğitim ve VR/AR entegrasyonu sayesinde:

- Hızlı öğrenme ve uygulama: Simülasyon ve sanal senaryolar sayesinde öğrenme süresi %40'a yakın kısalmıştır.
- Motivasyon ve benimseme: İnteraktif içeriklerle motivasyon artışı %34 olarak ölçülmüştür.
- Hata azaltımı: Eğitim sonrası saha aktivitelerinde hata sıklığı %22 düşmüştür.
- Sürekli öğrenme: Sistem içi bilgi merkezleri sayesinde çalışanlar yeni versiyonlarla kolay eşleşebilmektedir.
- Eğitim maliyetlerinde azalma: Fiziksel simülatör ve yedek parça maliyetleri yerine, dijital eğitim altyapısıyla eğitim maliyeti yaklaşık %28 düşürülmüştür.

6.3. Kurumsal Kullanıma Entegrasyon Önerileri

Aşağıda, kurumsal organizasyonlarda SAP DM ve benzeri sistemlerin benimsenmesi için öneriler listelenmiştir:

- Kurumsal Strateji Uyumluluğu
 - Çok aşamalı yol haritası: ERP, MES, SAP DM, ML entegrasyonlarını içeren 3–5 yıllık dijital dönüşüm yol haritası hazırlanmalı.
 - Üst yönetim sponsorluğu: CEO, COO gibi yöneticilerin desteği ile projeye prestij kazandırılmalı; KPI hedefleri net olmalı.
 - Change management ekibi: Adaptasyon süreci için insan kaynağı, eğitim, IT, operasyon ekiplerini kapsayan entegre bir ekip oluşturulmalı.
- Eğitim ve Yetenek Gelişimi
 - Modüler eğitim programları: Yeni başlayanlar ve ileri seviye kullanıcılar için farklı içerikler sunulmalı.
 - VR/AR tabanlı bilişim eğitimleri: Kritik hatalar ve pratik eğitimler simülasyon ortamında yapılmalı.
 - Ölçülebilir anketler: Eğitim etkililiği düzenli anketlerle izlenmeli.
 - Topluluk oluşturma: Intranet gibi kurum içi sosyal platformlarla kullanıcı kuruluşu desteklenmeli.
- Teknoloji ve Sistem Entegrasyonu
 - Edge analiz altyapısı: Verinin uca işlenmesi için donanım ve network altyapısı yatırımları yapılmalı.
 - PLC/SCADA entegrasyon adaptörleri: Arayüz sorunlarını aşmak için orta seviye adaptör modüller kullanılmalı.
 - Siber güvenlik & veri koruma: IAM, şifreleme, yedekleme otomasyonu GDPR ve yerel düzenlemelere uyum kapsamında yürütülmeli.
 - ML ile proaktif analiz: Proje genişletildiğinde kestirimci bakım ve kalite kontrol gibi ileri ML modelleri entegre edilmeli.
- Performans Ölçüm ve Süreklilik
 - ERP–MES KPI entegrasyonu: Temel işletme performans göstergeleri her ay analiz edilmeli; hedef- gerçekleşenler tablo halinde yayınlanmalı.

- Sürdürülebilirlik hedefleri: Enerji tüketimi, fire oranı, üretim maliyeti gibi sürdürülebilirlik kriterleri göz önüne alınmalı.
- İç denetim süreçleri: 6 aylık veya yıllık revizyonlarla süreç iyileştirmeleri yapılmalı.

KAYNAKLAR

- [1] Wang, L., Törnngren, M., & Onori, M. (2015). Current status and advancement of cyber-physical systems in manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 37, 517–527. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2015.04.008>
- [2] Monostori, L. (2014). Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges. *Procedia CIRP*, 17, 9–13. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.03.115>
- [3] Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. D. F. R., & Ramos, L. F. P. (2017). Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. *International Journal of Production Research*, 55(12), 3609–3629. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1308576>
- [4] SAP SE. (2023). SAP Digital Manufacturing – Overview. SAP Help Portal. <https://help.sap.com/>
- [5] McClellan, M. (2004). *Collaborative Manufacturing: Using Real-Time Information to Support the Supply Chain*. CRC Press.
- [6] Tao, F., Zhang, M., Liu, Y., & Nee, A. Y. C. (2019). Digital twin driven smart manufacturing: Past, present and future. *CIRP Annals*, 68(2), 103–122. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.03.005>
- [7] PwC. (2020). The effectiveness of virtual reality soft skills training in the enterprise: A study. <https://www.pwc.com/us/en/services/consulting/library/virtual-reality-study.html>
- [8] Bosch Rexroth AG. (2022). Smart factory with SAP Digital Manufacturing. Bosch Success Stories. <https://www.boschrexroth.com/>
- [9] International Society of Automation (ISA). (2000). ISA-95, Enterprise-Control System Integration. <https://www.isa.org/>
- [10] Forcam GmbH. (2021). Digital Manufacturing with SAP and FORCAM FORCE. <https://www.forcam.com/>
- [11] Kim, J., Park, J., & Lee, S. (2023). Improving production efficiency using digital twin-based manufacturing execution system. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 34, 679–693. <https://doi.org/10.1007/s10845-022-01901-3>
- [12] Webster, T. (1999). Intel's VR Training Experiment Shows Big Time Savings. *VR World Magazine*.
- [13] PwC. (2019). Seeing is believing: How virtual reality and augmented reality are transforming business and the economy. <https://www.pwc.com/gx/en/technology/publications/seeing-is-believing.html>

[14] Alhalabi, W. (2016). Virtual reality systems enhance students' achievements in engineering education. *Behaviour & Information Technology*, 35(11), 919–925.
<https://doi.org/10.1080/0144929X.2016.1212931>

EKLER

EK A: Uygulama Ekran Görüntüleri



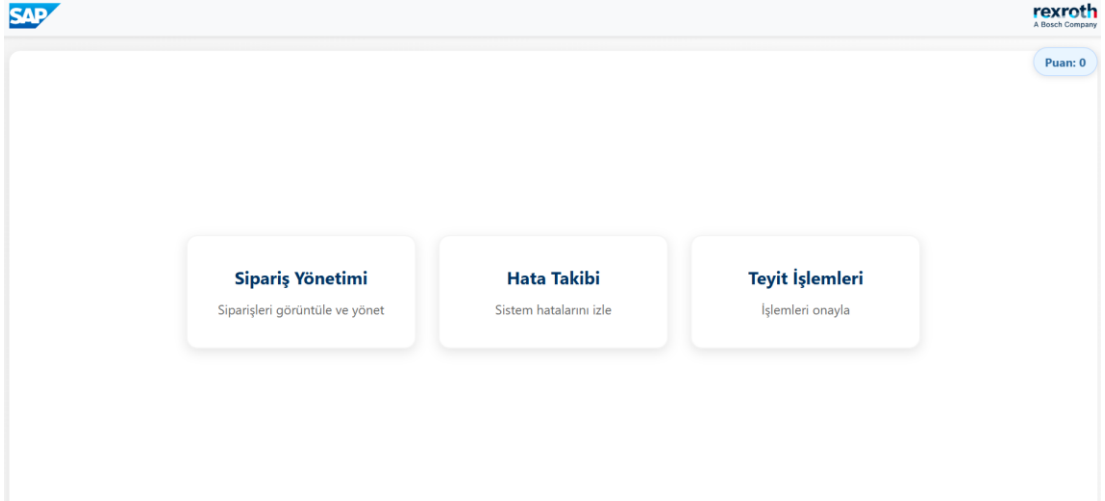
The screenshot shows a login interface for the SAP DM Eğitim Modülü. It features a white card on a blue background. The card contains the SAP and rexroth logos at the top, followed by the title 'SAP DM Eğitim Modülü'. Below the title are two input fields: 'Kullanıcı Adı' (Username) and 'Şifre' (Password). The 'Kullanıcı Adı' field has a placeholder text 'Kullanıcı adınızı girin'. The 'Şifre' field has a placeholder text 'Şifrenizi girin'. At the bottom of the card is a blue button labeled 'Giriş Yap' (Login).

Ek a: Giriş Sayfası

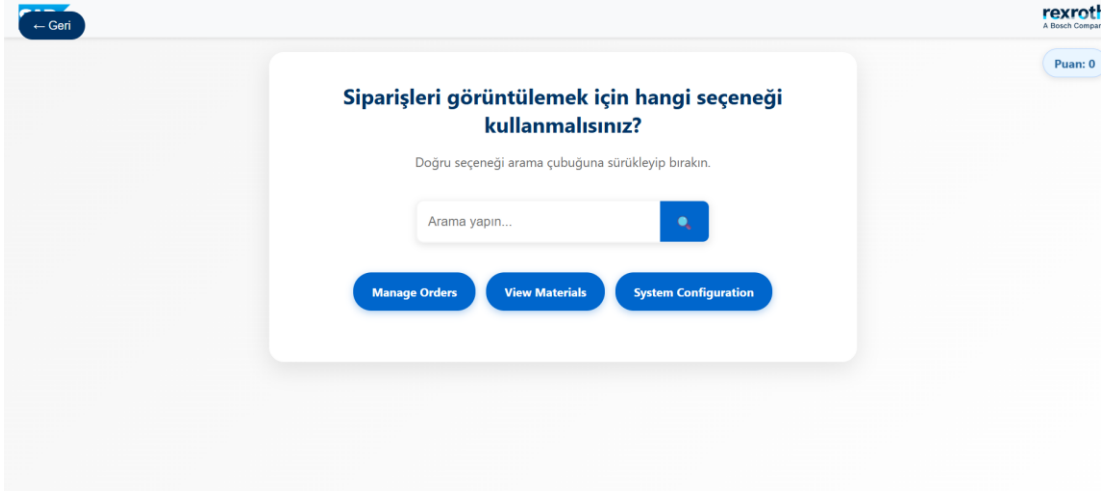


The screenshot shows an introduction screen for the SAP DM Eğitim Modülü. It features a white card on a blue background. The card contains the title 'SAP DM Eğitim Modülü' at the top. Below the title is a paragraph of text: 'Bu sayfa bir MES çözümü olan SAP DM'in kullanılmasını kolaylaştırmak için kullanıcılar için hazırlanan bir alıştırma modülüdür.' (This page is a practice module prepared for users to facilitate the use of SAP DM, a MES solution). At the bottom of the card is a blue button labeled 'Eğitime Başla' (Start Training).

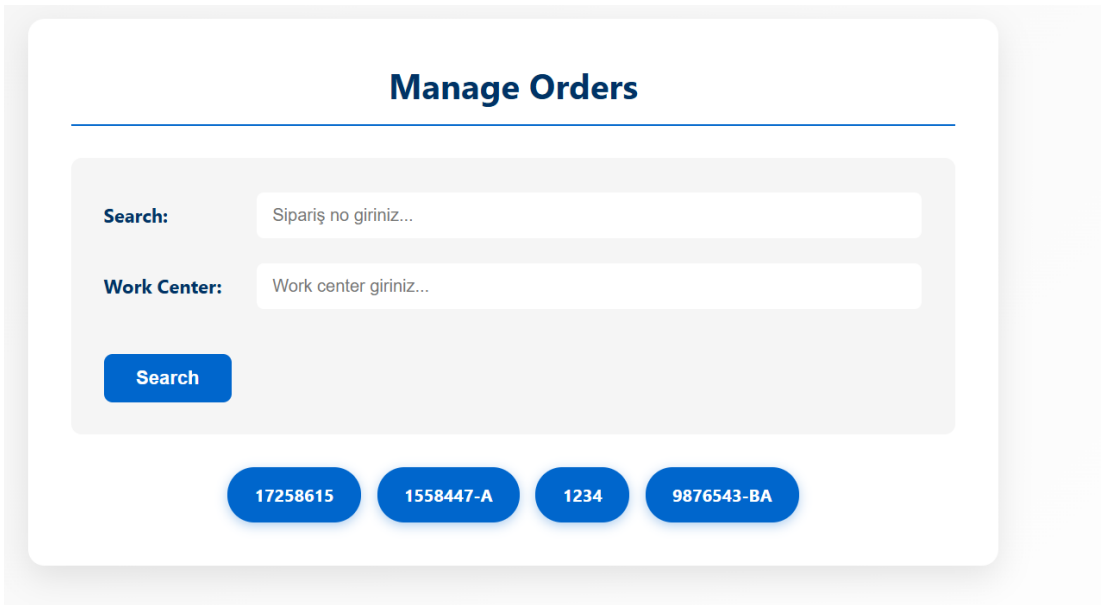
Ek b: Tanıtım Ekranı



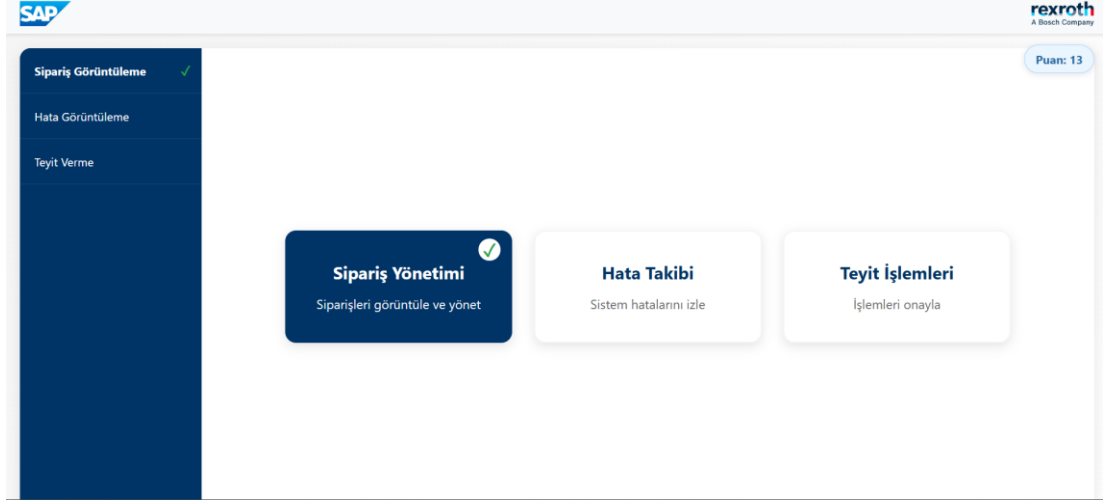
Ek c: Modül Seçimi



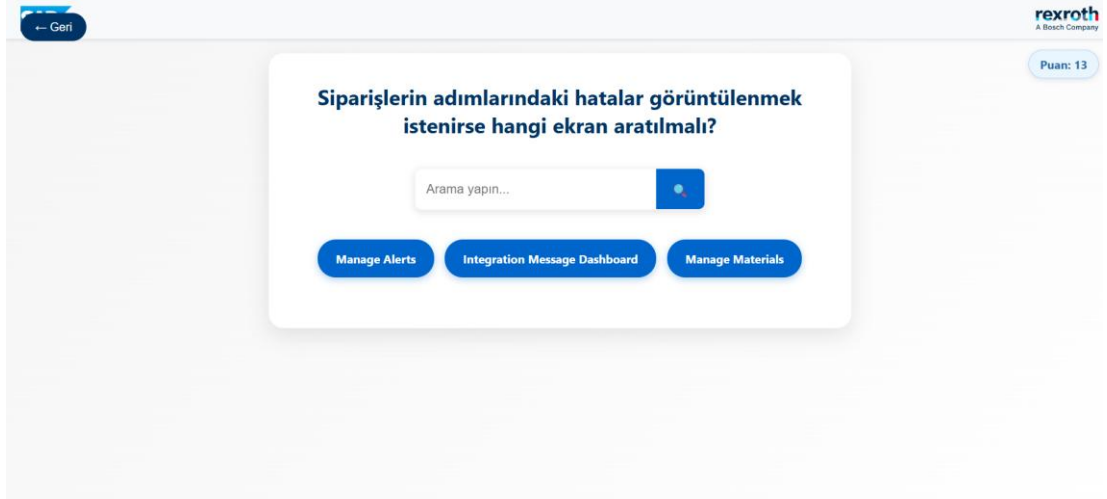
Ek d: Sipariş Görüntüleme Sayfası



Ek e: Manage Orders Sayfası



Ek f: Tamamlanan ve Tamamlanmayan Modüller



Ek g: Hata Takibi Modülü

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Ezgi AYDIN
Doğum Tarihi ve Yeri : 01.01.2002 Muğla
E-posta : ezgiaydiin0@gmail.com

BİTİRME ÇALIŞMASINDAN TÜRETİLEN MAKALE, BİLDİRİ VEYA SUNUMLAR:

- Wang, L., Törngren, M., & Onori, M. (2015). Current status and advancement of cyber-physical systems in manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 37, 517–527. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2015.04.008>
- Tao, F., Zhang, M., Liu, Y., & Nee, A. Y. C. (2019). Digital twin driven smart manufacturing: Past, present and future. *CIRP Annals*, 68(2), 103–122. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.03.005>