



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**KURUMSAL KAYNAK PLANLAMA
SİSTEMLERİ İLE ÜRETİM YÜRÜTME
SİSTEMLERİNİN BÜTÜNLEŞTİRİLMESİ VE
TOPLAM EKİPMAN ETKİNLİĞİ VERİLERİNİN
İZLENMESİ: İMALAT SANAYİNDE BİR
UYGULAMA**

Gizem KOYUNCU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Şubat-2024
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Gizem KOYUNCU tarafından hazırlanan “Kurumsal Kaynak Planlama Sistemleri ile Üretim Yürütme Sistemlerinin Bütünleştirilmesi ve Toplam Ekipman Etkinliği Verilerinin İzlenmesi: İmalat Sanayinde Bir Uygulama” adlı tez çalışması 06/02/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Yakup KARA
(Konya Teknik Üniversitesi)

Danışman

Dr. Öğr. Yakup ATASAGUN
(Konya Teknik Üniversitesi)

Üye

Dr. Öğr. Kemal ALAYKIRAN
(Necmettin Erbakan Üniversitesi)

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Gizem KOYUNCU
Tarih: 06.02.2024

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KURUMSAL KAYNAK PLANLAMA SİSTEMLERİ İLE ÜRETİM YÜRÜTME SİSTEMLERİNİN BÜTÜNLEŞTİRİLMESİ VE TOPLAM EKİPMAN ETKİNLİĞİ VERİLERİNİN İZLENMESİ: İMALAT SANAYİNDE BİR UYGULAMA

Gizem KOYUNCU

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Yakup ATASAGUN

2024, 54 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Yakup ATASAGUN
Prof. Dr. Yakup KARA
Dr. Öğr. Kemal ALAYKIRAN

Teknolojinin hızla ivme kazanmış olduğu son dönemlerde üretim sektöründe de önemli değişimler yaşanmıştır. Yaşanmış olan değişimler sektöre üretici olarak hizmet eden firmaları dönüşüme ayak uydurmaya zorlar konuma getirmiştir. Firmalar mevcut şartlarda sürdürülebilirlik sağlamak için otomasyon sistemlerinin çözümlerinden faydalanmayı ilke edinmişlerdir.

Otomasyon çözümleri endüstriyel otomasyon kavramı ile ilişkilidir. Endüstriyel otomasyon sistemleri üretim sektöründe hizmet sektörüne nazaran daha sık tercih edilirler. Bu sistemler insan gücüyle yapılan işleri bilgisayarlı makinelere ve bilgi teknolojilerine entegre etmeye dayalı sistemlerdir. Endüstriyel otomasyon çözümleri belirli bir hiyerarşi çerçevesinde sunulan çözümleri içermektedir. Bu çerçevenin içerisinde üretim ile ilgili her türlü bilgiye anlık olarak çevrimiçi bir portal üzerinden ulaşmayı sağlayan üretim yürütme sistemleri de yer almaktadır. Üretim yürütme sistemleri üretim ile ilgili verilerin yönetimi ve izlenebilirliğine imkan sunmaktadır. Diğer yandan şirketin tüm iş süreçlerine ait verilerinde yönetilebilir ve izlenebilir olması gerekmektedir. Bu yapı ise kurumsal kaynak planlama sistemleri ile sağlanabilmektedir. Endüstriyel otomasyon süreci bu iki sistemi de içerisinde barındıran geniş kapsamlı bir kavramdır.

Bu çalışmada endüstriyel otomasyon sürecine geçiş kapsamında üretim yürütme sistemleri ve kurumsal kaynak planlama sistemlerinin entegrasyonunu aracılığıyla toplam ekipman etkinliği verilerinin izlenmesine ve imalat sanayinde yapılmış olan örnek bir uygulamaya yer verilmiştir. Çalışma kapsamında şirketteki verilerinin aylık periyotlardaki değişimi gözlemlenmiştir. Toplam ekipman etkinliği verileri artış eğilimi gösterirken, kalite verilerinde ise ürün bazında hurdaya ayrılma değerinde bir azalma saptanmıştır.

Anahtar kelimeler: Endüstriyel otomasyon, kurumsal kaynak planlaması, üretim yürütme sistemi

ABSTRACT

MS THESIS

INTEGRATION OF ENTERPRISE RESOURCE PLANNING SYSTEM WITH MANUFACTURING EXECUTION SYSTEM AND MONITORING OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS DATA: AN APPLICATION IN THE MANUFACTURING INDUSTRY

Gizem KOYUNCU

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Industrial Engineering**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Yakup ATASAGUN

2024, 54 Pages

Jury

Asst. Prof. Dr. Yakup ATASAGUN

Prof. Dr. Yakup KARA

Asst. Prof. Dr. Kemal ALAYKIRAN

In recent times, when technology has gained momentum, significant changes have also occurred in the production sector. The changes that have been experienced have forced the companies that serve the sector as producers to keep up with the transformation. Companies have adopted the principle of utilizing solutions of automation systems to ensure sustainability in current conditions.

Automation solutions are associated with the concept of industrial automation. Industrial automation systems are preferred more frequently in the production sector than in the service sector. These systems are systems based on integrating human-powered work with computerized machines and information Technologies. Industrial automation solutions include solutions presented within a certain hierarchy. Within this framework, there are also manufacturing execution systems that provide instant access to all kinds of information about production through an online portal. Manufacturing execution systems are related to the management and traceability of production-related data. Manufacturing execution systems allow the management and traceability of production-related data. On the other hand, the data of all business processes of the company must be manageable and traceable.

In this study, monitoring of total equipment effectiveness data through the integration of production execution systems and enterprise resource planning systems within the scope of transition to the industrial automation process and an example application made in the manufacturing industry are included. Within the scope of the study, the changes in the company's data in monthly periods were observed. While total equipment effectiveness data showed an increasing trend, a decrease in the scrap value on a product based was detected in quality data.

Keywords: Enterprise resource planning, industrial automation, manufacturing execution system

ÖNSÖZ

Üretim sistemlerinde teknolojik gelişmelerin yaşanması tüm dünya işletmelerinde rekabet ortamının oluşmasına neden olmuştur. İşletmeler bu rekabet ortamında varlıklarını sürdürebilmek için üretim ve hizmet sektörüne farklı bir yaklaşım getirmeye odaklanmışlardır. Tüm süreçlerde maliyetleri azaltma, israfı elimine etme, değer yaratma, kaliteyi, esnekliği ve verimliliği arttırmaya yönelik teknikleri bünyelerine adapte etmeye odaklanmışlardır. İşletmeler tüm bu belirtilen hedeflere ulaşma sürecinde otomasyon sistemlerinin sağlamış olduğu başarılarından oldukça etkilenmişlerdir. Otomasyon sistemlerinin sunmuş olduğu çözümler sektörel olarak farklılık göstermektedir. Otomasyon sistemleri içinde sensörleri, ağları, üretim yürütme sistemini, kurumsal kaynak planlamayı barındırmaktadır. Bakıldığında birbirinden çok ayrı kavramlar olarak gözükyor olsalar da aynı sistem içerisinde birlikte yer aldıkları zaman işletmeye sağlayacak oldukları faydanın maksimum olması kaçınılmazdır.

Yapılmış olan bu çalışmada endüstriyel otomasyon sisteminin hiyerarşisinden başlayarak otomasyon çözümlerine, üretim yürütme sistemlerine, kurumsal kaynak planlama sistemlerine ve bu iki sistemin birbiri ile olan ilişkine detaylı olarak yer verilmiştir. Ayrıca yapılmış olan bu çalışma imalat sanayinde örnek bir uygulama ile desteklenmiş olup; sistemlerin entegre olarak çalışmasındaki avantajlara ve beraberinde de elde edilmiş olan toplam ekipman etkinliği verilerine yer verilmiştir.

Gizem KOYUNCU
KONYA-2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
3.MATERYAL VE YÖNTEM.....	10
3.1. Materyal.....	11
3.1.1. Endüstriyel otomasyon	12
3.1.2. MES ve ERP sistemlerinin entegrasyonu.....	22
3.1.3. Toplam ekipman etkinliği.....	26
3.2. Yöntem	28
3.2.1. Saha donanımları ve uygulanması.....	29
3.2.2. Otomatik kontrol seviyesi ve uygulanması.....	29
3.2.3. Üretim sürecini destekleyici fonksiyonlar ve uygulanması	29
3.2.4. Üretim yürütme sistemi (MES) ve uygulaması	31
3.2.5. ERP ve MES yazılımlarının entegrasyonu uygulaması	32
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	36
4.1. Kalite Verilerinin İzlenmesi	36
4.2. Üretimde Meydana Gelen Duruşların Analizi	40
4.3. Toplam Ekipman Etkinliği Verilerinin İzlenmesi	45
5.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	48
KAYNAKLAR	51

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

- API: Application Programming Interface \ Uygulama Programlama Ara Yüzü
- APS: Advanced Planning and Scheduling \ Gelişmiş Planlama ve Çizelgeleme
- CIM: Computer Integrated Manufacturing \ Bilgisayarla Bütünleşik Üretim
- DCS: Distributed Control Systems \ Dağıtılmış Kontrol Sistemleri
- EDI: Electronic Data Interchange, \ Elektronik Veri Değişimi
- ERP: Enterprise Resource Planning \ Kurumsal Kaynak Planlaması
- GM: General Motors
- HMI: Human-Machine Interface \ İnsan Makine Arayüzü
- KPI: Key Performance Indicator \ Kilit Performans Göstergesi
- LAN: Local Area Network \ Yerel Alan Ağları
- MES: Manufacturing Execution System \ Üretim Yürütme Sistemi
- MRP: Materials Requirement Planning \ Malzeme İhtiyaç Planlaması
- MRP II: Manufacturing Resources Planning \ Üretim Kaynakları Planlama
- OEE: Overall Equipment Effectiveness \ Toplam Ekipman Verimliliği
- PC: Personal Computer \ Kişisel Bilgisayar
- PLC: Programmable Logic Controller \ Programlanabilir Mantıksal Denetleyici
- PLM: Product Lifecycle Management \ Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi
- PID: Proportional Integral Derivative \ Oransal İntegral Türevsel
- SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition \ Veri Tabanlı Kontrol ve Gözetleme Sistemi
- TPM: Total Productive Maintenance \ Toplam Üretken Bakım
- WSDL: Web Services Description Language \ Web Servis Tanımlama Dili

1. GİRİŞ

Üretim sektöründe küresel boyutta yaşanmış olan önemli endüstriyel değişimler sonrası şirketler hem sürdürülebilirliklerini sağlamak hem de mevcut durumda rekabet edebilmek adına daha verimli üretim yaparak işletme maliyetlerini düşürme ihtiyacı duymuşlardır. Bu durum teknolojik ilerleme hedeflerinin önemli kabiliyetler ile donatıldığı otomasyon sistemlerine olan talebin artmasına yol açmıştır. Sektörel açıdan farklı amaçlara hizmet eden şirketler cihaz ve ekipmanlarını otomasyona bağlayarak bu trendi yakalamayı, müşteri beklentilerine daha iyi karşılık vermeyi, daha güvenli ve verimli iş süreçleri yönetimini amaç haline getirmiştir. Dijital teknolojiler üretimin, işlerin, iş yapma modellerinin ve insan kaynağının dönüşmesine neden olan teknolojilerdir. Bu teknolojiler hem üretim hem de hizmet sektörünün operasyonel iyileştirmelerinde uygulanabildiği gibi aynı zamanda değişme eğiliminde olan müşteri isteklerine cevap vermek için de kullanılabilir. Dijital teknolojiler aracılığı ile daha verimli üretim süreçleri ekonomi döngüsünü destekleyerek sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır.

Büyüme ivmesine yön vererek iş yapma şekillerinin değişmesine sebep olan bu süreç endüstriyel otomasyona geçiş olarak adlandırılabilir. Endüstriyel otomasyon aynı zamanda hizmet ya da üretim sektöründe yer alan bir işletmenin tüm iş süreçlerini kapsayan ki buna mühendislik, planlama ve lojistik gibi operasyonel süreçler örnek verilebilir, kalite standartlarını ön planda tutarak maliyet ve kaynak kullanımı gibi ölçütleri optimize edebilen dinamik bir değer zinciri olarak ifade edilebilir. Endüstriyel otomasyon çözümleri, uygulandığı süreç içerisinde yer alan çıktının kalitesini arttırırken eş zamanlı olarak süreç maliyetlerini düşürerek verimlilikte iyileşmelerin meydana gelmesini sağlamaktadır. Otomasyon çözümlerinin kuruma sağlayacağı faydaların artışı ile proses hacmi ve karmaşıklığı arasında doğru bir orantı mevcuttur. İş süreçleri ve üretim süreçleri birçok farklı operasyonun bulunduğu senkronize üretim tesislerinde birbirlerinden bağımsız olarak yönetilemezler.

Tüm süreçlerin entegre olarak yönetildiği bu gibi işletmelerde, alınmış olan kararlar ve yapılan uygulamalar zincirleme etkiler doğuracak niteliktedir. Bu gibi durumlarda, oluşacak olası sorunların önüne geçmek için proses otomasyonu ile birlikte üretim yürütme sistemi (MES) ve kurumsal kaynak planlama (ERP) çözümlerinin merkezi bir otomasyon çözümü olarak birlikte değerlendirilmesi kaçınılmazdır. Kurumsal Kaynak Planlaması (Enterprise Resource Planning-ERP); bilgi ve iletişim teknolojilerinde yaşanan gelişmelere paralel olarak artan bilgisayar kullanımı ile ortaya çıkan yeni bir yönetim ve iş yapma modelidir. Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP), işletmelerin tedarikten dağıtıma kadar olan tüm süreçlerinin uçtan uca entegre bir bilgi yönetim sistemi desteğiyle yönetilmesini sağlayan kapsamı geniş bir bilgisayar yazılımıdır. Üretim Yürütme Sistemlerini (Manufacturing Execution System-MES) ise işletme kontrol sistemleri ile iş sistemlerini senkronize eden ve çoğunlukla atölye seviyesinden en üst seviyeye kadar entegrasyon olarak tanımlanan bir katman olarak ifade etmek mümkündür.

Çalışma kapsamında endüstriyel otomasyon sisteminin süreçleri ele alınmıştır. Süreç adımlarının teknik ve uygulamadaki kapsamlarına yer verilmiştir. Endüstriyel otomasyon piramidinin katmanları arasında yer alan üretim yürütme sistemleri ve kurumsal kaynak planlama sistemlerinin literatürüne değinilerek bu iki sisteminin uygulama da hangi yöntemler ile entegre çalışabileceğine dair detaylar aktarılmıştır. Bu iki sistemin entegre olarak yönetilmiş olduğu işletmeye sağladığı faydalara; saptanmış olan veriler ile yer verilerek yapılmış olan çalışma gerçekçi veriler ile de desteklenmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Dijitalleşme, farklı farklı alanlarda son zamanlarda sıkça karşımıza çıkan bir kavramdır. Bilgi sistemlerinin temelini oluşturan aynı zamanda sayısallaşmayı da ifade eden bir kavramdır. Analog verilerden sayısal olarak dönüştürülen veriler, bilgisayar tarafından işlenerek yönetilebilir duruma gelmektedir. Şirketlerin üretim süreçlerini değiştirmelerine sebep olan dijitalleşme başta internet olmak üzere dijital teknolojilerin ve yazılım uygulamalarının kullanılmasıyla süreçlerin otomasyonu olarak işletmelerde ortaya çıkmıştır. Dijital dönüşüm ise şirketlerin üretim süreçlerini, iş yapış modellerini ve kurumsal yapılarını da kapsayan dijital teknolojilerin şirket süreçlerine entegrasyonunun bir sonucu olarak adlandırılmaya başlamıştır. Dijital dönüşüm, Avrupa Komisyonu tarafından “fiziksel ve dijital sistemlerin entegrasyonu ile yenilikçi iş modellerinin, yeni süreçlerin ve akıllı üretim hizmetlerinin oluşması” olarak tanımlanmıştır. Dijital dönüşüm, şirket bünyesinde köklü bir değişikliğin temelini oluşturur ve müşteri ilişkileri yönetiminden şirketin üretim süreçlerine kadar zincirleme bir değişime sebep olur (Matt ve diğ., 2019). Dijital dönüşüm kavramı ile ilgili yapılan açıklamalara bakıldığı zaman ortak paydada hepsinin dijital dönüşümün; başlı başına bir değişiklik olduğu ve işletmelerin yalnızca iş süreçlerini değil bunun yanında iş modellerini, müşteri ilişkilerini, iş tanımlarını, çalışan profillerini ve yetkinliklerini ek olarak işletme kültürünü de etkilediği ifadesine yer verdikleri görülmüştür (Klein, 2020).

Üretim maliyetlerini minimize etmek, proseslerde operasyonel esnekliğe sahip olmak ve daha verimli iş süreçleri yönetimi şirketler için rekabet anlamında avantaj sağlamak adına bir gerekliliktir. (Timur ve Kılıç, 2021). Bunlar pek çok farklı sektörde üretim yapan her işletme için ortak paydadaki taleplerdendir (Oktaç ve diğ., 2021). Üretimde süreç bilgisi optimizasyonu, enerji verimliliği ve düşük maliyet yönetimi için üretim proses kontrol ve otomasyon sistemleri çözümlerinden faydalanılabilir (Edgar Thomas ve Efstratios, 2018, Timur ve Kılıç, 2021, Türkan, 2021). Operasyonel işlerde ve mühendislik altyapısında kaliteyi ön planda tutarak verimliliği arttırmak ve maliyetleri azaltmak isteyen şirketler için dijitalleşme ve endüstriyel otomasyon sistemleri ön plana çıkan unsurlar arasındadır. Veri kullanılabilirliği ve tutarlılığı dijitalleşme ve akıllı üretim söz konusu olduğu zaman üretim yapan her işletme için en temel mesele olarak ele alınması zorunlu kalınan konulardandır (Monostori, 2014). Birbirinden farklı ardışık sistemden oluşan proseslerin endüstriyel otomasyon ve kontrol sistemleri uygulamaları “Proses Otomasyonu” kavramı ile açıklanmaktadır. Üretimdeki

fiziksel faaliyetleri gözlemlemek, proseslere ilişkin operasyonel iletişim ve akıllı üretim sistemi oluşturmak dijital işletmeler için amaç niteliği taşımaktadır. Bu sayede uçtan uca birbirine entegre ve endüstriyel ağa bağlı üretim yapan fabrikalar, makineler ve cihazlar, minimum manuel müdahale gerektirecek şekilde akıllı ve kısmen özerk bir şekilde hareket edebilecektir (Gao ve diğ., 2015).

Aşağıda farklı konu başlıkları üzerine literatürde endüstriyel otomasyon, kurumsal kaynak planlama ve üretim yürütme sistemlerine dair yapılmış çalışmalara yer verilmiştir.

Endüstriyel otomasyon sistemleri, üretim hatlarının amaca uygun çalışmasını koordine ederek üretim ile ilişkili bütün sistemlerin birbiri ile olan veri alışverişini sağlayarak daha iyi planlama ve yönetim için gereken bilgiyi oluşturan sistemlerdir (Düzakın ve Sevinç, 2002).

Endüstriyel otomasyon sistemlerini aynı zamanda endüstriyel süreçleri istenilen periyotlarda kontrol eden ve gerçek zamanlı olarak izleyen sistemler olarak tanımlamak mümkündür. Bu sistemler ana hatları ile iki başlık altında ele alınmaktadır. İlk başlığın kapsamı; kontaktörler, röleler ve sayıcılar gibi mekanik bileşenleri içeren klasik kumanda metodundan oluşmaktadır. İkinci başlığın kapsamı ise kalite, güvenilirliği ve kolay kurulumu nedeni ile endüstride daha çok tercih edilen PLC (Programmable Logic Controller\ Programlanabilir Mantıksal Denetleyici) tabanlı otomasyondur (Bayındır ve diğ., 2011). Endüstriyel tesislerin PLC'ler aracılığı ile uzaktan kontrol edilmesi ve gözlemlenmesinde denetleme, kontrol ve veri toplamak için SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition \ Veri Tabanlı Kontrol ve Gözetleme Sistemi) sistemleri kullanılmaktadır. İlk olarak SCADA yazılımlarının oluşturulması fikri doğalgaz dağıtım şirketi olan Arkla Energy Resources tarafından 1971 yılında öne sürülmüştür (Bayındır ve diğ., 2011).

Bayındır ve diğ., (2011) yapmış oldukları çalışmada sıvı depolama tanklarının sıcaklık, basınç ve sıvı seviyelerine ilişkin verilere ulaşmak amacı ile PLC tabanlı bir izleme ve kontrol sistemi kurmuşlardır. Su tankına ilişkin veriler PLC üzerinde yer alan analog girişlerden okunurken elden edilen verilerin saklanması ve sistemin denetimi ise SCADA üzerinden sağlanmıştır (Bayındır ve diğ., 2011).

Üretim yürütme sistemleri kurumsal kaynak planlama sistemleri ile üretim hattı arasındaki gerçek zamanlı bilgi akışını koordine eden sistemler olarak tasarlanmıştır. Üretim hattının durumunu, hatta yapılmış ya da yapılması planlanan değişikliğin

etkilerini, hangi proseslerde ne tür gecikmelerin yaşanacağına anlık olarak ortaya çıkaran bir raporlama ve karar mekanizması niteliğindedir.

Kocabay (2019), ürünün tasarım sürecinden üretim içindeki iş istasyonlarının yoğunluklarını ve nihai ürünün depoya teslimine kadar olan süreci anlık olarak izleyebilmek için bir üretim yürütme sistemi tasarlamıştır. Tasarlamış olduğu sistemin analizi için dijital ikiz oluşturmuştur. Dijital ikiz önde gelen akıllı üretim sistemleri arasında yer almaktadır. Akıllı üretim sistemleri; ürün yaşam döngüsü boyunca verilerin gerçek zamanlı aktarımına ve analizine imkan tanımaktadır. Dijital ikiz, fiziksel aktiviteleri sanal dünya ile bütünleştirmek için yeni bir araçtır. Dijital ikizin oluşturulmasında temelde iki amaç mevcuttur. Birinci kullanım amacı; sistemin uzun dönemli değerlendirilmesidir. Bu amaç için üretim hattından örneklemlen alan beş farklı ürün kullanmıştır. Bu yöntemle üretim hattındaki iş yoğunluklarını ve darboğazları tespit etmiştir. İkinci kullanım amacındaki gözlemleri yapabilmek için ise üretim yürütme sistemi çıktısı ile dijital ikizi entegre etmiştir. Bu sayede, sisteme plan dışı giren bir ürünün üretim hattından ne zaman çıkacağı, hangi proseslerde kuyruklar oluşacağı, oluşan bu kuyruk büyüklüklerinin ne olacağı ve dar boğazların nerelerde meydana geleceği çevrimiçi olarak tespit edilebilmektedir (Kocabay, 2019).

ERP sistemleri bilgilerin veri tabanında toplandığı ve elektronik ortamda sürekli işlendiği bütünleşik sistemlerdir. Bu sebeple ERP sistemlerinin sürekli denetimi oldukça önemlidir. Sürekli denetim, modern denetim yöntemlerinin en son aşamasında bulunmaktadır. Bilgisayar destekli denetim tekniklerini (Computer Assisted Auditing Techniques) ve elektronik denetim görevlerini içine alan bütünleşik yapının teknolojik altyapısına dayanan denetim politika ve prosedürleri sürekli denetim kavramı olarak ifade edilmektedir. Bilgi teknolojileri üzerinden yüksek risk barındıran faaliyetlerin ve gerçek zamanlı işlemlere yönelik hataların otomatik olarak izlenmesi ve uzaktan gözlemlenmesi sürekli denetimde temel faktördür (Teeter ve diğ., 2010). ERP sistemleri yapısı itibari ile sürekli denetime gereksinim duymaktadır. Sevim ve Bülbül (2017), yaptıkları çalışmada duyulan bu gereksinim çerçevesinde kullanılan araçlardan biri olan yapay zeka sistemlerinin sürekli denetime katkısı üzerinde durulmuşlardır. ERP sistemleri denetiminde araç olarak kullanılan yapay zekâ sistemleri, gözlem ve analiz etme faaliyetlerinin yanı sıra ihtiyaç halinde gerekli denetim modüllerini çalıştırarak kendi kendine karar verebilen sistemlerdir. Sürekli denetim kapsamında, kanıt toplayabilen, elde edilen veriler doğrultusunda tahmin ve mantık yürütebilen yapay zeka sistemleri, veriyi analiz edip kendi kendine karar verebilen, varsayımlar üzerinde fikir

yürütebilen aynı zamanda öğrenen makinelerle yapılmaktadır. Programlanmış varsayımlarla boşluk doldurma yöntemini mevcut verilerin yetersiz olması durumunda kullanabilen yapay zekâ sistemleri, sistemdeki veriyi bütüncül bir yaklaşımla değerlendirme kabiliyetine sahip olmaktadır (Pathak, 2005). Bu sayede, karar alma algoritmaları geliştiren; veri tabanından ve sensörlerden bilgiyi alabilen yapay zeka sistemleri istatistiki yöntemler, anlaşılması zor veri analizi, programlama dilleri ve yapılandırılmamış veriden de faydalanarak yönetim kontrol sistemlerinin otomasyonunu maksimum seviyeye getiren önemli bir faktör konumuna gelmektedirler (Elbashir ve Collier, 2011).

İşletme bünyesinde pek çok fonksiyonun entegre çalışmasına imkan tanıyan, kaynak yönetimi yapabilen bilgi sistemleri bütünü “Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP)” olarak tanımlanmaktadır (Karadede ve Baykoç, 2006). Tüm şirketler iş süreçlerini yönetebilmek ve değerlendirmek için ERP sistemine gereksinim duymaktadır. Bu bağlamda tüm şirketler kuruluş aşamasında ya da çalışma hayatında iş süreçleri devam ederken bir ERP implementasyon süreci yaşamıştır. Erdinç (2019), Kurumsal Kaynak Planlama Sistemlerinin şirket performansına etkilerini analiz ederek, bu sistemler hakkında farkındalık oluşturmak amacıyla ERP yönetimi kullanarak yeniden yapılanan şirketlerde değişim mühendisliği performansını ölçülmesini ele almıştır. Araştırmasında ERP sistemlerinin şirket performansı üzerindeki etkilerini ölçmek için yedili likert tutum ölçeğinin kullanıldığı 40 sorudan ve üç bölümden oluşan bir anket uygulamıştır. Analiz sonuçlarında ERP sistemlerinin ve Değişim Mühendisliğinin şirket performansı üzerinde doğrudan ve kayda değer bir şekilde pozitif yönde etkili olduğu gözlemlenmiştir (Erdinç, 2019).

Kurumsal Kaynak Planlama Sistemleri; sahip oldukları elektronik veri değişimi (EDI) modülleri ve webservisler aracılığı ile üretim yürütme sistemlerinin yanı sıra ürün yaşam döngüsü yönetimi (PLM) yazılımları ile de entegre olabilen yazılımlardır.

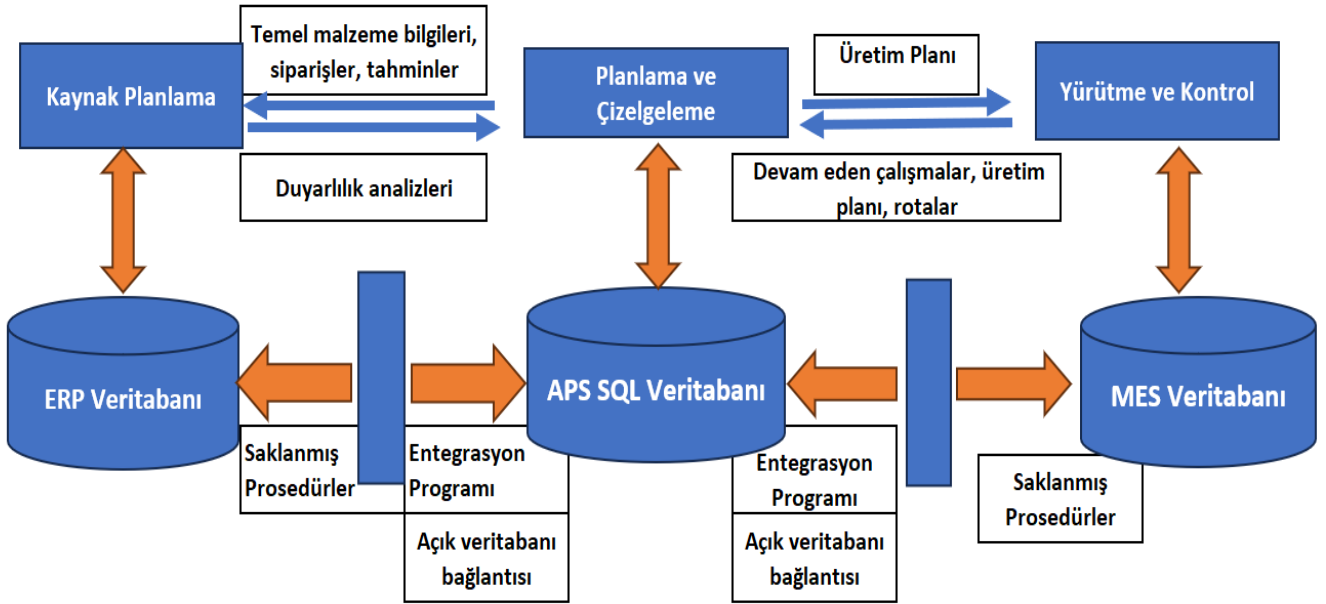
Zenginoğlu (2022), Kurumsal Kaynak Planlama ve Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi yazılımlarının entegrasyon süreçlerini içeren bir çalışma yapmıştır. Yapmış olduğu bu çalışmada entegrasyon sürecinde yaşanabilecek aksaklıklara ve aksaklıkların sistematik çözüm yöntemlerine yer vermiştir. Ayrıca çalışmasında bu iki sistemin entegre olması durumunda hangi departmanların senkronize çalışabileceğine ve şirkete ne gibi kazanımlar sağlayacağına da yer vermiştir. ERP ve PLM yazılımının entegrasyonu ile müşteri isteği doğrultusunda istenilen yüksek kalite ve özelliklerde ürünler geliştirilebilir. ERP ve PLM yazılımının entegrasyonu tasarımdan itibaren ürün

seeneklerinin aktif yönetimi ile pazara giriŖe kadar olan süreci hızlandırılarak, finansal gelirlerde iyileŖmeler ve sonraki srelerde de geri dnŖm alıŖmalarının daha verimli hale getirilmesine imkan sunmaktadır (Zenginoğlu, 2022).

Halıcı (2022), Kurumsal Kaynak Planlama Sistemi ve retim Yürütme Sisteminin birbirine entegre edilmesi konusunda yapmıŖ olduğu alıŖmada bir Ŗirketin imalat srelerini ele almıŖtır. alıŖma kapsamında mevcut durum analizi yapılarak üretim sahasından teknolojik veri toplama yöntemlerinin benimsenmesi ve toplanan verilerin analizinin önemine yer verilmiŖtir. Ayrıca yapılmıŖ olan alıŖma aracılığı ile iyileŖtirme gereksinimi olan odak alanlar belirlenmiŖ ve sreler iin iyileŖtirme planları oluŖturulmuŖtur. alıŖma kapsamının iyileŖtirme planlarının ıktısına manuel veri toplama metodundan uzaklaŖarak otomasyon sayesinde iŖ merkezleri arasında haberleŖmeyi sağlayan teknolojik veri toplama metoduna geiŖin test sürümünün devreye alınması örnek teŖkil etmektedir (Halıcı, 2022).

Parlak (2022), yapmıŖ olduğu alıŖmada alüminyum enjeksiyon kalıplama sektörüne hizmet eden bir firmanın üretim srelerinin üretim yürütme sistemi ile takibini ele almıŖtır. Firma bünyesine yönelik yapılmıŖ olan alıŖmada dijital dnŖm öncesi ve dijital dnŖm sonrası elde edilmiŖ olan üretim hattı verilerinin gözlem ve sonularına yer verilmiŖtir. Dijital dnŖm öncesi srete iŖ emri verileri kâğıt üzerinde hattan manuel yöntemler ile alınmaktaydı. Buna bağlı olarak da kayıp zamanlar, duruŖlar ve olası arızaların net tespiti yapılamamaktaydı. YapılmıŖ olan alıŖmada firmanın üretim takip sreleri kurulumu devam eden üretim yürütme sistemi (MES) aracılığı ile yapılmaya baŖlanmış ve elde edilen veriler periyodik olarak ele alınarak iyileŖtirme fırsat alanları ve iyileŖtirmeler raporlanabilir hale getirilmiŖtir (Parlak, 2022).

Liu ve diğ., (2002) yapmıŖ oldukları alıŖmada yarı iletken arka u montajı iin GeliŖmiŖ Planlama ve izelgeleme (Advanced Planning and Scheduling-APS), ERP ve MES sistemlerinin entegrasyonu konusunu ele almıŖlardır. alıŖmalarında APS sistemlerine olan genel bakıŖı ele alarak; sistem entegrasyonu, entegrasyon modeli yapısı ve entegrasyon metodolojisine deđinmiŖlerdir. Yol gösterici nitelikte olması adına sistem entegrasyonu alıŖması esnasında ekibin kazanmıŖ olduğu deneyimlere, uygulama sürecine ve đrenilmiŖ derslere de yer vermiŖlerdir. YapmıŖ oldukları alıŖmada sunmuŖ oldukları entegrasyon modeli yapısı Ŗekil 2.1.'de sunulmuŖtur.



Şekil 2.1. Entegrasyon modelinin tüm yapı boyunca gösterimi (Liu ve diğ., 2002)

Kurumsal Kaynak Planlama Sistemi ve Üretim Yürütme Sistemi aynı veri tabanı üzerinde bağımsız olarak çalışmaktadır. Liu ve diğ., (2002) yapmış oldukları çalışmada böyle bir çalışma ortamı göz önüne alındığı zaman APS sisteminin diğer iki sistem ile iletişim kurması gerektiğini belirtmişlerdir. Kullanılan çizelgeleme sistemi SQL veri tabanında çalışırken ERP ve MES sistemi farklı bir veri tabanını kullanmaktadır. Bu üç sistem iki farklı veri tabanı üzerinde veri alışverişi yapmak zorundadır. Liu ve diğ., (2002) bu veri alışverişinin entegrasyon modelini ve tipik veri türlerini de Şekil 2.1. aracılığı ile modellemişlerdir.

Ayrıca başarı faktörü olarak sistem entegrasyonu tasarımlarında uygulama görevlerinin baştan itibaren tanımlı ve planlı olması gerektiğine vurgu yapmış bulunmaktadırlar. Çift yönlü iletişimin ve kendi ihtiyaçlarını yerine getirmek yerine tüm fonksiyonel grupların ihtiyaçlarını yerine getirmek ve etkili koordinasyon konularına dikkat çekmişlerdir. Benzer şekilde çalışmalarında APS ile iyi uygulanmış olan MES ve ERP entegrasyonunun aşağıdaki iyileşmeleri sağlayacağı ifadelerine de yer vermişlerdir (Liu ve diğ., 2002).

- Daha az değişkenlik ile kaynak kullanımını büyük ölçüde artırır.
- Döngü süresi azaltılır.
- Tüm sistemlerin senkronize çalışması sağlanarak verimlilik artışı ve maliyet tasarrufu sağlanır.
- Esneklik ve yanıt verme hızı açısından şirkete rekabet gücü avantajı sağlar.

Beric ve diğ., (2020) Endüstriyel alanda mevcut bir ERP yazılımı ile MES yazılımının geliştirilmesi ve entegrasyonu adı altında yapmış oldukları çalışmada iş süreçlerinin yönetilmesi ve otomasyon çözümlerinin tarihsel gelişimine yer vermişlerdir. ERP ve MES sistemlerinin açıklanması ve tanımlanması konularını ele alarak; MES'in modellenmesi ve geliştirilmesi için yaklaşım ve yöntemleri sunmuşlardır. Çalışmalarında MES sistemlerinin tercih edilmesindeki temel işlemlere ve ERP ve MES sisteminin birlikte ele alınmasının önemine de yer vermişlerdir. ERP ve MES sisteminin birlikte çalışmış olduğu durumlarda kullanıcıları manuel işlemlerden kurtaracağına da değinmiş bulunmaktadır. Çalışmalarında birleşik metodolojik bir yaklaşımı temel alarak; yaşam döngüsü metodolojisi, prototip yaklaşımı ve nesne yönelimli yaklaşım yöntemini kullanılmışlardır (Beric ve diğ., 2020).

Oman ve diğ., (2017) tarafından Otomotiv endüstrisi tedarik zincirinde MES ve ERP entegrasyonunun etiklerini değerlendirmek amacıyla bir çalışma yapılmıştır. İki sisteminin entegrasyonunu pek çok farklı boyutta göstergeler sağlayan değer referans modeline göre değerlendirmişlerdir. ERP ve MES sisteminin entegrasyonunun öncesi ve sonrası süreci için hız, maliyet ve varlıkları değerlendirerek temel performans göstergelerindeki olumlu değişikliklerin neler olduğuna değinmişlerdir. Bu değişiklikler genel olarak; MES ve ERP entegrasyonu tedarik zincirinde karar vermenin gerçek zamanlı olmasını ve değişim yönetiminin kontrolünü sağlaması şeklindedir. Ayrıca çalışmalarında entegrasyon aracılığı ile yapılan bilgi paylaşımının ortaklar arasında daha hızlı koordinasyon, malzeme akışında hızlanma, sipariş döngü süresinde ve stok maliyetlerinde azalma sağladığı yönünde olan çıkarımlara da yer vermişlerdir.

3.MATERYAL VE YÖNTEM

Kullanılan sistemlerin verimliliğine olan gereksinim iş dünyasındaki değişen ihtiyaçlara paralel olacak şekilde sürekli olarak artmaktadır. Bu durum karşısında mevcut olan sistemlere yapılan modifikasyonlar artan işletme ihtiyaçlarına cevap veremez hale gelmiştir. Bununla birlikte şirketin tüm iş süreçlerini içeren örneğin; finans, insan kaynakları, dağıtım gibi birçok işletme fonksiyonunun da dahil olduğu sistemlere ihtiyaç duyulmaya başlamıştır. Teknolojiler ve pazar şartlarında yaşanmış olan değişim finans, satış, dağıtım ve insan kaynakları işlevlerinin de dâhil olduğu entegre sistemlere olan gereksinimi artırmıştır (Bayraktar ve Efe, 2006). Kurumsal Kaynak Planlaması yazılımlarının gündeme gelişi; Bilgisayarla Bütünleşik Üretim Sistemleri (ürün geliştirme safhasının teknik işlevleri ile üretim sürecini bütünleştiren) ile Dağıtım Kaynakları Planlama Sistemlerinin (işletmelerin ürün dağıtımlarını planlamalarını ve yönetmelerini sağlayan) geliştirilmesi ile olmuştur (Chen, 2001).

Genel bir ifade ile ERP sistemi, işletmelerdeki süregelen bilgi alışverişinin senkronizasyonunu sağlayan ticari yazılım paketleridir (Rajagopal, 2002). Pazarlamadan muhasebeye, satın almadan depolamaya kadar kurum içindeki bütün fonksiyonları birleştiren ve kaynakların planlanması, yönetilmesi ve takip edilmesi için geliştirilmiş bir yazılım paketidir (Laughlin,1999). İşletme fonksiyonlarını bütünleştirebilmesi yönüyle ERP sistemleri, kuruluşun her bir departmanı arası bilgi alışverişinin kolaylaşmasına katkı sağlayan organizasyonel bilgi sistemleridir (Laudon ve Laudon, 2002). ERP sistemleri, müşteri taleplerine en iyi şekilde cevap verilmesi ve süreç maliyetlerinin azaltılması amacıyla farklı coğrafi alanlarda konumlanan üretim, tedarik, dağıtım ve mali kaynakların planlanmasını, koordine edilmesini ve kontrol edilmesini sağlayan stratejik amaca sahip yazılımlardır (Erdil ve Başlıgil, 2011). ERP sistemleri ihtiyacı firmaya göre fonksiyonel olabilecek şekilde tasarlanmış sistemlerdir.

ERP sistemleri, ara katman yazılımı ya da bir işletim sistemi ya da veri tabanı yönetimi yazılımından ziyade bir uygulama yazılımıdır. İşletim mimarisi, uygulama, veri tabanı ve sunucu olmak üzere üç katmanda çalışmaktadır. Hem ana verileri hem de iş süreçlerine ait verileri barındıran bütünleşik veri tabanına sahip uygulamalardır. ERP sistemleri kendisi dışında diğer sistemler ile de entegre çalışma alt yapısına sahip sistemlerdir. Entegre çalışmış olduğu sistemlere “Üretim Yürütme Sistemleri” örnek teşkil etmektedir. Kurumsal Kaynak Planlamanın yanı sıra atölye düzeyindeki faaliyetleri de kontrol etmek için 1990'larda “Üretim Yürütme Sistemi” adı verilen yeni bir üretim yürütme aracı geliştirilmiş ve kullanılmaktadır. Farklı üretim koşullarına

bağlı olarak MES sistemleri izleme, kontrol ve veri toplama gibi çeşitli "yürütme" faaliyetlerini destekleyerek ERP sistemi ile atölye kontrolörleri arasında bir ara yüz sağlamayı amaçlamaktadır. MES sistemleri yapısı itibari ile fabrika düzeyinde yönetme ve izleme süreçlerini kontrol edecek şekilde tasarlanmışlardır. MES, gerçek zamanlı olarak robot, makine monitörleri ve işçilerden dakikalık olarak tüm üretim bilgilerini alır. Bu sistemler bir web servis aracılığı ile ERP sistemleri ile entegre edilebilen sistemler olup entegrasyon sonucu aktarımı en sık yapılan veri ERP sistemleri aracılığı ile açılmış olan iş emirleridir. Üretim yürütme sistemleri kendi kendini kontrol eden bir yapıdadır. Bu sistemler hat, operatör veya ürün için performans tablolarının yanı sıra üretim tesisinin genel kilit performans göstergelerinin tablolarını da sunar. Üretim işlemleri için görünürlük, takip, izleme ve temel üretim operasyonlarını sağlar (Anonim 5, 2021). MES sistemleri; üretim hattını anlık izlenebilmesi, kontrol ve veri toplamının yanı sıra kullanılabilir zaman, verim ve kalite verilerinin hesaplanabilir olmasını da sağlamaktadır. Bu üç çıktı; üretim uygulamalarında kullanılan araçlardan biri olan toplam ekipman etkinliği (Overall Equipment Effectiveness - OEE) verisini oluşturmaktadır. Toplam ekipman etkinliği kavramı temelde üç bileşen ile ilişkilidir. Bunlar; makine ve ekipmanların uygunluğu, üretilen kaliteli ürün oranı ve performans etkinliği olarak ifade edilebilir (Chand ve Shirvani, 2000). Kaliteli bir ürün üretmek için zamanın etkili kullanımının belirli kriterlere göre değerlendirilmesi OEE hesaplaması anlamına gelmektedir. Endüstriyel anlamda kabul görmüş geçerli bir performans ölçütüne OEE verisi örnek teşkil etmektedir (Tsarouhas, 2012). MES sistemleri aracılığı ile OEE verileri saptanabilir hale gelmektedir. MES sisteminin çıktısı olan OEE verisinin girdisi ise ERP üzerinde açılmış olan iş emri verileridir.

3.1. Materyal

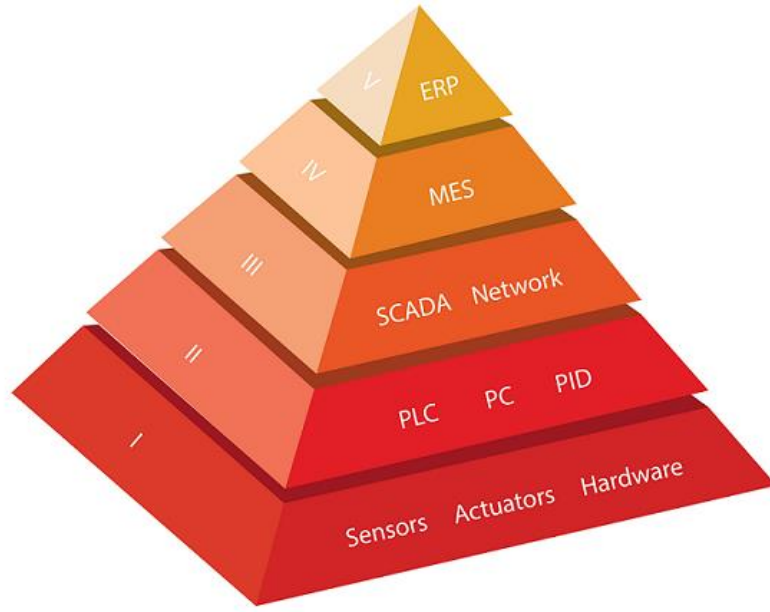
Endüstrideki insan gücü ve çalışan ihtiyacını azaltmak, bununla birlikte maliyetleri dengelemek ve hata oranlarını minimum seviyede tutmak için endüstriyel otomasyon, sektörel anlamda sanayileşmiş tüm toplumların özenle üzerine evrilmesi gerektiği ve bu yönde yapılmış ya da yapılacak olan çalışmalara destek vermesi gerektiği bir konudur. Tüm sanayi kollarında karşımıza çıkıyor olması bu konunun ne derece önemli olduğunu hissettirmektedir. Gelişim seviyesinin bu kadar ileriye taşınması ihtiyaç duyulan ekipmanlarda da farklı isterleri ortaya çıkarmakta ve bu isterler de zamanla iş görenden bağımsız hale gelerek otomatikleştirilmektedir. Oluşturulmuş olan büyük sistemlerde kullanılan makine, cihaz ve ekipman mikro

işlemci tabanlı bir kontrolör tarafından yönetilerek tam ya da yarı otomatik yapıya sahip bir hale getirilmektedir. Otomasyona dayalı bir sistemin bileşenleri bir kontrolöre dayalı kullanılan ya da kullanılmaya uygun olan ekipmanlardan oluşmaktadır. Otomasyona dayalı sistem bileşenlerinin yer aldığı ve endüstriyel otomasyon uygulama adımlarını içeren yapı Şekil 3.1.'de sunulmuş olduğu üzere otomasyon piramidi olarak ifade edilir ve beş katmandan oluşmaktadır.

3.1.1. Endüstriyel otomasyon

Endüstriyel prosesleri çalıştırmak veya otomatikleştirmek için kullanılan ekipmanları, sistemleri ve kontrolleri içeren farklı kontrol alt yapı sistemlerini tanımlamak için “Endüstriyel Otomasyon ve Kontrol Sistemleri” terimi kullanılmaktadır. Endüstriyel sistemlerin belirlenen sırayla kontrol edilmesini ve gerçek zamanlı izlenmesini sağlayan süreç “Endüstriyel Otomasyon” olarak adlandırılabilir. Bilgisayarlı makineleri, kontrol sistemlerini ve diğer bilgi teknolojilerini insanlar tarafından yapılan işleri gerçekleştirmek için iş süreçlerine entegre etmek “Endüstriyel Otomasyon” kavramı ile açıklanmaktadır. Emek yoğun fiziksel süreçleri kolaylaştırmak için hem donanım hem de yazılımı içeren endüstriyel otomasyon sistemi çözümleri kullanılmaktadır (Boyes ve diğ., 2018). General Motors (GM) tarafından ilk örneğinin 1947 yılında uygulandığı kabul edilen “Endüstriyel Otomasyon” sistemleri, akıllı fabrikalar ve depolar gibi üretim ortamlarında prosesi, montajı ve malzeme işleme operasyonlarını kolaylaştırmak için yaygın olarak tercih edilmektedir (Anonim 1, 2022).

Endüstriyel otomasyonun çalışma prensibini anlamak için öncelikle bir operasyona nasıl uygulandığını anlamak gerekmektedir. Bir operasyonu gerçekleştirmek için teknoloji ve makinelerin nasıl senkronize çalıştığını açıklayan yapı, Şekil 3.1.'de gösterilen endüstriyel otomasyon hiyerarşi piramidi ile sunulmuştur (Anonim 4, 2021).



Şekil 3.1. Otomasyon piramidi

Piramide bakıldığında; temel seviyede yer alan saha ve üretim elemanlarından elde edilen küçük veriler bir dizi işlemden geçerek bir sonraki seviyelere taşınmaktadır. Bu süreçte veri miktarı ile ekipman ya da saha bileşenleri arasında ters orantı kurulmaktadır. Veri miktarı artış eğiliminde olurken ekipmanlarda ve saha bileşenlerinde azalma gözlenmektedir. Elektrik makineleri, algılayıcılar gibi çeşitli saha ve üretim donanımları piramidin temelini oluşturmaktadır. Bir üst seviyede de bu donanımın kontrolünü sağlamakta olan PC (Personal Computer \ Kişisel Bilgisayar), PLC (Programmable Logic Controller\ Programlanabilir Mantıksal Denetleyici) ve PID (Proportional Integral Derivative \ Oransal İntegral Türevsel) yer almaktadır. PLC'ler kullanıcılara endüstriyel uygulamaların her aşamasında, genel amaçlı kumanda ve otomasyon işlemleri için etkili çözümler sunmaktadır. Kontrol katmanının hemen üzerinde bir SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition \ Veri Tabanlı Kontrol ve Gözetleme Sistemi) ile yapılan iş gözlemlenir ve gerekli olan veriler kayıt altına alınır. Endüstriyel kontrol sistemleri içinde geniş bir alana yayılmış cihazların bir merkezden bilgisayarlar aracılığıyla denetlenmesi, önceden tasarlanmış bir algoritma çerçevesinde yönetilmesi ve geçmiş zamana ait verilerin saklanması bilgisayar tabanlı SCADA sistemleri ile sağlanmaktadır. PLC ve SCADA yapıları, endüstride veya otomasyonda birlikte kullanılan yapılardır. Bu yapılar; I/O (Input-Output; bilgisayar sisteminde veri ve sinyal akışını ifade eder) sistemleri, döngü denetleyicileri ve akıllı sensörler gibi çeşitli cihazlardan saha verilerini sürekli ve gerçek zamanlı olarak

toplayarak tanımlanan kıyaslama kriterlerine göre bu bilgileri değerlendirmektedir. Endüstriyle kontrol sistemleri, üretimi etkileyen çeşitli faktörlerin merkezi bir noktadan grafiksel olarak gözlemlenmesini sağlayan ve sahadaki kontrol noktalarının uzaktan denetleyebilmeye imkân veren, gerektiğinde kullanıcıya erken uyarı mesajları gönderen profesyonel sistemlerdir (Considine,2002). Yapılacak olan imalat ise bunun hemen üzerinde planlanmaktadır. Piramidin en son aşamasında ise “Kurumsal Kaynak Planlaması” (Enterprise Resource Planning; ERP) ile organizasyonunuzdaki tüm kaynaklar ölçülebilir, kontrol edilebilir ve planlanabilir hale getirilip maksimum fayda sağlamaya yarayan yazılım ağırlıklı yönetim disiplininin bulunduğu adıma ulaşılır (Hoxha ve diğ., 2016).

Saha Donanımları:

Endüstriyel otomasyon hiyerarşisinin en alt düzeyi saha seviyesidir. Saha donanımları ilk seviyede bulunmaktadır. Sistemler tarafından oluşturulan komutlara (output) tepki veren ve değişen durumlar karşısında kontrol sistemlerine dönüş olarak (input) bildiren bu donanımlar, otomatik kontrol sistemlerine bağlıdır. Bu seviyede fiziksel eylemler ve makine izleme pratikleri gerçekleştirilir. Örneğin çıkış sinyalleri ile aktive edilebilen motorlar veya pnömatik sistemler bu seviyede bulunurlar. Benzer şekilde giriş sinyali ile tesisteki durumu anlık olarak kontrol sistemine bildiren; sensör (sıcaklık, basınç, optik, yakınlık, akış ve benzeri ölçüm cihazları), switch (bağlı olduğu bilgisayarlar arasında haberleşmeyi sağlayan unsurlar) veya enstrümanlar bu seviyede bulunurlar.

Otomatik Kontrol Seviyesi:

Otomatik kontrol seviyesi olarak adlandırılan bu seviye, PLC (Programlanabilir Mantıksal Denetleyici) ve DCS (Dağıtılmış Kontrol Sistemleri) çözümlerini içerir. Otomatik kontrol seviyesi, makine ve ekipmanlar tarafından yapılan mekanik işlemlerin yürütüldüğü endüstriyel otomasyon hiyerarşisinin bir sonraki seviyesidir. PLC ve DCS'ler ile sensörlerden gelen verilerin alınması, verilerin işlenmesi ve aktüatörlerin programlamaya yönlendirilmesi işlevleri gerçekleştirilir. Bir işlev programlanırken sensörden gelen sinyal ve kontrol tekniği dikkate alınır.

En temel kontrol süreçleri bu seviyede ele alınmaktadır. Proses tipine ve makineye özel çözümleri ile bu süreç, başarılı bir üretim yapılmasına katkı sağlar. Teknoloji sağlayıcısının teknik bilgisi (know-how), bu seviyede üretime dönüştürülür.

Üretim Sürecini Destekleyici Fonksiyonlar:

Üretim sürecini destekleyen faktörleri içeren bu aşama üretim sahası ile üretim yürütme sistemini (MES) entegre eder. Bu destekleyici fonksiyonlar; üretim öncesi çizelge yönetimi, çıkan ürün yönetimi, malzeme durum bilgisi, hat duruş süreleri yönetimi, vardiya bilgileri yönetimi, ekipman yönetimi, reçete yönetimi, üretim sırasında kritik değerlerin toplanması ve raporlanması aşamaları ile hiyerarşik olarak sınıflandırılabilir.

Sunucu – istemci yapısında çalışan yazılım çözümleri bu seviyenin temel yapı taşlarıdır. Sunucu tarafında veri tabanında verilerin saklanması ek olarak sunucu üzerindeki uygulamalarla da işlemler yönetilebilir. Kullanıcı ara yüz uygulamaları ise istemci tarafında bulunmaktadır. Bu seviyenin temel amacı cihazlarda ve izleme sistemlerindeki otomatik işlemlerde kontrol ve yönetim sağlamaktır. Bunun yanı sıra HMI, DCS ve SCADA sistemi gibi teknoloji çözümlerini içermektedir.

- HMI: İnsan makine arayüzü olarak adlandırılan bu teknoloji; insanlara sürecin görsel bir tasvirini sunmaktadır.
- DCS: Dağıtılmış kontrol sistemine karşılık gelmektedir. Sistem sensörlerini ve iş görenlerin kullandığı terminallerini birbirine bağlar. Bu işlevi gerçekleştirmek için yerel alan ağları (Local Area Network – LAN) işlemleri otomatikleştirmektedir.
- SCADA: Denetleyici kontrol ve veri toplama sistemleridir. DCS’lerden farklı olarak birden fazla makine alanını kontrol eder. Bu teknoloji bilgisayarları ve HMI teknolojisini kullanarak veri tanımlama, veri izleme ve kontrol işlevlerini gerçekleştirir

Üretim Yürütme Sistemi (MES):

İngilizce tam karşılığı “Manufacturing Execution System” olan “Üretim Yürütme Sisteminin” kısaltması MES’tir. 1992’de bu terimi ilk olarak AMR Research oluşturmuştur. AMR Research “Manufacturing Execution System” kavramını “üretim işlemlerinin etkin bir şekilde yürütülmesini sağlayan dinamik bilgi sistemi” olarak tanımlamıştır (Anonim 3, 2022).

Kalite ve verimliliğin üretim sürecine dahil edilmesi ve sistematik olarak uygulanması “Üretim Yürütme Sistemi” (MES), yazılım çözümleri ile sağlanmaktadır. Üretim yürütme sistemleri, maksimum performansı hedefi seviyesine ulaşmada ve üretim verimliliğini arttırmak için bir araç olarak tanımlanmaktadır. Başka bir ifade ile, en iyi koşullarda üretim yapmak için bir kuruluşun mevcut düzeninin fiziksel gücünü

saptaması, malzeme ve ekipmanlarını değerlendirebilmesi için çözüm ortağı niteliğindedir. Üretim Yürütme Sisteminin temel amacı; üretim işlemlerinin etkili bir şekilde yürütülmesi ve üretim çıktısını optimize edilmesidir (Anonim 2, 2022).

Üretimde gerçekleşen her faaliyetin başlatılmasında, yönlendirilmesinde ve raporlanmasında MES sistemleri bir araçtır. Bu sistemden elde edilen veriler doğru ve hatasızdır. Üretim süreçlerini yalınlaştırma amacıyla katma değer sağlamayan aktiviteleri ayıklamaya odaklanarak değişen koşullarda hızlı tepki verilmesini sağlar (Kocabay, 2019).

Anlık olarak gözlemlenebilir bir sistem oluşturulmak istendiğinde, karar verilmesi gereken ilk konu üretim hattında hangi noktaların izlenebilir olması gerektiğidir. Malzeme veya operasyon noktaları montaj faaliyetleri için kritik olduğundan bu alanların sürekli olarak kontrolü sağlanmalıdır. Periyodik ve sürekli olarak tekrarlanan bu kontroller sayesinde üretici, ürün ve stok üçgeninde bir kontrol mekanizması oluşturulmuş olur. Bu sayede malzeme akışı da üretim hattı stokları ile birlikte kontrol altına alınmış olur. Böylelikle, saha bilgilerine anlık olarak erişilerek ve bu bilgilerin saklanması ile, planlama ve çizelgeleme için girdi olarak kullanılacak olan veriler ortaya çıkmış olur (Huang ve diğ., 2008).

MES sistemi, ham malzemenin satılabilir bitmiş ürüne kadar olan olgunlaşma evresini izlemek ve kayıt altına almak için imalatta kullanılan bilgisayarlı sistemlerdir. Bu sistemler, üretim çıktısını iyileştirmek için üretim safhasındaki mevcut şartların nasıl optimum seviyeye getirebileceklerini anlamaları için üretim planlayıcılara yardımcı olan bilgileri sağlar. MES sistemleri, üretim ekipmanı için güncel ve geçmiş haritalar oluşturabilmektedir. Bu nedenle optimizasyon süreçleri için bir temel olarak kullanılabilirler.

Üretim Yürütme Sistemleri ile sahada yapılmakta olan işlere ait iş emirleri, ürünlerin üretim adetleri, herhangi bir t anında üretimin hangi operasyonda olduğu gibi verilere ulaşılabilen ve belgelenmektedir. Anlık stok veya iş gücünün üretim hatlarındaki dağılımı görselleştirilebilmektedir. Operasyonlar arası aktarımlarda, işin aktarımının yapıldığı bir diğer bölümde yer alan malzeme bilgisine de ulaşabilmektedir (Zhong ve diğ., 2013).

Üretim sürecinin buna bağlı olarak birden fazla bileşenin (örneğin girdiler, personel, makineler, ürün verileri ve destek hizmetleri) kontrolünü sağlamak için üretim yürütme sistemleri gerçek zamanlı olarak çalışır. Üretimin artan karmaşıklığı, üretim ve hizmet ekipmanının ve tesislerinin bütünsel bir görünümünü gerektirir: Ayrıntılı durum tespiti yapılarak, planlama, kalite, performans analizi, malzeme takibi vb. süreçlere ilişkin veriler entegre bir şekilde kaydedilmeli ve görüntülenmelidir. MES sistemleri daha çok çevrimiçi bilgi sistemi yapısıyla, üretim için bir geri bildirim ve kontrol sistemidir.

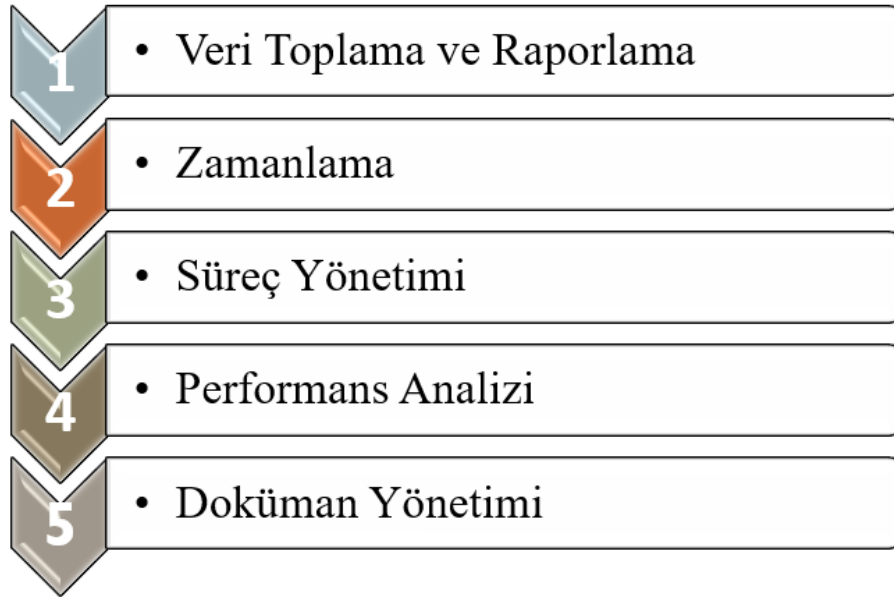
MES, optimum performans seviyesi için üretim aktivitelerini kontrol eder. Üretimdeki insan hatalarının ortadan kaldırılmasına yardımcı olmak için işe ilişkin kuralların otomatik olarak uygulanmasını, ekipmanların veya birimlerin izlenebilirliğini sağlar (Anonim 2, 2022).

Üretim Yürütme Sistemi (MES), üretim işletmelerinde meydana gelen iş akışı operasyonlarını, veri akışlarını izleyen ve kontrol eden bilgi sistemleridir. MES, üretimin her aşamasında kullanılan yöntem ve iş ekipmanının toplu olarak çevrimiçi bir ortam üzerinden kontrolünü sağlayan bilgi sistemidir. Temel amacı gerçek zamanlı bilgiye erişerek imalat süreçlerini en iyi şekilde yönetmek ve bu sayede üretim çıktılarını iyileştirmektir. Üretim işletmelerinde süreç içerisinde gerçekleşen üretimle ilişkili olan tüm aktiviteler MES sayesinde takip edilebilmektedir. Bu sistemler, birbirinden farklı fonksiyonlara sahip olmasından ötürü kontrollü bir üretim akışına imkan tanımakta ve oldukça kapsamlı bir program üzerinde işleyiş sağlamaktadır.

Sonuç olarak, MES sistemleri üretim hatları ve ofislerdeki ERP sistemi arasındaki iletişim boşluğunu elimine etmek için geliştirilmiş ve bu amaç için kullanılmaktadır (Saenz de Ugarte ve diğ., 2009). MES sisteminin, üretim tesisindeki verilere anlık olarak erişilebilirlik sağlaması ile oluşturduğu katma değerler de ele alındığı zaman ERP ile entegrasyonunun bir tercih değil, gereklilik olduğu açıkça görülmektedir. Bu tarz bir entegrasyonun sağlamış olduğu katma değer her şirket için farklılık gösterecektir. Ancak her şirkette ortak olarak sağlayacağı fayda; üretim süreçlerinin görüntülenebilir olması, daha hızlı yanıt verebilir, sorunlar karşısında daha hızlı aksiyon alabilir duruma gelmek ve teorik kapasitenin daha etkin kullanılmasını sağlamak olacaktır (Çınar ve Özorhon, 2015)

MES sistemleri, sürdürülebilir ve gözetim altında olan bir üretim alt yapısının oluşması için, Şekil 3.2.'de gösterilen bir takım temel işlevleri ortaya koymaktadır. Süreci kontrol altına alabilmek ve değerlendirmek için veri toplama aşamasında bilgi girişlerinin sağlanması bunlardan ilkinde bir örnek teşkil etmektedir. İkincisi ise iş gücü yönetimidir. İşletme içerisinde yer alan ekipman ya da çalışanların en optimum düzeyde kullanılması için iş gücü yönetimi sunmaktadır. Üretimin anlık takibini ve denetimini yapmak Üretim Yürütme Sistemi ile mümkün olmaktadır.

Üretim sürecinde sistemin sağlamış olduğu kontroller sonucunda gerekli görülmesi durumunda, kalite kontrol imkanı da sağlanmaktadır. Bu sayede gerekli inovasyonların önü açılmış olur. MES yaptığı performans analizi ile yeterli verime ulaşamayan birimleri tespit eder ve o birimlere müdahale etme fırsatını verir. Tüm bunlara ek olarak bakım yönetimi faaliyetlerinde de MES kullanımı ile üretimi sekteye uğratabilecek parametreler yönetilebilir duruma gelmektedir. Bütün bu işlevlerin çıktısı olarak toplam ekipman etkinliği (OEE) verilerini de sunmaktadır.



Şekil 3.2. MES sisteminin temel çekirdek fonksiyonları

ERP Sistemleri:

ERP – Enterprise Resource Planning ifadesi Türkçe literatürde “Kurumsal Kaynak Planlaması” ya da “İşletme Kaynakları Planlaması” olarak bilinmektedir. Uluslararası literatürde ve iş dünyasında ise çoğunlukla İngilizce karşılığı olan ERP terimi kullanılmaktadır.

ERP sistemleri; ürün veya hizmet üreten kurumların tümünde kullanılacak şekilde tasarlanmış sistemlerdir. Kurumların ihtiyacına yönelik tüm fonksiyonları içeren ERP sistemleri isimlendirilirken bu sebeple “Kurumsal” ifadesine yer verilmiştir. ERP sistemleri; bütünün, bu bütünü oluşturan parçalardan daha anlamlı olduğu felsefesi üzerinde kurulmuş olan sistemlerdir. Bu yaklaşımdan yola çıkarak önceden, ayrı ayrı ele alınan süreçleri kurumun amaçlarını yerine getirecek şekilde birbirine bağlı olarak çalışan parçalar şeklinde ele alır. Buna paralel olarak kuruluşun ortak bir alanda saklanan verileri ile ulaşılan bilgilerin doğru olarak doğru yerlere iletilmesini sağlar (Yegül, 2003). İşletmelerdeki bilgi, malzeme ve para akışının takibini kolaylaştıran bu sistem beraberinde kurumsal hedeflere ulaşma başarısı da getirmektedir.

ERP sistemi, işletmelerin bilgi teknolojisi ile mümkün olan tüm bilgi gereksinimlerini karşılayan, bütün iş kaynaklarını planlayan ve yöneten, bütünüyle entegre edilmiş bilgisayar destekli bir iş yönetim sistemidir. Ortak bir veri tabanı üzerinde çalışarak bütün birimlerin verilerini ve süreçlerini tek bir yazılım uygulaması içinde birleştirir. ERP yazılımları, bir işletmeye organizasyonel boyutta bilgiyi tüm paydaşlar ile paylaşma imkânı tanıyan bir yazılım uygulamaları serisidir (Düzakın ve Sevinç, 2002).

Bu seviyeyi oluşturan sistemler, ERP yazılımlarıdır. Kurumsal seviyedeki iş akışlarının ve üretim ile doğrudan ve dolaylı olarak ilişkili olan süreçlerin (finans, proje yönetimi, üretim planlama, satış, insan kaynakları, vb.) yönetilmesinde ERP sistemleri kullanılır. “Kurumsal Kaynak Planlama Sistemleri”, ürün veya hizmet üretimi için ihtiyaç duyulan girdilerin (işgücü, makine, malzeme vb.) etkin bir şekilde değerlendirilmesini sağlayan senkronize yönetim sistemleri olarak ifade edilmektedir.

Birden fazla iş sürecinin bir araya getirilmesi ve aralarındaki veri akışının sağlanması ERP sistemleri aracılığı ile yönetilir. ERP sistemleri, işletmenin ortak işlem verilerini pek çok kaynaktan toplayarak veri tekrarını ortadan kaldırır ve tek kaynak ile veri doğruluğu sağlar. Bu sistemler günümüzde, farklı sektörden ve farklı hacimlerdeki binlerce işletmenin yönetiminde büyük önem taşımaktadır (Anonim 6, 2023)

Bir veri tabanı üzerinde tanımlı veri şeması kullanacak şekilde tasarlanan sistemlere ERP sistemleri örnek verilebilir. ERP sistemlerinin ortak bir veri tabanına ve veri şemasına dayalı olarak tasarlanması durumu; işletme içerisinde kullanılan bilgilerin normalleştirilmesine, kullanıcı deneyimlerine ve genel tanımlara dayalı hâle getirilmesine fayda sağlamaktadır.

Bu yapılar sonrasında kurum içerisindeki bölümlerde (örneğin finans, insan kaynakları, mühendislik, pazarlama, operasyon) yürütülen iş akışlarının beraberinde getirdiği iş süreçleriyle birbirine entegre edilir. Birbirine entegre edilen bu süreçler ERP sisteminin temel bileşenlerini oluşturmaktadır. Bahsi geçen temel ERP bileşenleri Şekil 3.3.'de de gösterilmiştir. Temel bileşenler, sistemler ve bu sistemlerin kullanıcıları arasında bağlantı sağlanmasına yardımcı olurlar. Özetle ERP sistemleri, modern bir kuruluşta çalışan, süreç ve teknolojileri birbirine entegre etmeye yaramaktadır.



Şekil 3.3. Temel ERP bileşenleri

ERP'nin temeli, geleneksel stok kavramına dayalı klasik, el ile stoklama yönteminin kullanıldığı 1960'lı yılların öncesine dayanmaktadır. Bu yöntemde stokta bulunan her bir malzeme stokta bulundurma ve sipariş maliyeti açısından değerlendirilirdi (Harwood, 2003).

Üreticilerin 1970'li yıllarda seri üretime yönelmesi ile birlikte üretim miktarlarını gerçekleştirmeye yetecek kadar hammadde tedarik etmekte olmaları gibi ana sorunlar ortaya çıkmıştır. İhtiyaç duyulan ham malzeme miktarını belirleme sorununu çözmek için kuruluş yöneticileri operasyon detaylarını, ürün reçetelerini ve satış tahminlerini (ileriye yönelik) bilgisayara girmeye başlayarak, stoktaki ürünlerin mevcut miktarına ve açık satın alma siparişlerine bakarak tedarik edilmesi gereken net miktarları belirlediler. Malzeme İhtiyaç Planlaması (Materials Requirement Planning - MRP) olarak bilinen bu yöntem, ana üretim çizelgesinde bulunan mamulleri detaylı bileşen gereksinimlerini gösterecek şekilde parçalara ayıran bir sistemdir (Tekin, 2003).

MRP, mamul için oluşturulmuş olan ana üretim çizelgesini ve ürün reçetesinde yer alan bileşenlerin miktar vb. bilgisini kullanarak malzeme ihtiyaçlarını daha doğru bir şekilde belirlemek için geliştirilmiş bir sistemdir. İhtiyaç olan hammadde ve yardımcı malzemelerin miktarlarını belirleyerek satın alma talep miktarlarını ve üretim iş emirlerini oluşturan bir stok yönetim aracıdır (Acar, 2001).

Pazarın müşteri tarafından belirlenmesi; MRP'nin çözüm olduğu stoğa yönelik üretim yönteminden, siparişe yönelik üretim çeşidine doğru bir kaymayı beraberinde getirmiştir. Bu süre zarfına kadar işletmelerin gereksinimlerini karşılayabilen MRP yetersiz kaldı. Üretim yönetiminde MRP'nin yetersiz kalması ile birlikte bir işletmenin kaynaklarını etkin olarak planlanması yöntemi olan Üretim Kaynakları Planlaması (Manufacturing Resources Plannig - MRP II) yaklaşımının ortaya çıkışına katkı sağladı (Özgül, 2006).

MRP sistemlerine; satış planlama, kapasite yönetimi ve çizelgeleme gibi üretime yönelik aktivitelerin de dahil edilmesiyle MRP II yazılımları geliştirilmiştir. Bir kuruluştaki tüm süreçsel aktiviteleri planlamak, yönetmek ve güncelleştirmek için satın alma, imalat, finansman ve mühendislik süreçleri, insan kaynakları yönetimi ve satışı tek bir veri tabanı üzerinden MRP II yazılımları yönetmektedir (Demir ve Gümüşoğlu, 2003). MRP II; etkin bir üretim planlama aracıdır. Firmaların, karlılık ve müşteri memnuniyeti gibi amaçlarının sadece üretim ile değil, tüm kurum ile ilgili olduğunu anlamasına katkı sağlamıştır. Bu sayede, finans, satış, dağıtım, üretim ve insan kaynakları süreçlerinin de yer aldığı bütünlük sistemlere olan gereksinim öneminin

anlaşılmasına sebep oldu. Bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli üretimin bütünleşmesi anlamına gelen ürün geliştirme ile üretim sürecini bütünleştiren, “Bilgisayarla Bütünleşik Üretim” (Computer Integrated Manufacturing, CIM) sistemleri ve firmaların ürün dağıtım ağlarını yönetmelerini sağlayan “Dağıtım Kaynakları Planlaması” (Distribution Resource Planning, DRP) sistemleri bu esnada ortaya çıkmıştır. Bu kavramların tümünü içeren sadece üretimi değil bunun yanında hizmet sektörüne de hizmet edebilen entegre ve kurumsal bir çözüm yöntemi olarak, Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP) yazılımları 1990'lı yılların başından günümüze doğru ortaya çıkmıştır (Bayraktar ve Efe, 2006).

Küreselleşme ile birlikte hızla yaygınlaşan çok uluslu şirketlerde, 1990'lı yıllarda ciddi olarak entegrasyon gereksinimi yaşanmıştır. Entegrasyon ise ancak süreç faaliyetlerine katkısı olan bilginin entegre edilmesi ve bu bilginin ulaşılabilir şekilde olması ile mümkündür. MRP II 'yi de aşan bu durum daha üst düzey bir bilgi entegrasyonuna karşılık gelmektedir. Bu kavram ise en iyi şekilde “Kurumsal Kaynak Planlaması” kavramı olarak ifade edilebilir. Bir başka deyişle küresel bilgi entegrasyonunun gerçekleşmesine imkan veren bütünsel bir yazılım tekniği olarak “Kurumsal Kaynak Planlaması” (Enterprise Resource Planning-ERP), ifadesine yer verilmektedir.

3.1.2. MES ve ERP sistemlerinin entegrasyonu

ERP sistemleri sayesinde üretim planlama, satın alma ve tedarik zinciri, insan kaynakları, müşteri ilişkileri, finansal yönetim gibi birçok departman birbiriyle ilişkili, bütünleşik iş akış süreçleri olarak yönetilebilmektedir. Kuruluş içi bu temel departmanlar çalışanların da aşına olduğu ve bilgisayarlar aracılığı ile rahatça kullandığı ERP yazılımları ile yönetilmektedir. ERP sistemleri, birden fazla departmanı bir arada yönetmesi ve üretim hattını da bu sisteme entegre etmesi rolünün yanı sıra; üretim hattından elde edilen verilerde insan hatasını en aza indirerek işlem yükünün azaltılmasını sağlamaktadır. Tüm bu süreçleri entegre biçimde yürütebilmekte olan ERP yazılımları üretim sahasından anlık olarak haberdar olma noktasında yetersiz kalmaktadır.

MES yazılımları ise üretimi anlık olarak takip etmektedirler. Bu sayede; bir ürünün hangi operasyonunun hangi makinede ne kadar sürede tamamlandığını, üretim sürecinde ne gibi engelleyici etmenler olduğunu, ekipman arızalarını, duruşları ve hataları saptamaktadır. Saptanmış olan bu veriler; kurumun kendi potansiyel kaynaklarını ne kadar verimli kullanabildiğini analiz etmesi için bir araçtır. MES

sistemlerinin üretim hatlarının sınır sistemleri olarak nitelendirecek olursak; bu sistemler teorik kurguda sadece süreç yönetiminden değil üretimin sistemler arası senkronizasyonundan da sorumludur. Üretimin devam etmekte olduğu bir hat düşündüğümüz zaman bu hattaki ekipmanlar çoğu zaman hangi siparişi, hangi iş emrini ve hangi malzemeyi ürettiğinden haberdar olma noktasında yetersiz kalmaktadır. Bu üretim hattına depolama, kalite ve bakım gibi işlevleri de ilave ettiğimiz zaman bu işlevlerin otonom çalışması için gerekli olan tüm bilgilere sahada yalnızca MES sistemleri sahiptir. Üretimde anlık olarak izlenebilirlik sağlama ihtiyacı beraberinde ERP ve MES yazılımlarının entegrasyonunu getirmektedir.

ERP ve MES sistemlerinin entegrasyonu önemli bir süreçtir. Bu açıdan süreç öncesinde uygulama adımlarını içeren kavramsal bir model belirlemek ve o modeli referans olarak ilerlemek katma değerli olacaktır. Bu entegrasyon sürecinin uygulama adımları aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

İhtiyaçların Belirlenmesi: Bu aşama entegrasyon sürecine rehberlik edecek stratejik hedeflerin belirlendiği ilk aşamadır. Hangi süreçlerde optimizasyon ihtiyacı olduğu bu aşamada belirlenmektedir. İşletmeye özel gereksinimlerin belirlenmesi bu aşamanın bir kapsamıdır.

Uyumlu Yazılım Seçimi: Sektöre özel çözümleri ile şirketin ihtiyaçlarını karşılayan uyumlu yazılım seçimi entegrasyon sürecinin bir sonraki aşamasıdır. Burada verilen kararlar yatırım gerektireceğinden aceleci olmadan doğru seçimi yapmak oldukça önemlidir.

Çapraz Fonksiyonlu Ekip Kurulumu: Entegrasyon sürecini koordine edecek teknik, operasyonel ve iş gereksinimlerini yapabilecek farklı üyelerden oluşan çok fonksiyonlu bir ekip kurumu da süreç adımları içerisinde yer almaktadır. Başarılı bir entegrasyon beraberliğe dayalı süreçlerden ileri gelmektedir.

Entegrasyon Planının Oluşturulması: Entegrasyon planı kapsam, zaman, kaynak ve olası risk etmenlerini içerecek şekilde fonksiyonel ekip tarafından oluşturulmalıdır.

Entegrasyonun Uygulanması: Bu aşamada amaç ERP ve MES sistemlerinin birbiri ile olan veri alışverişi alt yapısını oluşturmaktır. Bu aşama genel olarak kullanıcı ara yüz uygulamalarının oluşturulması, veri alışverişi protokollerinin oluşturulması ve ERP ile MES sistemlerinin yapılandırılması süreçlerini içermektedir.

Entegrasyonun Test Edilmesi: Bu aşama entegrasyonun hedeflendiği gibi çalışıp çalışmadığının test edildiği aşamadır. Testlerin içeriği temel beklentilerin işlevselliğinin kontrolü, sistem geri bildirim sürelerinin optimum seviyesi ve veri doğruluğunun analizi

şeklinde. Bu aşama olağan dışı bir durum fark edildiği zaman anında müdahale ve düzeltme imkanı sunmaktadır. Sorunların önceden ve hızlı tespiti için en ideal yöntemdir.

Kullanıcı Eğitimi: Entegrasyon öncesinde sistemin nasıl kullanılacağı, sistemdeki verilerin nasıl yorumlanacağı ve sistemde sık karşılaşın sorunların çözüm yöntemlerinin neler olduğu hakkında kullanıcılara eğitim verilmesi bu aşamanın bir kapsamıdır.

Gözlem ve Optimize Etme: Sistemden daha iyi fayda sağlamak ve iyileştirme alanlarının tespiti için belirli periyotlar ile sistemin denetim altına alınması önemli bir adımdır. Bu sayede iyileştirme gereksinimleri tespit edilerek sistemden optimum faydayı sağlayacak fırsatlar tespit edilebilir olmaktadır.

İdeal bir yapıda MES ile ERP sisteminin entegrasyonu her manuel işlemden kurtaracak olan veri toplama alanında olmalıdır. Burada temel amaç manuel veri toplama yöntemlerinden uzaklaşarak teknolojik veri toplama yöntemlerine doğru evrilmektir. Verimliliğin ön plana çıkmış olduğu üretim hatlarında MES ve ERP sistemlerinin kombinasyonu başarılı bir işletme yönetimi için önemli bir kriterdir. Bu kombinasyon operasyonel süreçleri ve üretim alanlarını senkronize ederek daha tutarlı ve duyarlı bir iş süreci yönetimi sağlamaktadır. MES sistemleri atölye seviyesinde günlük olarak meydana gelen operasyonları denetlerken; ERP sistemleri genel iş süreçlerini yönetir. ERP ve MES sistemleri her ikisi de farklı alt yapılar kullanan ve farklı yazılım dilleri ile geliştirilmiş olan sistemlerdir. Bu farklılıktan ötürü iki sistemin entegrasyonu söz konusu olduğu zaman ortak protokolleri izleyebilecek şekilde bir haberleşme yöntemi tercih edilmektedir.

ERP-MES yazılımlarının entegrasyonunda ortak bir veri yapısı üzerinde anlaşarak veri aktarımı o veri yapısı üzerinden gerçekleştirilmektedir. Bu verilerin aktarımı xml formatındaki dosyalar ile veri tabanında bir havuzda toplanılarak, bir ftp sunucusu üzerinden aktarılabilir yapılabileceği gibi daha yaygın ve güvenli bir yöntem olan Web API'lar (Application Programming Interface \ Uygulama Programlama Ara Yüzü) ile de yürütülebilmektedir. MES-ERP sistemlerinin entegrasyonu söz konusu olduğu zaman kullanılan ERP sisteminin ne olduğunun bir önemi yoktur. Bu tarz durumlarda önemli olan ERP sisteminin veri iletişimine açık olması ve entegre edilebilmesidir. MES sisteminin bir üst sistemden beklediği ve bir üst sisteme ilettiği olduğu bilgiler temel olarak belli olduğundan ötürü bu bilgilerin iki sistem arasında aktarılmasında hangi ERP sisteminin kullanıldığına bir önemi bulunmamaktadır.

ERP ve MES entegrasyonlarında en çok aktarım işlemi yapılan veri ERP sistemlerince açılmış olan iş emirleridir. Entegrasyon, ERP üzerinden açılan iş emrinin doğrudan makine başındaki operatörlere ulaşmasını sağlayarak operatörün üretim hakkındaki detaylara ve kılavuzlara ulaşmasına yardımcı olmaktadır. İş emri aktarımı yapılırken iş emri bilgilerinden oluşan bir veri MES yazılımındaki programlama ara yüzüne gönderilir ve programlama ara yüzünden iş emrinin sorunsuz aktarılıp aktarılmadığı ile ilgili yanıt dönmektedir. Aktarımı yapılan bu iş emri verisinin yapısı ve içeriği (iş emri kodu, üretilecek stok, tüketilecek stok, üretim miktarı, çevrim süreleri vb. gibi) yazılımcılar tarafından önceden belirlenmektedir. Benzer şekilde ERP tarafındaki programlama ara yüzüne istek olarak gönderilen üretim operasyon onayı belirlenen yapıya uygun formatta ise ve aktarımında sorun oluşmamışsa üretim bilgisinin alındığını, bir sorun varsa neden kaynaklandığını MES entegrasyonuna bildirilmektedir. Başarılı olarak aktarımı gerçekleştirilen üretim verilerinin nasıl değerlendirileceği ERP yazılımı üzerinden yönetilmektedir (Anonim 7, 2020).

Üretim Yürütme Sistemleri; üretim süreci optimizasyonunu oluşturmak ve sürekli ürün, süreç iyileştirmesi amacıyla sorunları hızlı bir şekilde tanımlamak ve çözüm yöntemleri sunmak için ihtiyaç duyulan gerçek zamanlı geri bildirim sağlayan sistemlerdir. Bu sistemler; süreçlerde oluşan karmaşıklığı modelleme ve değiştirme yetisine sahiptir. Aynı zamanda bu model ve değişimleri anında uygulama esnekliği sağlamaktadırlar. Olayların gerçekleştiği zamanda anlık olarak tesis faaliyetlerini yönetmek, raporlamak ve üretim işlemlerini yürütme konusunda oldukça başarılıdırlar. ERP sistemleri ise daha geniş kapsama alanına sahiptirler. Üretim, tedarik zinciri, sipariş işleme, envanter yönetimi, insan kaynakları ve müşteri ilişkileri yönetiminin bir kombinasyonudur. Bu iki sistemin entegre çalıştığı durumlarda işletmeye sağlamış olduğu faydalar aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir.

- MES ve ERP senkronize çalıştığı zaman daha etkin bir saha yönetiminden bahsedilebilmektedir
- MES ile ERP'yi anlık verilerle besleyerek fiili maliyetleri yönetebilir ve kaynaklar izlenebilir hale gelmektedir.
- Etkin bir MES, ERP'nin daha efektif ve güvenilirliği yüksek verilerle yönetilmesini sağlamaktadır.
- İşletmelerdeki kayıpların minimize edilmesi ve maliyetlerin düşürülmesine odaklanmak için en temel yöntemdir.

3.1.3. Toplam ekipman etkinliği

Entegrasyon aracılığıyla aktarımı sağlanan iş emirlerinin MES sisteminde karşılık bulması ile işletmenin toplam ekipman etkinliği verilerini değerlendirebilecek girdiler oluşmaktadır.

Toplam Ekipman Etkinliği (OEE – Overall Equipment Efficiency); üretim sektöründe çokça kullanılan ve üretim ekipmanının verimliliğini izleyen ve kontrol eden bir ölçme yöntemidir (Reyes ve diğer., 2010). Yalın Üretim ve Toplam Üretken Bakım (Total Productive Maintenance - TPM) faaliyetlerinin başarısının ölçülmesinde önemli bir role sahiptir. TPM, tüm çalışanların katılımı ile üretim ve hizmet süreçlerinde otonom bakımı öngören arıza oluştuktan sonra giderme değer oluşmadan önce önleme yaklaşımını kanıksayan, makine ve ekipman etkinliğini en üst seviyeye getiren bir bakım yönetimi yaklaşımıdır. TPM, bakım uygulandığı endüstrilere rekabetçi yaklaşım ve verimlilik açısından önemli ölçüde katkıda bulunur. İmalat organizasyonlarının rekabet güçlerini artırmak ve rekabetçi süreçlerin meydana getirmiş olduğu zorlukların üstesinden gelmek için operasyonların her alanında kalite ve performans iyileştirme girişimlerini sunmaktadır. (Wakjira ve Ajit Pal, 2012). TPM, üretim hattındaki makinelerin planlı ve plansız duruş sürelerini minimum seviyeye taşıyarak, üretim kayıplarını ve malzeme atıklarını minimum seviyede tutmak, iş görenin ve ekipmanın çalışma verimliliğini en üst seviyeye taşımak için etkili bir araçtır. TPM'nin herhangi bir organizasyonda uygulamasının toplam ekipmanın etkinliğini artırdığı fark edilmiştir OEE, tüm ekipmanların hangi oranda kullanıldığını belirleyen, üretimde kullanılan makinelerin duruşlarını, performanslarını ve kalite kayıplarını analiz etmek için geliştirilmiş bir TPM ölçme tekniğidir. Japonlar tarafından geliştirilen bu tekniğin odağında üretim aktiviteleri olmakla birlikte bir üretim endüstrisinin tüm operasyonlarını içeren bir program haline gelmiştir. OEE, bir üretim endüstrisinde yapılan üretim ile ideal olarak yapılması mümkün olan üretim arasındaki oran olarak tanımlanabilir (Braglia, 2009). OEE verisinin elde edilmesindeki amaç makine ve ekipmanlarda optimum verimlilik düzeyinin elde edilmesini engelleyici faktörlerin saptanması ve elimine edilmesidir. Temel OEE, makinenin çalışması dışındaki; makine ve ekipmanın planlı duruşlarını, montaj süreleri, ekipman arızaları ve üretim hazırlık kayıpları gibi bekleme süresini minimize etmeyi sağlayan bir ölçme sistemidir (Junker, 2009).

OEE verisinin elde edilebilmesi için kullanılabilirlik, performans ve kalite değerlerinin bilinmesi gerekir (Ljungberg, 1998). Kullanılabilirlik makine ya da ekipmanın planlı duruşları (iş başı eğitimi, bakım vb.) ya da plansız duruşlar (arıza, taşıma, bekleme vb.) sonucu arta kalan etkin olarak çalıştığı sürenin yüzdesel olarak ifade edilmesidir. Performans, küçük duruşlar ve ekipmanın boşa kalması nedeniyle oluşan hız kayıplarının karşılığıdır. Performans değeri, ekipmanın gerçek çalışma hızının ideal hızına oranını ifade etmektedir (Saleem ve diğ., 2017). Üretilen ürünün hatalı olup olmadığı ise kalite ölçütüdür. Kalite değeri, hatalı üretim miktarının toplam üretim hacmine oranını ifade etmektedir (Reyes, 2015).

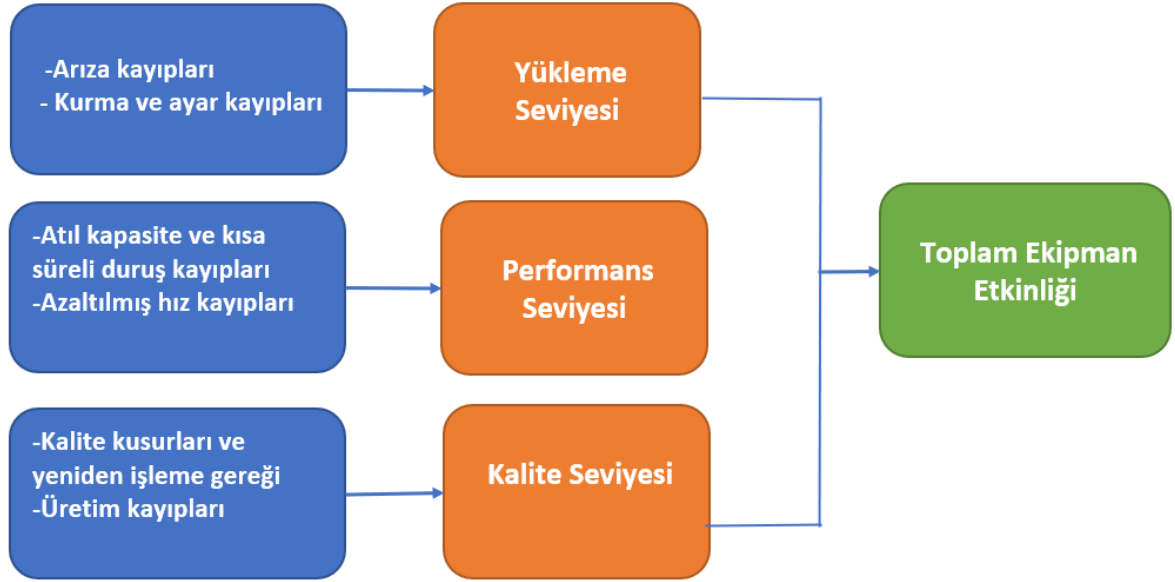
Analizler aracılığıyla elde edilen OEE verisi ile sadece etkinlik tespiti yapılmamaktadır. Analiz sonuçlarından faydalanılarak imalattaki kayıpların önüne geçmek için yalın tekniklerle etkinlik verilerini arttırmaya yönelik çalışmalar da yapılmaktadır. TPM ve OEE metodolojisinin temel amacı imalat kaybı olarak ifade edilen "Altı Büyük Kaybı" ortadan kaldırmaktır. Burada temel amaç tesis ve makine etkinliğini arttırmaktır. Periyodik bir çalışma ile tüm kayıpların nedenleri ortaya çıkartılıp; tesis ve makine etkinliklerini arttırmak için bu kayıplar elimine edilmeye çalışılmaktadır. TPM'in hedefi olan sıfır arıza ve sıfır hata seviyesine bu sayede ulaşılabilir (Temiz ve diğ., 2010).

Üretimde ortaya çıkabilecek altı büyük kayıp;

- Arıza kayıpları
- Kurma ve ayar kayıpları
- Atıl kapasite ve kısa süreli duruş kayıpları
- Azaltılmış hız kayıpları
- Kalite hataları ve yeniden işleme
- Üretim kayıpları (makinenin çalıştırıldığı andan istikrarlı üretim düzeyine ulaşıncaya kadar geçen süre içindeki kayıpları)

olarak ifade edilmektedir.

OEE, tesisin ve tesiste yer alan ekipmanın ne derece etkin kullanıldığını ifade ederken aynı zamanda kayıpların olduğu noktaları da belirleyerek optimizasyon çalışmaları için kaynak oluşturur. OEE, üç kriterin çarpımı ile belirlenen ve yüzde olarak ifade edilen bir değerdir. Çarpanları ise Şekil 3.4.'de belirttiği üzere yükleme seviyesi, performans seviyesi ve kalite seviyesidir (Temiz ve diğ., 2010).



Şekil 3.4. OEE çarpanları ve altı büyük kayıp arasındaki ilişki

OEE verisinin %85'lik puan değeri dünya genelinde kabul gören mükemmel üretim olarak kabul edilmektedir.

OEE (%) =Kullanılabilirlik (%) x Üretkenlik (%) x Kalite (%) formülü ile hesaplanmaktadır. Bu hesaplama yöntemi ile kayıplara neyin neden olduğunu gösteren üç değer de saptanması sağlanmaktadır. Üretim hattında yer alan herhangi bir üretim aracının vardiyadaki OEE değerinin hesaplanması için ilk olarak istenilen aralıktaki üretkenlik, kullanılabilirlik ve kalite verileri elde edilir. Sonrasında bu üç veri üzerinden OEE değeri hesaplaması yapılmaktadır.

3.2. Yöntem

İmalat sanayinde faaliyet gösteren şirket; farklı ürün aileleri ile yurt içi ve yurt dışı pazarına hitap etmektedir.

Üretim tesisinde büyüme ivmesini artırırken hedeflerine ulaşmak için dijital teknolojileri tercih etmiştir. Bu bağlamda "Dijital Dönüşüm Projesi" adı altında ERP

ve MES sistemlerini kurulumu için gerekli olan endüstriyel otomasyona geçiş sürecini başlatmışlardır.

Firma projeye başlamadan önce ilk olarak bir proje planı, proje ekibi ve başarı ölçme kriteri tanımlaması yapmıştır. Tüm proje paydaşlarının odak noktasının ERP implementasyonunu olmasını sağlamıştır. Projeyi başarıya ulaştırmak için ise otomasyon piramidinde yer almakta olan adımları sıralı bir şekilde uygulamaya özen göstermişlerdir.

3.2.1. Saha donanımları ve uygulanması

Üretim tesisinde yer almakta olan her bir makineye kod verilmiş ve verilmiş olan bu kodlar veri olarak MES sistemi ara yüzüne kayıt edilmiştir. Makinelere kod verilirken birincil anahtar olarak grup ID, ikincil anahtar olarak ise iş merkezi kodu yapısı tercih edilmiştir. Grup ID tanımlaması sayesinde üretimde çizelgeleme yapılırken özdeş makinelerde yürütülebilen işlemlerin çizelgelenmesi daha kolay yapılabilir hale gelmiştir.

Makinelerin sisteme veri gönderebilmesi için makinenin çevrim süresini başlangıç ve bitiş noktası olarak referans alan sensör sistemi kablolama çalışmaları yapılmıştır.

3.2.2. Otomatik kontrol seviyesi ve uygulanması

Makinelerin sensör sistemlerinden alınan bilgiyi değerlendirebilmek için her bir makineye sahaya ya da bağlı oldukları makineye çıkış sağlayan PLC bağlantısı yapılmıştır. PLC programları, giriş bilgilerini milisaniyeler mertebesinde hızla tarayarak buna uygun çıkış bilgilerini gerçek zamanlıya yakın, cevap verecek şekilde çalışmaktadır.

Makine herhangi bir sebepten ötürü duruşa geçtiği zaman PLC'ye sinyal gelmediği için üretimdeki makinenin anlık takibi MES sistemi kokpit ekranı üzerinden yapılabilmektedir. PLC'ler makinede üretilmekte olan parçanın çevrim süresini başlangıç ve bitiş noktası olarak referans aldığından ötürü gün sonunda ilgili makinede kaç adet ürün üretildiğinin bilgisinin de alınabilmesini sağlamaktadır.

3.2.3. Üretim sürecini destekleyici fonksiyonlar ve uygulanması

Bu aşamada PLC ile MES sistemi arasında haberleşmenin sağlanması beklenmektedir. Kullanılan MES sistemi, PLC'den aldığı verileri kendine özgü SCADA yapısıyla işleyerek sistem kullanıcıları tarafından anlaşılır ve detaylı bir bilgi akışı haline gelmesini sağlamaktadır. Bu bilgi akışı sayesinde üretim hattında kullanılan KIOSK (dokunmatik ekranlı bilgisayar) ekranlarda, üretimin durdurulması, duruş

sınıflandırılması ve duruş sebebi seçimi, ekipman kullanımı, arıza kaydı, hurda kayıtları, ar-ge faaliyetleri ve mola süreleri gibi verilerin takibi yapılabilmektedir. Üretimden gelmiş olan bu veriler MES sistemine gönderilerek detaylı bir üretim analizi yapılmasına olanak tanımaktadır.

Üretim analizi raporunun girdileri olarak ifade edebileceğimiz duruş, hurda ve arzı kaydı gibi verilerin bildirimini doğru yapılabilmesi için bunların MES sistemine önceden tanımlamaları yapılmıştır.

Duruş Sebeplerinin Tanımlanması:

Sisteme duruş sebepleri tanımlanırken planlı ve plansız duruşlar olmak üzere iki ana grup oluşturulmuştur. Planlı duruş başlığı altında temizlik, periyodik bakım, iş başı eğitimi vb. yer alırken plansız duruşlar da ise talimat bekleme, malzeme bekleme, operatör eksikliği vb. sebepler tanımlanmıştır.

Tanımlanmış olan bu duruşlar operatörlerin kolay erişebilmesini sağlamak için öncelik sırasınca buton numaralarına tabi tutularak iş merkezleri ile ilişkilendirilmiştir.

Hurda Sebeplerinin Tanımlanması:

Kalite kontrol ekibi ile koordineli bir çalışma yapılarak üretim bölümü bazlı oluşabilecek hurda ve yeniden işleme sebeplerinin tanımlaması yapılmış ve iş merkezi kodları ile bu sebepler ilişkilendirilmiştir.

Arıza Kayıtlarının Sistem Üzerinden Bildirimi:

Şirkette mevcutta tezgahlarda oluşan arızalar arıza bildirim formu ile manuel olarak kayıt altına alınmaktaydı. Arıza/bakım onarım sürelerinin tespiti için arıza/bakım onarım formu, arıza bakım onarım takip listesine işlenmekteydi. İyileştirme sonucu bu kayıtlar hem anlık müdahaleyi hızlandırmak hem de arıza bakım süresini azaltmak için MES sistemi bakım paneli ile sistem üzerinden takip edilmeye başlanmıştır. Bakım ihtiyacı ya da arıza oluştuğu zaman operatörler bakım panelinde yer alan ilgili butonları kullanarak bu bildirimleri sistem üzerinden yapmaya başlamışlardır.

3.2.4. Üretim yürütme sistemi (MES) ve uygulaması

Üretim kontrol odaklı olarak tasarlanan MES sistemleri, üretim personelinin iş planlarına yön verirken aynı zamanda tesisin anlık durumunu da yansıtmaktadır. MES Sistemleri, kalite süreçlerinin işletilmesinin kritikliğini ön planda tutarak üretimi tamamlanan ürünler ve üretilecek ürünler hakkında üretim personeline girdi sağlayan sistemlerdir. Anlık veri takibi yapabilmek için farklı iletişim teknikleri kullanarak birçok sistem ile haberleşme kabiliyetine sahiptirler. Şirket, üretim yürütme sistemi modülü alt yapısını tercih etmiş olduğu MES yazılım alt yapısı ile yürütmektedir.

Bu program tıpkı diğer MES sistemlerinde olduğu gibi üretime ait verilerin incelenmesi, planlanması ve çizelgelenmesi, basit seviye MRP (Malzeme İhtiyaç Planlaması) çalıştırılması ve gerekli malzeme ihtiyacının saptanması, termin tarihlerine uygun plan yapmayı kolaylaştırması, proses duruş verilerinin analiz edilmesi, operatör kontrolünün sağlanması gibi işlevleri yürütmektedir. Şirket, ilk etapta tüm bu süreçleri basit seviyede MES üzerinde yürütmüştür. Sonrasında süreçleri ERP sistemine taşımıştır.

MES Sisteminin Üretim Sahasında Kullanımı:

Üretim yürütme sistemi olarak firma üretim hattında tercih etmiş olduğu yazılım programının çözümlerinden faydalanmaktadır. Mesai başlangıç saatlerinde operatörler üretimde bulunan tablet bilgisayarlar aracılığı o gün yapacakları ya da yapmakta oldukları işlerin sisteme bildirimlerini sağlamaktadırlar. Bu bildirimleri sağlarken her operatör kendi iş merkezi panelinde yer alan üretim butonunu kullanarak üretimi başlat seçeneğini işaretlemektedir. Ardından açılmış olan ekrandan vardiya bilgisini seçerek operatörün kendi sicil numarasına atanmış olan işlere ilişkin iş listesine ulaşmaktadır. Yapacak olduğu işi listeden seçerek üretim başlatma bildirimini sisteme “üretim paneli” aracılığıyla göndermiş olmaktadır.

Üretim bildirimi yapıldıktan sonra ekranda üretim başlangıç saati, ilgili parçanın birim süresi, malzeme açıklaması ve iş merkezinin verim, kullanım oranı, kalite ve OEE vb. verilerinin yer aldığı bir sistem ara yüzü (iş merkezi paneli) açılmaktadır.

Üretim hattında oluşan herhangi bir aksaklıktan dolayı yaşanmış olan duruşlarda ya da planlı olarak gerçekleştirilen duruşlarda bu duruşların sebepleri ile birlikte sisteme bildirim yapılmaktadır. Bu sayede ilgili iş merkezinin kullanım oranı, verim ve bununla ilişkili olarak da toplam ekipman etkinliği verileri doğru olarak saptanabilmektedir. Bu bildirim işlemi yapılırken üretimde açılmış olan ara yüzde yer almakta olan duruş

butonu kullanılmaktadır. Duruş başlat seçimi yapıldıktan sonra ekrana ilgili iş merkezi ile ilişkilendirilmiş olan duruş sebeplerinin listesi gelmektedir.

Üretim sahasında durmakta olan iş merkezlerinin saptanabilmesinin kolay olması adına duran iş merkezlerinin üretim ara yüzlerinde renk değişimi olmaktadır. Duruş bildirim yapıldığı zaman üretim ara yüzünden ne kadar süredir duruşta olduğunun bilgisine de ulaşılabilmektedir.

Toplam ekipman etkinliği verisin girdilerinden biri olan kalite verilerinin de saptanabilmesi için operatörler ürün henüz kalite kontrol noktalarına ulaşmamış olsa dahi kendi fark etmiş oldukları kalitesiz ürün bildirimlerini hurda kaydı bildirim paneli ile yapmaktadırlar. Bu bildirimleri yaparken üretim ara yüzünden yer alan “Yönet” butonu aracılığı ile “Hurda\Rötuş” butonunu kullanmaktadırlar.

“Hurda\Rötuş” butonu kullanılarak yapılacak olan kalitesiz ürün bildirim esnasında kalitesiz üretimin sebepleri, yazılımda yer alan liste üzerinden seçilmektedir. Bu sayede aylık ya da yıllık olarak alınan kalite raporlarında daha yüksek kalitede ürün üretebilmek için hangi ana sebebin üzerine yoğunlaşmak gerektiği bilgisine ulaşılabilmektedir.

Sahadan kalite bildirim yapıldığı zaman kalite verisindeki değişim ve kaç adet için kalitesiz ürün kaydı yapıldığının bilgileri iş merkezi paneli üretim ara yüzünde görüntülenebilmektedir. Kalite verisindeki değişime bağlı olarak OEE verisinin de değişmiş olduğunu gözlemlemek mümkündür.

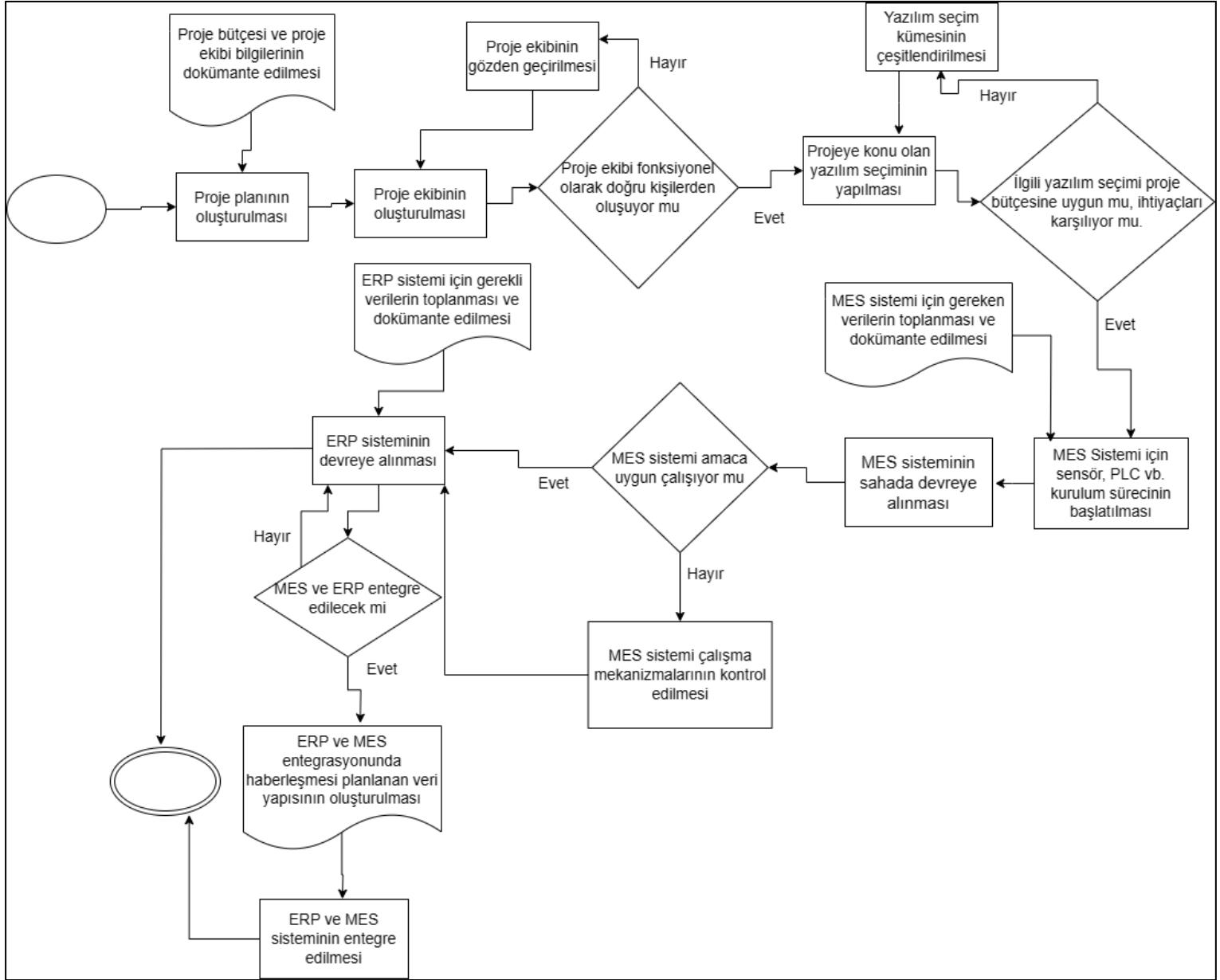
Vardiya değişimleri esnasında operatörler mesai başında başlatmış oldukları üretimlerini bitirmektedirler. Bu işlemi yaparken üretim ara yüzünde yer alan “Yönet” butonu aracılığı ile “Üretimi Bitir” butonunu kullanmaktadır. Üretimi sonlandırma esnasında PLC’nin saymış olduğu üretim adetini üretim sonlandırma paneli üzerinden kontrol etmektedirler. PLC üretim başlangıç ve bitiş süresine göre %95 güven aralığı ile doğru adeti saptamaktadır.

3.2.5. ERP ve MES yazılımlarının entegrasyonu uygulaması

Firma hali hazırda sahada MES Üretim Yürütme Sistemi olarak tercih etmiş olduğu yazılımı kullanmaktadır. MES sistemi, şirkette sahadan veri toplamak üzerine kullanılmakta ve üretim adetleri sahadan canlı olarak takip edilmektedir. Her makine sahadan bir KIOSK’a bağlıdır ve üretim verimlilikleri kokpit ekranlarından canlı olarak takip edilebilmektedir.

Uygulama esnasında ERP ve MES sistemlerinin entegrasyonu aşamasında bir plan dahilinde ilerleme kaydedilmiştir. Entegrasyon planı çerçevesinde kaynak, bütçe, zaman ve süreç akışları oluşturulmuştur.

- Kaynak kısmında projede yer alacak hedef kişiler ve hedef alanlar seçilerek verimsizliğe sebebiyet verecek her türlü etmen kısıtlanmaya çalışılmıştır. Hedef kişilerin kapsamını anahtar kullanıcılar (key user) oluştururken hedef alanların kapsamını ise pilot proje alanları oluşturmaktadır. Özellikle pilot proje alanları belirlenerek entegrasyon çalışmalarına ilgili alanlarda başlanması yanlış seçilmiş bir yöntemin tüm organizasyona yayılmasını engelleyerek çekirdek seviyelerde yöntemlerin doğrulanmasına ve test edilmesine imkan tanımıştır.
- Entegrasyon aşamasında bütçe ve zaman faktörünün de hesaba alınması hem maliyetleri dengelemiş hem de başarı değer akışının etkilerinin hızlı oluşmasına katkı sağlamıştır. Bütçenin kontrol altına alınması periyodik olarak odak alanların kontrol altına alınmasını sağlamıştır. Örneğin ERP tarafında devreye alınacak bazı modüller (çizelgeleme, sabit kıymet vb.) projenin faz-II aşamasına kaydırılmıştır. Bütçe planı doğrultusunda sistem eğitim planlamaları anahtar kullanıcılar seviyesinde oluşturulmuştur. Tüm organizasyona bu kişiler üzerinden sistem kullanımı bilgi akışı sağlanmış ve eğitim maliyetleri de olabildiğince minimum seviyede tutulmuştur.
- Entegrasyon süreç akışlarının belirlenmesi aşamasında bir süreç akışı belirlenmiş ve bu doğrultuda ilerleme kaydedilmiştir. Sürece ilk olarak MES sisteminin devreye alınması ile başlanmıştır. Şirket genelinde yeni bir sisteme geçiş ve bu sistemin kullanılması kültürü oluştuktan sonra ERP sistemine ilişkin süreçler daha yoğun seviyede ele alınmıştır MES sistemi ile beraberinde ERP sistemi alt yapısı da şirket bünyesinden kurgulanmıştır. Her iki sistemin kurulumu için de belirli bir yol alındıktan sonra ise bu iki sistemin hangi durumlarda hangi yöntemlerle ve hangi veriler üzerinden haberleşeceği belirlenmiştir. ERP’de müşteri siparişinin oluşturulması ile başlayan süreç planlama faaliyetleri sonucu oluşan iş emrinin MES sistemine aktarılması ve üretim teyidinin tekrardan ERP’ye gönderilmesi süreci ile sonlandırılmıştır. İki sistemin (ERP-MES) entegrasyonuna ilişkin süreç akışını ifade eden yapı Şekil 3.5. ile sunulmuş bulunmaktadır.



Şekil 3.5. Entegrasyon süreç akış şeması

ERP ve MES yazılımlarının entegrasyonu sürecinde süreç içerisinde alınmış kararlar doğrultusunda ERP’de açılmış olan iş emirlerini MES’e gönderimi ve üretim onaylarını canlı bir şekilde MES’ten ERP’ye geri bildirim olarak alınması amaçlanmıştır. Bu yapıyı oluşturmak için tercih edilen ERP sisteminin yazılım dilinin web servisi altyapısı kullanılmıştır. İlgili yazılım dili, programcılarının üçüncü parti uygulamalarına veri servis etmek için kullanılmaktadır. ERP sisteminin kendi yazılım dili kullanılarak web servislerin veya metodlarını tanımlanmasına olanak tanınmıştır. Basitçe, bir yazılım dili web servisi, bir sınıf metodunu web servisi olarak tanımlamakta ve web servis altyapısı bu servisi standart bir web servis tanımlama dili (Web Services Description Language - Wsdl) ara yüzü kullanarak sunmaktadır.

- ERP sisteminin web servis tanımlama modülü aracılığı ile web servisin amacına ilişkin prosedürler ve fonksiyonlar sisteme tanımlanmıştır.
- ERP tarafından temin edilen web servis referansı MES yazılımı proje dosyasının içine aktarılmıştır.
- Referans sonunda temin edilen wsdl ara yüzündeki fonksiyonlara parametreler gönderilerek ERP ve MES yazılımının canlı haberleşmesi sağlanmıştır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

İşletmelerde endüstriyel otomasyona geçiş sürecinde ilerleme kaydedilmesi için uygulanması gereken proje adımları mevcuttur. Çalışma kapsamında bu proje adımlarına ve uygulama detaylarına yer verilmiştir. Kurumsal Kaynak Planlama sistemleri ve üretim yürütme sistemleri de bu uygulama adımlarının bir parçasıdır. Çalışmanın detayında bu iki sistemin entegrasyon süreçlerine yer verilmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında entegrasyon sonucu sistem verileri sistematik olarak izlenmiştir. Çalışmanın bu bölümünde elde edilen verilerdeki olumlu ve olumsuz yöndeki değişimlere yer verilmiştir. Temelde yarı mamul ve mamul bazında hurda ve yeniden işlemeye ayrılmış olan ürünlere ilişkin kalite verileri, üretim hattında meydana gelen duruşların sebepleri ve sürelerine ait verilere ve üretim hatlarının aylık ortalama toplam ekipman etkinliği verilerine yer verilmiştir. Verilere ilişkin detaylar değişim grafikleri ve tablolar aracılığı ile aktarılmış bulunmaktadır.

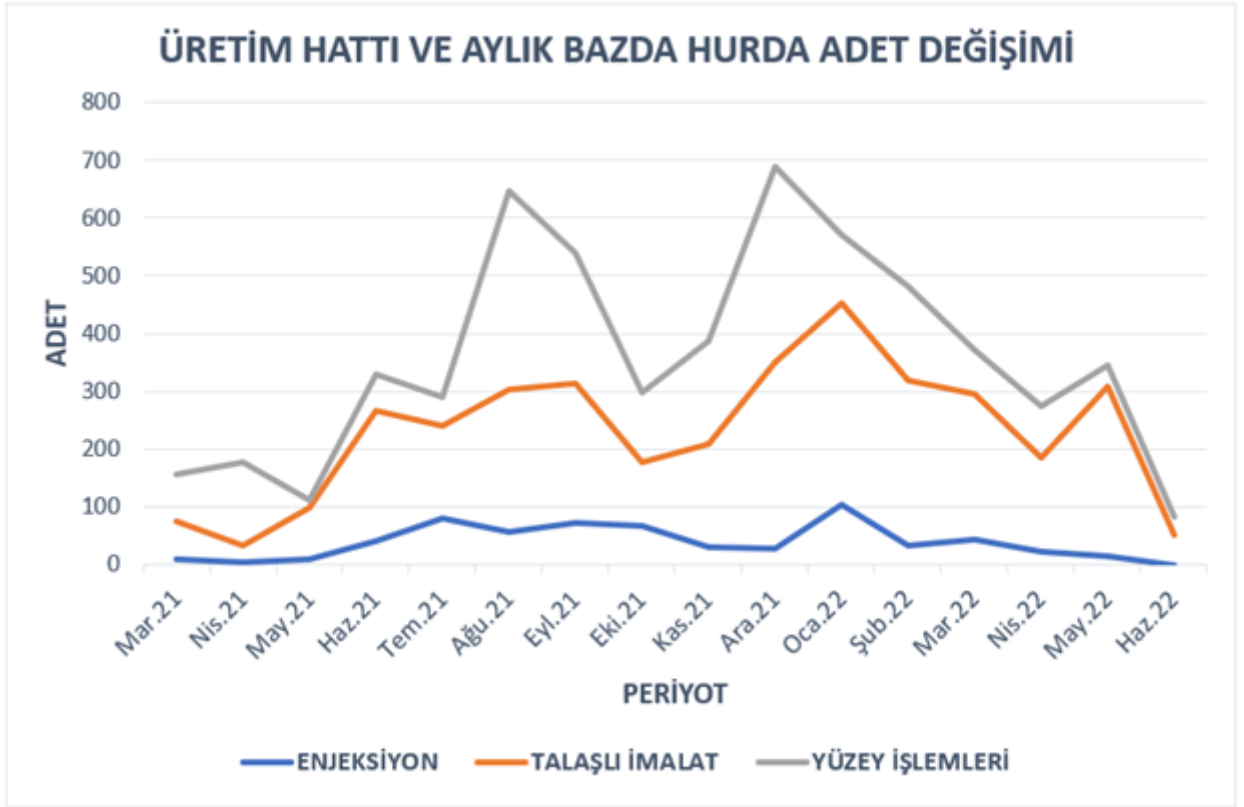
4.1. Kalite Verilerinin İzlenmesi

Organizasyon içerisinde izlenebilirlik çalışmaları söz konusu olduğu zaman ilk akla gelen yapı MES sistemleridir. OEE, verisi ise izlenebilirlik adı altında kurulmuş olan MES sisteminin bir çıktısıdır ve içerisinde girdi olarak kalite verisini (yüzdesel) de içermektedir. ERP üzerinden açılmış olan iş emirlerine istinaden üretilmiş olan yarı mamullere ilişkin kalite verileri ele alındığı zaman aylık bazda hurdaya ayrılan malzeme adetlerinde azalmaların gözlemlendiği grafikler aracılığı ile aşağıda sunulmuştur. Çizelge 4.1.'de üretim hattında meydana gelen hurdaların adetleri, Şekil 4.1.'de ise yine aynı hurdaların hat bazında değişim eğrileri yer almaktadır. Şekil 4.1.'deki veriler incelendiği zaman talaşlı imalat ve enjeksiyon hattına oranla daha fazla hurda malzemesi olan yüzey işlemleri hattında bir iyileşme durumunun olduğu söz konusudur. Enjeksiyon hattında diğer hatlara oranla daha az hurda malzeme çıkması enjeksiyon hattının kalıp ile üretim yapmasına dayandırılabilir. Sunulmuş olan veriler 2021 yılı mart ayından itibaren ele alınmış olup 2022 yılı haziran ayına kadar olan süreçte düzenli olarak takip edilmiştir. Azalma eğiliminin özellikle 2022 yılı ocak ayından itibaren başlaması ERP ve MES sisteminin entegre çalışmasının canlıya alınması sürecine tekabül etmektedir. Sahada öncelikle MES sistemi belirli bir aşamaya getirildikten sonra ERP sistemi kurulum çalışmaları başlatılmıştır. Sürecin en son aşamasında ise iki sistem entegre hale getirilerek sahada canlıya alınmıştır.

Sistemde kayıtları yer alan hurda sebeplerinin üretim hatları ile ilişkisi kurulmuş olup yine bu ilişkilere istinaden oluşmuş verilere de MES ve ERP sistemlerinin entegre çalışması sonucu ulaşılmıştır. Ulaşılmış olan bu verilerin çıktısı da yine grafikler aracılığı ile sunulmuş bulunmaktadır. Çizelge 4.2.'de ise hurdaya ayrılan malzemelerin hurda sebebi bazında aylık adetleri sunulmuş bulunmaktadır. Şekil 4.2.'deki veriler incelendiğinde malzemelerin en çok ölçü ve yüzey hatasından ötürü hurdaya ayrılmış olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. En sık karşılaşılan hatalar arasında yer alan ölçü ve yüzey hatası en çok talaşlı imalat ve yüzey işlemleri hattında meydana gelmektedir. Bu durum talaşlı imalat hattının ayar değişiminin sık yapıldığı ve üretim hacminin büyük bölümünü oluşturan bir hat olması ile ilişkilendirilmektedir. Benzer şekilde talaşlı imalat hattından çıkan ürünlerin yüzey işlemleri hattının girdisi olması da bu durum ile ilişkilidir.

Çizelge 4.1. Üretim hattı bazında hurda adetleri

ÜRETİM HATTI	PERİYOT															
	Mar.21	Nis.21	May.21	Haz.21	Tem.21	Ağu.21	Eyl.21	Eki.21	Kas.21	Ara.21	Oca.22	Şub.22	Mar.22	Nis.22	May.22	Haz.22
ENJEKSİYON	9	5	8	40	80	56	73	68	30	28	104	33	43	23	15	0
TALAŞLI İMALAT	65	29	91	226	160	248	241	109	178	323	348	285	252	161	293	52
YÜZEY İŞLEMLERİ	81	142	12	64	51	342	225	120	180	338	118	163	76	91	37	31
TOPLAM	155	176	111	330	291	646	539	297	388	689	570	481	371	275	345	83



Şekil 4.1. Üretim hattı bazında hurda adet değişim grafiği

Çizelge 4.2. Sebep bazlı hurda adetleri

SEBEP	PERİYOT															
	Mar.21	Nis.21	May.21	Haz.21	Tem.21	Ağu.21	Eyl.21	Eki.21	Kas.21	Ara.21	Oca.22	Şub.22	Mar.22	Nis.22	May.22	Haz.22
HATALI OPERASYON	3	0	0	5	7	11	0	2	2	0	2	0	3	0	1	0
İLK AYAR HURDASI	22	11	0	86	36	110	105	52	58	105	37	50	100	32	60	49
KALIP-TAKIM-APARAT KAYNAKLI HATA	2	0	0	13	80	45	24	52	16	5	7	10	23	10	12	0
OPERASYON EKSİKLİĞİ	0	0	0	0	5	7	10	0	1	0	0	10	0	4	0	0
OPERATÖR HATASI	13	0	8	14	16	33	22	6	9	93	15	92	27	17	185	0
ÖLÇÜSEL HATA	27	0	91	124	92	118	104	51	104	125	324	233	125	112	48	0
TEDARİKÇİ KAYNAKLI HATA	7	5	0	17	11	18	49	16	14	23	67	13	17	9	2	0
TEKNİK RESİM HATASI	0	0	0	1	0	2	0	0	7	0	0	2	0	0	0	3
YÜZEY HATASI	81	160	12	70	44	302	225	118	177	338	118	71	76	91	37	31
TOPLAM	155	176	111	330	291	646	539	297	388	689	570	481	371	275	345	83



Şekil 4.2. Hurda sebepleri değişim grafiği

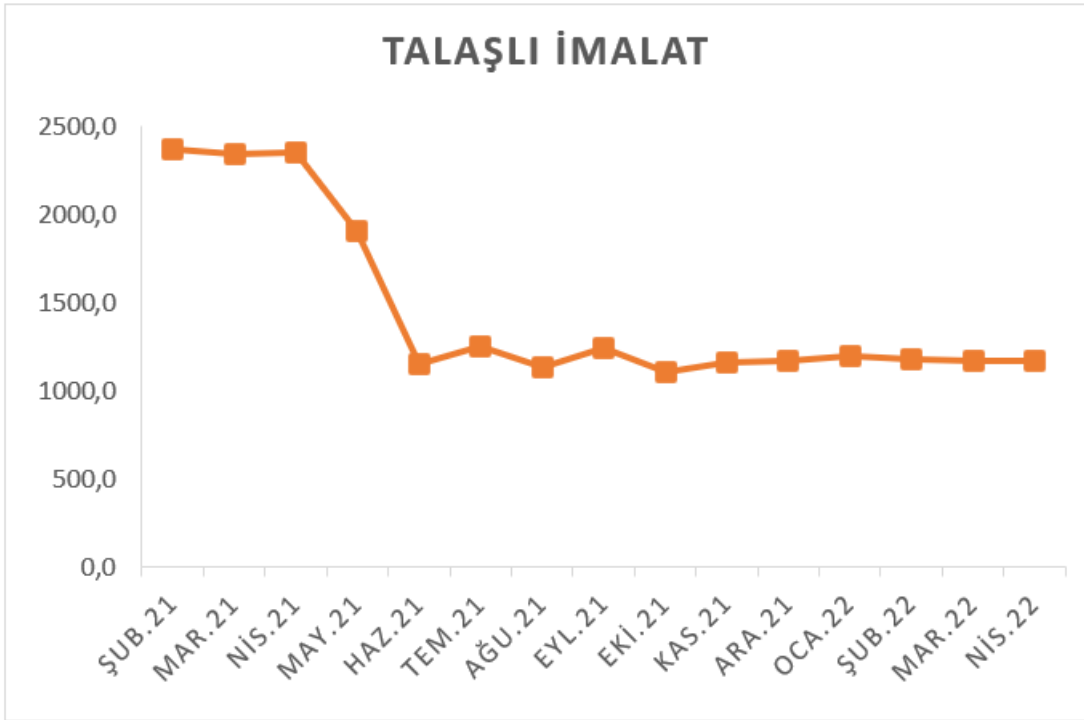
4.2. Üretimde Meydana Gelen Duruşların Analizi

Üretim sürecinde TPM'e etki ederek ekipman etkinliğini düşüren kayıpların arasında duruş kayıpları da yer almaktadır. Planlanan üretim zamanını azaltan, makinelerin üretim yapmasına engel olan kayıplar duruş kayıpları olarak ifade edilmektedir. TPM konseptinde bu tür kayıplar kullanılabilirlik oranını düşüren kayıplar olarak da ifade edilmektedir. Arıza kayıpları ve ayar kayıpları bu tür kayıplara en temel örneklerdir. Tamir gerektiren ekipman hatalarının neden olduğu duruş kayıpları ise arıza kayıpları olarak nitelendirilmektedir. Bu tür kayıplar genel olarak ekipmanın uygun olmayan şartlarda kullanılması, iş gören kaynaklı yanlış ekipman seçimi, eksik ya da yetersiz bakım faaliyetleri gibi etkenlerden dolayı oluşmaktadır. Kurma ayar kayıpları ise üretim akışındaki değişikliklerin sebep olduğu kayıplardır. Ürün dönüşleri esnasında makinenin gerçek performansını yakalayabilinceye kadar geçen zaman, vardiya başlangıcı ya da mola dönüşlerinde makinelerin yeniden üretime başlaması için yapılan hazırlıkların neden olduğu kayıplardır. Ayrıca performans kaybına neden olan duruşlar planlı ve plansız olarak da ayrılmaktadır. Arıza kayıpları, elektrik kesintisi, araç gereç eksikliği vb. duruşlar plansız duruşlara dahildir. İş başı eğitimi, molalar, toplantı vb. duruşlar ise planlı duruşlara dahil edilmektedir.

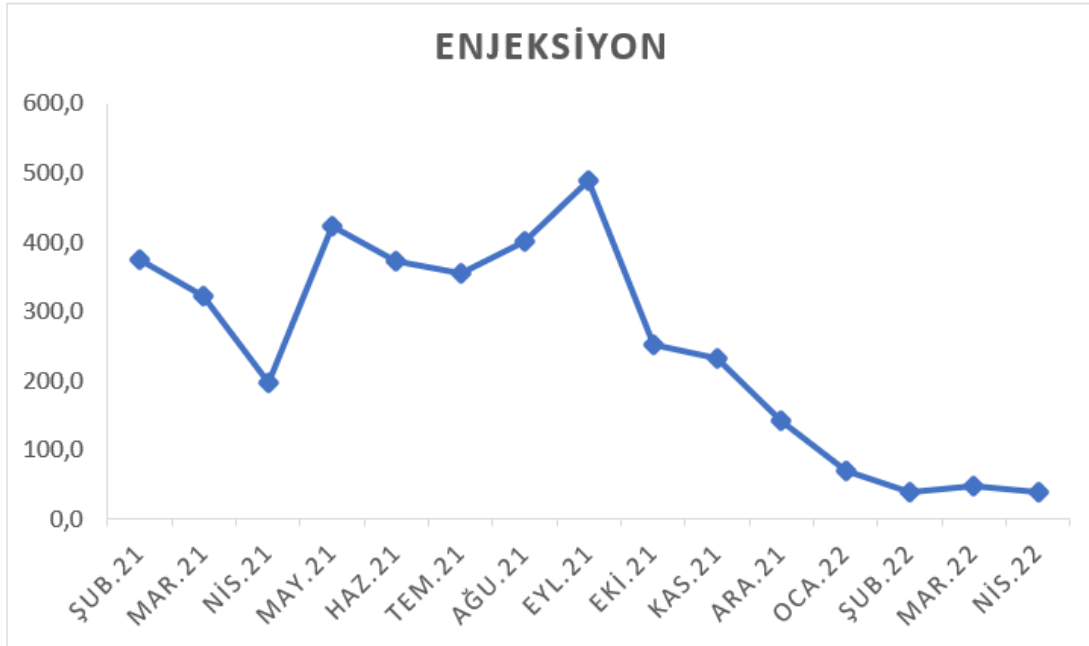
Sistem aracılığı ile elde edilmiş verilere dair analizler grafikler yardımıyla sunulmuş bulunmaktadır. Hat bazında meydana gelen duruş sürelerine Şekil 4.3. üzerinden bakıldığı zaman ise duruşların büyük bölümünü talaşlı imalat hattının oluşturduğu görülmektedir. Ayrıca üretim hattında meydana gelen duruşların zaman içinde azalma eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.4., Şekil 4.5. ve Şekil 4.6.'da sırasıyla talaşlı imalat, enjeksiyon ve yüzey işlemleri hattındaki duruşların değişimine yer verilmiştir. Kalite verilerinin izlenmesi başlığı altında da yer verilmiş olduğu üzere ilk olarak MES sistemi ile başlayan sürece 2022 yılı ocak ayında entegre bir şekilde sürece ERP sisteminin de dahil edilmesinin etkileri duruş verilerinde de gözlemlenmiş bulunmaktadır. Buna sebep olarak oluşturulmuş olan izlenebilirlik alt yapısı gösterilebilir.



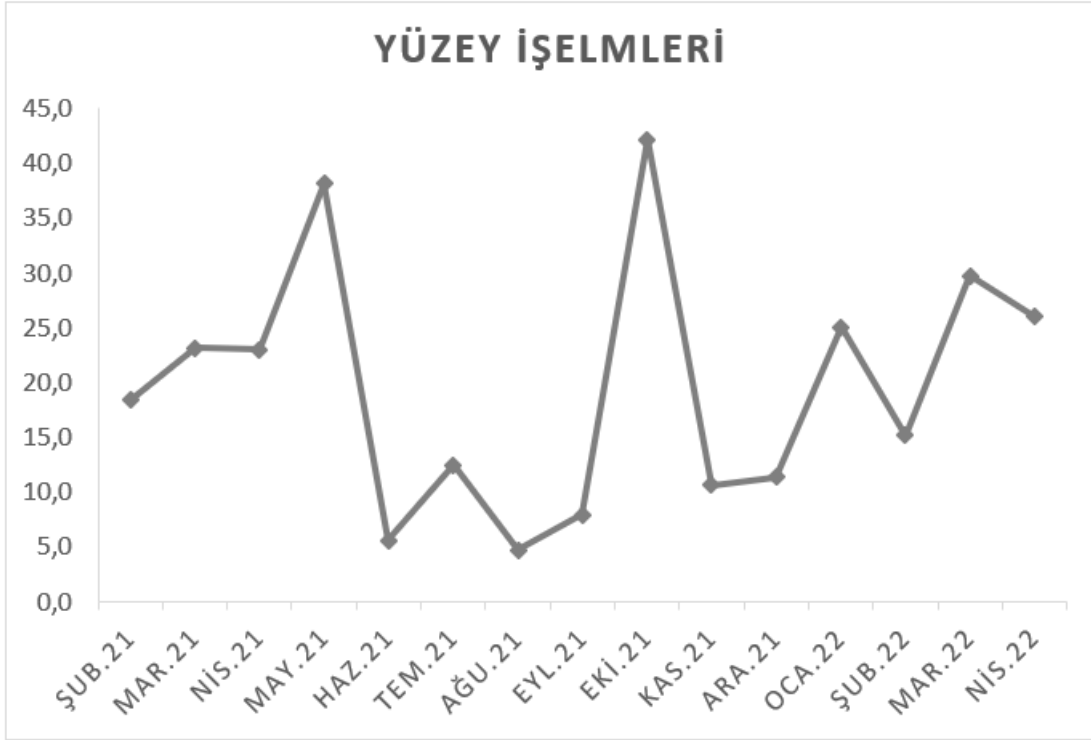
Şekil 4.3. Üretim hattı bazında duruş oranı



Şekil 4.4. Talaşlı imalat hattı duruş değişim grafiği



Şekil 4.5. Enjeksiyon hattı duruş değişim grafiği

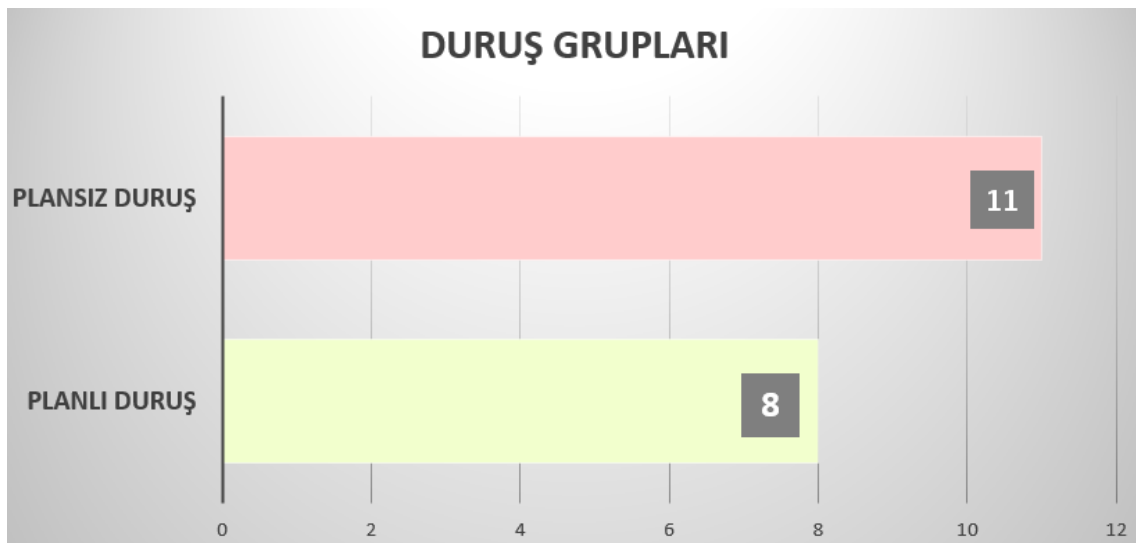


Şekil 4.6. Yüze işlemleri hattı duruş değişim grafiği

Çizelge 4.3 ve Şekil 4.7. aracılığı ile sunulmuş veriler incelendiği zaman üretim hattında meydana gelen duruşların, duruş sebebi çeşitliliği ve duruş adedi bakımından çoğunluğunun plansız duruş olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.3. Duruş sürelerinin sebep bazlı dağılımı

DURUŞ SEBEBİ	TOPLAM SÜRE (saat)	YÜZDE ORANI
MALZEME BEKLEME	3848,0	14,85
TEZGAH ARIZA	3601,6	13,90
MAKİNE AYARI	3464,1	13,37
YEMEK-ÇAY MOLASI	5225,2	20,16
TEMİZLİK	2167,7	8,37
OPERATOR EKSİKLİĞİ	1661,7	6,41
ÜRGE FAALİYETİ	1305,4	5,04
KISA DURUŞ	1135,8	4,38
KALIP-APARAT DEĞİŞİMİ	1000,8	3,86
TALİMAT BEKLEME	542,9	2,10
KALİTE ONAY BEKLEME	528,6	2,04
MALZEME ÖN HAZIRLIK	361,4	1,39
PERİYODİK BAKIM	348,1	1,34
İŞBAŞI EĞİTİMİ	318,3	1,23
ELEKTRİK KEŞİNTİSİ	238,7	0,92
MALZEME TAŞIMA	71,2	0,27
MAKİNENİN ISINMASINI BEKLEME	64,3	0,25
TOPLANTI	20,3	0,08
ARAÇ GEREÇ EKSİKLİĞİ	8,7	0,03
TOPLAM	25912,9	100



Şekil 4.7. İki tip duruşun üretim hattındaki dağılımı

4.3. Toplam Ekipman Etkinliği Verilerinin İzlenmesi

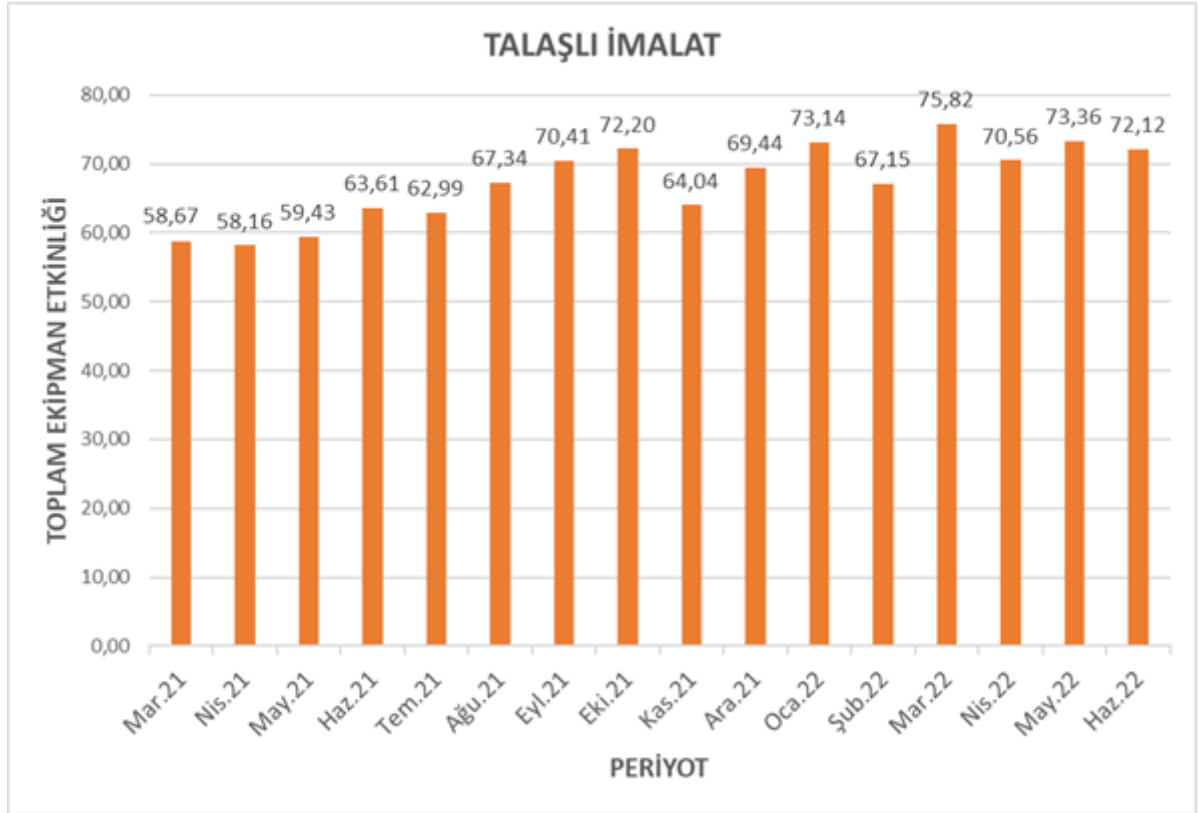
OEE, tek bir hesaplama ile birden fazla bilgi sağlayan güçlü bir ölçüm sistemidir. Doğru hesaplandığında ve çıktıları doğru yorumlandığı zaman üretimi kayda değer bir şekilde maksimize edebilir. OEE, üretim sürecini herhangi bir endüstri standartlarıyla, şirket içi ekipmanla veya aynı ekipman ile çalışan farklı vardiyalarla kıyaslamak için bir kriter olarak kullanılabilir. Daha önceki bölümlerde de sunulmuş olduğu üzere OEE verisinin %85'lik puan değeri dünya genelinde kabul gören mükemmel üretim olarak kabul edilmektedir. Bir diğer ifade ile mümkün olan en kısa sürede en az fire ile ideal olarak kaliteli parça üretilmesidir. OEE verisi yalnızca yöneticiler için oluşturulmuş bir çıktı değildir. Aynı zamanda işletme bünyesindeki çalışanlar üzerinde de önemli bir etkiye sahiptir. Tesis tabanlı ölçümler;

- Hedef: Gerçek zamanda üretim hedefidir.
- Gerçek: Gerçekleşen üretim sayısıdır.
- Verimlilik: Hedefin gerçeğe oranıdır. Üretimin hedeflenen oranın ne kadar ilerisinde veya gerisinde olduğunun yüzdesidir.
- Arıza Süresi: Vardiya içinde planlanmış olan tüm duruş sürelerini içerir ve eş olarak güncellenir.

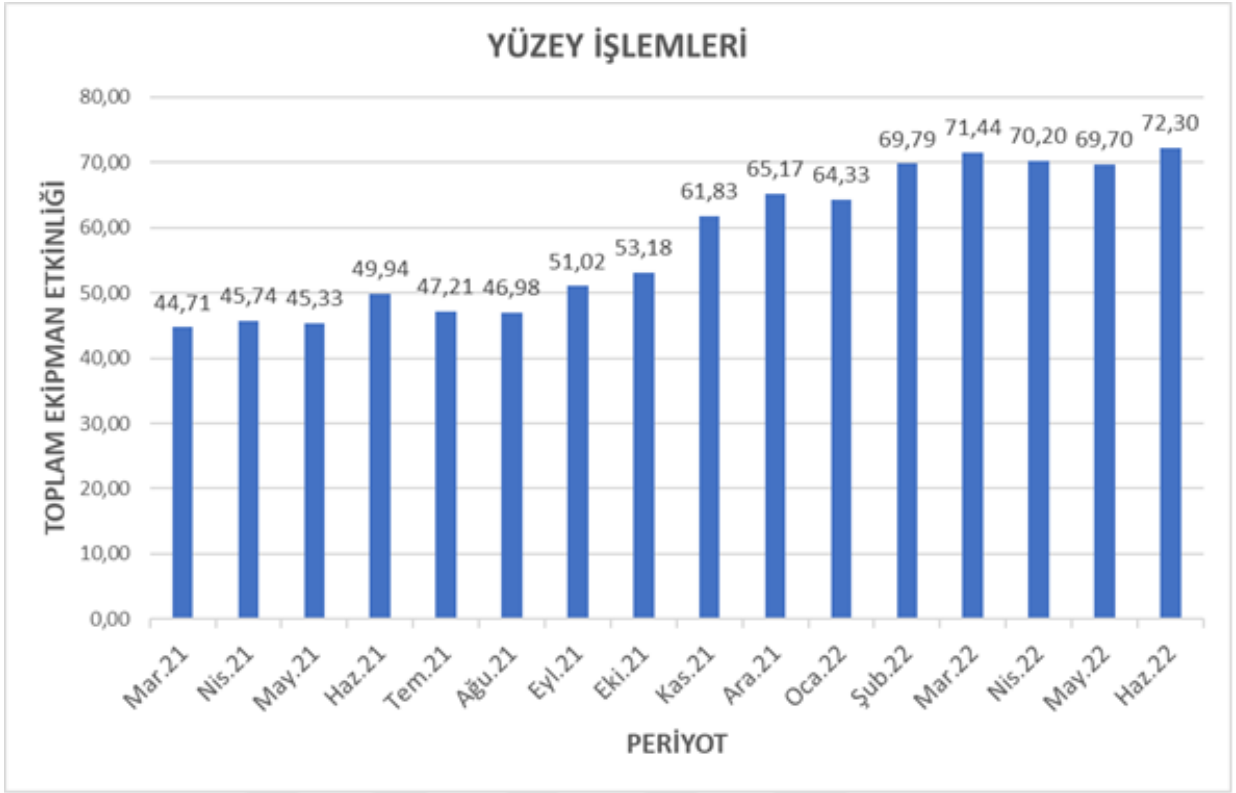
kriterlerini içermektedir.

ERP üzerinden açılmış olan iş emirlerinin vardiya değişimlerinde MES sistemi üzerinden başla bitir işlemlerinin yapılması, duruş ve kalite verilerinin bildiri ile üretim hattında yer alan makinelerin OEE verileri aylık olarak kayıt altına alınmıştır. Makinelerin durduğu veya çalıştığı duruma ait veriler elde edilirken endüstriyel otomasyon sürecinde sensör alıcısı olarak kullanılan PLC'lerden yararlanılmıştır. PLC'ler ile alınan bilgiler SCADA'lar yardımı ile saklanmıştır. Koruma altına alınmış olan bu veriler ERP ve MES sistemleri aracılığı ile de anlamlı hale getirilmiştir. OEE verileri ay içerisinde ilgili hatta üretilen tüm ürünlere atılan verilerin ortalaması ile elde edilmiştir. Üretimdeki her bir hat için oluşturulmuş OEE verileri Şekil 4.8., Şekil 4.9. ve Şekil 4.10. aracılığıyla sunulmuştur. Enjeksiyon hattında kalitesiz ürün ve duruşun diğer hatlara nazaran daha az olması oradaki OEE verisinin daha yüksek seviyelerde olmasını sağlamaktadır. Yüzey işlemleri hattının başlangıç verisi ile bitiş verisi arasındaki farka bakıldığı zaman ise izlenebilirliğin sağlamış olduğu iyileşmenin etkisi görülmektedir. Talaşlı imalat hattının özellikle duruş verisinde yaşanmış olan azalma eğilimi dolaylı olarak OEE verisindeki iyileşmeyi oluşturmaktadır.

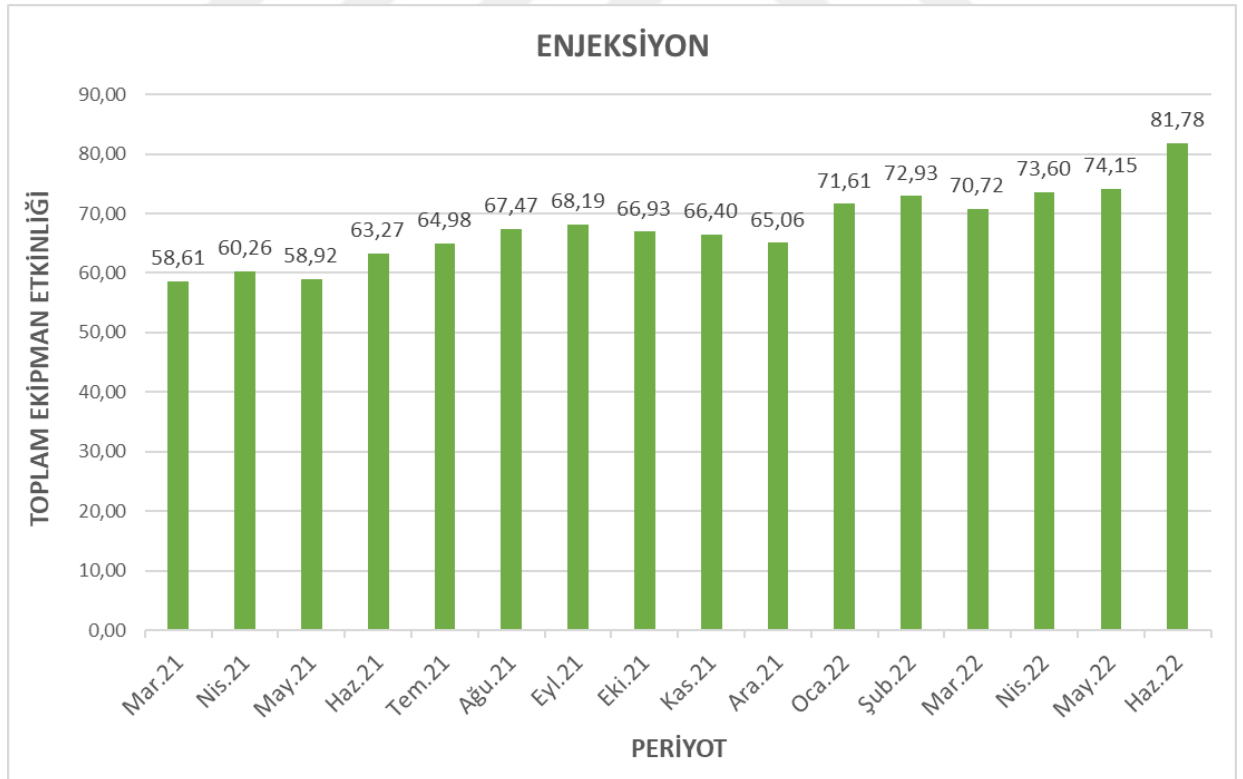
Elde edilmiş olan veriler incelendiği zaman üretim hatlarının verilerinin artma eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. Bu artma eğiliminin en önemli sebebi kaliteli üretim, maksimum kullanılabilirlik ve minimum duruş kültürünün operasyonel üreticilere kazandırılmış olmasından ileri gelmektedir. Bu kültürel kazanım ise dijital dönüşüm süreçleri ile oluşmuş bulunmaktadır.



Şekil 4.8. Talaşlı imalat hattı OEE değişim grafiği



Şekil 4.9. Yüzey işlemleri hattı OEE değişim grafiği



Şekil 4.10. Enjeksiyon hattı OEE değişim grafiği

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Sektörel büyüme hedefinde olan şirketler için verimli kaynak kullanımı, müşteri taleplerine hızlı ve etkin dönüşler sağlamak, dinamik süreç yönetime sahip olmak oldukça önemlidir. Şirketlerin bu hedeflerine ulaşabilmeleri için değişim ve dönüşüme ayak uydurmaları olmazsa olmaz bir süreçtir. Değişim ve dönüşüm adı altında global şirketler için ERP ve MES sistemleri sahip olmaları gereken en temel kaynaklar arasında yer almaktadır. Başarılı bir dönüşüm süreci için proje başlangıcında belirlenen hedefler gerçekten ulaşılabilir olmalı, uygulanabilir ve gerçeğe yakın proje planları oluşturulmalı, iyi bir kavramsal analiz tasarım süreci geçirilip hiçbir detayın atlanmamış olduğundan emin olunmalıdır. Yapılan bu çalışmada bu değişim ve dönüşüm sürecinin nasıl yürütülmesi gerektiğine sırası ile hangi adımların izlenmesi gerektiğine ve bu adımlar sonucu gelinen noktada şirketlere nasıl bir katkı sağlayacağına değinmiştir.

Destekleyici nitelikte olması adına hazırlamış olduğum bu çalışmada imalat sektöründe faaliyet gösteren bir şirketin başarı ile sonuçlanmış endüstriyel otomasyon projesi ele alınmıştır. Proje kapsamında ERP ve MES sistemlerinin entegrasyonuna yer verilmiştir. Entegrasyon aracılığıyla elde edilen sistem verileri ve bu verilerdeki değişimler incelenmiştir. Başarıya ulaşmış projelerde en önemli kriter üst yönetimin desteği ve doğru kişilerden oluşmuş olan proje ekibidir. Bu anlamda proje yöneticisinin rolü de dönüşüm projelerinin başarıya ulaşmasında oldukça önemlidir. Proje yöneticisinin zaman ve stres yönetimindeki başarısı projenin başarısını teşkil eder. Ayrıca şirket içinde projeye dair kararsızlık durumu hakimse bu durum olabildiğince ERP ve MES sistemi hizmetlerinin alınmakta olduğu danışmanlık şirketlerine yansıtılmaması gerekmektedir. Bu tarz yansımalar projenin sürekliliğini aksatacak durumlara yol açmaktadır.

İş süreçlerini kurumsal kaynak planlama sistemleri aracılığıyla yürütme kararı almak herhangi bir kuruluş için büyük bir adımdır. Bir şirketin birincil iş süreçleri (muhasabe, bütçeleme, envanter yönetimi, tedarik zinciri yönetimi ve insan kaynakları vb.) yönetimini desteklemek için ERP sistemlerinin sunmuş olduğu çözümlerden faydalanılır. Bu sistemler iş süreçleri içerisinde geniş bir etkiye sahip olduğundan, şirketlerin iş süreçlerine uyarlanması sürecindeki iş adımlarının sorunsuz olarak ilerleme kaydettiğinden emin olmak ve sistemden mümkün olan en büyük faydayı sağlamak için sürecin her aşamasındaki uygulamaları en iyi şekilde takip etmek ve raporlamak önemlidir. ERP uyarılma sürecini başarılı şekilde yürütmek için aşağıda belirtilmiş olan hususlara dikkat etmek gerekir.

Proje Ekibi: Bir ERP projesinin başarı ile sonuçlanabilmesi için güçlü bir proje ekibine sahip olmak çok önemlidir. Bu ekibin içinde proje sponsoru, proje yöneticisi ve operasyonel süreçleri destekleyen kilit iş grubu üyelerinin olması yine bir başarı faktörüdür.

Temel Gereksinimler: Kavramsal analiz sürecini destekleyici bir süreçtir. Gereksinim toplama aşaması olarak da ifade edilebilir İçerisinde; muhasebe, insan kaynakları, müşteri ilişkileri yönetimi ve envanter yönetimi gibi mevcut süreçlerin iş akışlarının ve temel iş süreçlerinin analizini içermektedir.

Kilit Performans Göstergesi: Kilit Performans Göstergesi (Key Performance Indicator, KPI) gereksinim analizinin yapılmasıyla temel KPI'ları oluşturmuş ve hedef edinmiş olmak mümkündür. Bu KPI'lara zaman ve bütçe yönetimi örnek teşkil edebilir. KPI'ların doğru belirlenmesi ve yönetimi ERP sistemi proje uyarlamasının başarısını ölçmek için bir kriterdir.

Proje Yönetimi: Bir ERP sisteminin devreye alınması ve uyarlanması süreci zaman ve efor gerektiren bir süreçtir. Bu süreçte proje yönetimi çerçevesinin oluşturulmuş olması tüm uygulama süreci boyunca ERP kurulumunu başarıya sürükleyecek bir faktördür.

İş Birliği ve İletişim: Başarılı projeler, amaç ve hedeflere ilişkin karşılıklı bir anlayış çerçevesi oluşturma etrafında şekillenmektedir. Sağlıklı ve düzenli iletişim de bu anlayış çerçevesinin bir parçasıdır. Bu noktada şirket bünyesindeki herkesin proje kapsamında sürece senkronize olması çok önemlidir.

Veri Taşıma: Verileri ERP sistemine aktarmak uyarlama sürecinde kritik bir adımdır ve dikkatli hazırlık ve planlama gerektirir. Geçiş süreçlerinde özellikle farklı uygulamalardan gelen veriler konsolide ediliyor ve standartlaştırılmıyorsa verileri kaybetme veya bozma riski ortaya çıkmaktadır.

Eğitim: ERP uyarlama süreci içinde olan firmalar için çalışan profiline yeni ERP sistemi konusunda hemen yetkinlik kazanmalarını beklemek gerçekçi değildir. Farklı grupların ve rollerin ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde eğitim planlaması yapmak kullanıcıların sistemi benimsemelerine ve sistemden maksimum fayda sağlamaları konusunda faydalı olacaktır.

Destek: Sistem kullanılmaya başlandığında kullanıcıların sorunlarla karşılaşmaları ve soru sormaya başlamaları çok muhtemeldir. İlk olarak teknik desteğe ihtiyaç olacaktır. İkinci olarak proje ekibi olası sorunları öngörmeli ve tespit etmelidir. Genel olarak aynı hatalar tekrarlanıyorsa bu durum sorunun ilave eğitim planlaması veya sistem düzeltilmesi ile çözülmesi gereken bir sorun olduğuna işaret etmektedir.

Son Kullanıcı Geri Bildirimi: Proje uyarlama ve devreye alma süreci boyunca son kullanıcı geri bildirimlerini değerlendirmek oldukça önemlidir. İlk aşamalarda insanların nasıl çalıştığına, ekip içerisinde nasıl etkileşime girdiklerine ve sürekli karşılaştıkları engellere ilişkin daha derin bilgileri edinmeye yardımcı olur. Bu gözlemler gerçek kullanıcı ihtiyaçlarının saptanması için ERP uygulamasına rehberlik etmektedir.

Çalışma kapsamında proje öncesi ve sonrası süreçlerde üretim hatlarının sistemden elde edilmiş kalite, duruş, toplam ekipman etkinliği verilerine ve bu verilerdeki değişimlere yer verilmiştir. Veriler incelendiğinde genel olarak pozitif yönlü bir iyileşme olduğu gözlemlenmiştir.



KAYNAKLAR

- Acar, N., 2001, Üretim Planlaması Yöntem ve Uygulamaları, 8, *Mpm Yayınları*, Ankara.
- Anonim 1, (28 Ocak 2022). Endüstriyel Otomasyon Nedir. İnnova Bilişim, <https://www.innova.com.tr/tr/blog/dijital-donusum-blog/endustriyel-otomasyon-nedir>
- Anonim 2, (15 Ocak 2022) Üretim Yürütme Sistemi Nedir. MDP Group, <https://mdpgroup.com/blog/uretim-yonetim-sistemi-nedir/>
- Anonim 3, (18 Ocak 2022) MES Nedir. Proente Otomasyon, <https://proente.com/mes/>
- Anonim 4, (24 Kasım 2021) Endüstriyel Otomasyon Nedir <https://www.innova.com.tr/blog/endustriyel-otomasyon-nedir/>
- Anonim 5, (6 Kasım 2021) Endüstri4.0'da MES MOM Rolü [Endüstri 4.0'da MES ve MOM Rolü \(endustri40.com\)/](https://www.innova.com.tr/blog/endustriyel-otomasyon-nedir/)
- Anonim 6, (4 Kasım 2023) ERP Uygulaması Nedir? <https://www.oracle.com/tr/erp/what-is-erp/implementation/#erp-implementation-defined/>
- Anonim 7, (16 Temmuz 2020) MES Sistemlerinde ERP Entegrasyonu <https://trexakademi.com/mes-sistemlerinde-erp-entegrasyonu/>
- Bayındır, R., Kaplan, O., Bayyığıt, C., Sarıkaya, Y., vd. (2011). PLC ve SCADA kullanılarak bir endüstriyel sistemin otomasyonu, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 27(1), 107-115.
- Bayraktar, E. ve Efe, M., 2006, Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP) ve Yazılım Seçim Süreci, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Sayı (15).
- Beric, D., Havzi, S., Lolic, T., Simeunovic, N., 2020, Development of the MES software and Integration with an existing ERP Software in Industrial Enterprise, *19th International Symposium INFOTEH-JAHORINA*, Serbia.
- Boyes H., Hallaq B., Cunningham J., Watson T., 2018, The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework, *Computers in Industry* Volume 101, 1-12.
- Braglia, M., Frosolini M. ve Zammori F., 2009, Francesco, Overall Equipment Effectiveness of A Manufacturing Line (OEEML), An Integrated Approach To Assess Systems Performance, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 20(1), 8-29.
- Bülbül S. ve Sevim A., 2017, Kurumsal Kaynak Planlaması (Enterprise Resource Planning ERP) Sistemlerinin Sürekli Denetiminde Yapay Zekâ Kullanımı, *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(1), 1-12.
- Chand, G. ve Shirvani, B., 2000, Implementation of TPM in cellular manufacture, *Journal of Materials Processing Technology*, (103), 149-154.
- Chen, I.J., 2001, Planning for ERP systems: Analysis and future trend, *Business Process Management Journal*, 7(5), .374-386.
- Considine, D.M., *Process/Industrial Instruments Controls Handbook*, McGraw-Hill Inc. 2002.
- Çilek, A. (2005), "PLC ile Endüstriyel Otomasyon Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

- Düzakın, E. ve Sevinç S., 2002, Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP), *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Sayı (1).
- Edgar, T. F. ve Pistikopoulos, E.N. 2018, Smart manufacturing and energy systems, *Computers and Chemical Engineering*, (114), 130-144.
- Elbashir, M., Collier, P.A. ve Sutton, S.G. 2011, The Role of Organizational Absorptive Capacity in Strategic Use of Business Intelligence to Support Integrated Management Control Systems., *The Accounting Review*, 86 (1), 155–184.
- Erdil, A. ve Başlıgil, H., 2011, Kurumsal Kaynak Planlamanın Endüstriyel İşletme Bünyesinde Kurulması- Kurulumunda Karşılaşılan Sorunlar ve Çözümleri, *XI. Üretim Araştırmaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 624-640.
- Erdinç, E., 2019, ‘ERP Yöntemi Kullanılarak Yeniden Yapılandırılan (Değişim Mühendisliği) Performansının Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi ‘, Yüksek Lisans Tezi, *T.C Beykent Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*. 1-2.
- Gao, R., Wang, L., Teti, R., Dornfeld, D., Kumara, S., Mori, M. & Helu, M. 2015, Cloud-enabled prognosis for manufacturing. *CIRP Annals, Manufacturing Technology*, 64(2), 749–772.
- Harwood, Stephen, ERP The Implementation Cycle, (Çev.Halefşan Sümen), Bileşim Yayınevi, İstanbul, 2003.
- Halıcı, M. (2022), “Kurumsal Kaynak Planlama Sistemleri ile Üretim Yürütme Sistemlerinin Entegrasyonu: Makine İmalat Sektöründe Bir Uygulama” Yüksek Lisans Tezi, *T.C Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*.
- Hoxha V., I Bula., Shala M., Hajrizi E., 2016, Cost-Oriented Open source Automation Potential Application in Industrial Control Applications, Pristina, Kosovo, *IFAC 16 International Federation of Automatic Control*.
- Huang, G.Q., et al., 2008, RFID-enabled real-time wireless manufacturing for adaptive assembly planning and control.. *19(6)*, 701-713.
- Junker, B.H., 2009, Application Of Overall Equipment Effectiveness To Biopharmaceutical Manufacturing, *BioPharm International*, 22(5), 40-50.
- Karadede, A., ve Baykoç, Ö. 2006, Kurumsal Kaynak Planlama (Kkp) Uygulamasi Sonrasi İşletmelerin Yaşadığı Sorunlar, *Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*.
- Klein, M. 2020, İşletmelerin dijital dönüşüm senaryoları Kavramsal bir model önerisi, *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 19(74), 997-1019.
- Kocabay, V., 2019, “Dijital İkizler Gömülü Gerçek Zamanlı Üretim Yürütme Sistemi Tasarımı: Kitlesele Özelleştirme ile Üretim Yapan Bir Firmada Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi. *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 7-25.
- Laudon, K.C., Laudon, J.P. 2002, *Management Information Systems*, New Jersey: Prentice Hall.
- Laughlin, S.P., 1999, An ERP game plan, *Journal of Business Strategy*, 20(1), 32- 37.
- Ljungberg, Ö., 1998, Measurement Of Overall Equipment Effectiveness As A Basis For TPM Activities, *International Journal of Operations And Production Management*, 18(5), 495 – 507.

- Liu, W., Chua, T. J., Lam, J., Wang, F. Y., Cai, T. X., Yin, X. F., 2002, APS, ERP and MES systems integration for Semiconductor Backend Assembly, *Seventh International Conference on Control, Automation, Robotics And Vision*, Singapore, 1403-1408.
- Matt, D. T., Orzes, G., Pedrini, G., Beltrami, M. & Rauch, E. 2019, Roadmap in eine digitale welt. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 114(9), 576-579.
- Oman, S., Leskovar, R., Rosi, B., Baggia. A., 2017, Integration of MES and ERP In Supply Chains: Effect Assessment In The Case Of The Automotive Industry, *Technical Newspaper*, 24(6), 1889-1896.
- Oktaç, M. T., Timur, M. & Kılıç, H. 2021, Impact of dehumidification devices on production efficiency in plastic injection, *Sakarya University Journal of Science*, 25(5), 1129-1135.
- Özgül, Ö., 2006, “Bir İşletme İçin Topsis ve AHP İle ERP Yazılımın Seçimi.”, Yüksek Lisans Tezi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Özorhon B., Çınar E., 2015, İnşaatta Kurumsal Kaynak Planlama Uygulamasında Kritik Başarı Faktörleri, *Mühendislikte Yönetim Dergisi* 31(6).
- Parlak, RO. (2022), “Alüminyum Enjeksiyon Kalıplama Sektöründe Üretim Yürütme Sisteminin Uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Petrick, H. W., 1993, Artificial Intelligence. Addison Wasley Publishing Company.
- Reyes, J.A.G., Eldridge S., Barber K.D. ve Meier H.S., 2010, Overall Equipment Effectiveness (OEE) and Process Capability (PC) Measures A Relationship Analysis, *International Journal of Quality and Reliability Management*, 27(1), 48-62.
- Reyes, J.A.G., 2015, From Measuring Overall Equipment Effectiveness (OEE) to Overall Resource Effectiveness (ORE), *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 21(4), 506-527.
- Saleem, F., Nisar, S., Khan, M. A., Khan, S. Z. ve Sheikh, M. A. 2017, “Overall Equipment Effectiveness of Tyre Curing Press: A Case Study”, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 23(1), 39-56.
- Teeter, R.A, Alles, M.G. & Vasarhelyi, M.A. 2010, The Remote Audit. *Journal of Emerging Technologies in Accounting*, 7, 73-88.
- Tekin, Mahmut. 2003, Üretim Yönetimi. Cilt 2, Konya: Günay Ofset.
- Temiz, İ., Atasoy, E., & Sucu, A. 2010, Toplam Ekipman Etkinliği ve Bir Uygulama, *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*. 12(4), 49-60.
- Timur, M. & Kılıç, H. 2021, Analysis of the manufacturing process using polypropylene by plastic injection molding method, *European Journal of Science and Technology*, 27, 832-836.
- Timur, M. & Kılıç, H. 2021, Endüstride pet şişe üretiminde karşılaşılan problemler ve çözüm önerileri, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(5), 2067-2076.
- Tsarouhas, P. G. 2012, Evaluation of overall equipment effectiveness in the beverage industry: a case study, *International Journal of Production Research First*, 1-9.
- Türkan, B. 2021, Enjeksiyon Edilmiş Plastiğin Soğutulması İşleminin Optimizasyon Çalışması, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 801-808.
- Yegül, Fatih M., 2003, “Kurumsal Kaynak Planlama (ERP) ve Türkiye’deki Uygulamaları.”, Yüksek Lisans Tezi, *T.C Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Zenginoğlu F., ‘PLM ve ERP Yazılımlarının Entegrasyon Süreci’, Yüksek Lisans Tezi, *T.C Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-3.

Zhong, R.Y., et al., 2013, RFID-enabled real-time manufacturing execution system for mass-customization production., 29(2), 283-292.

Wakjira, M. W., & Singh, A. P., 2012., Total Productive Maintenance: A case Study in Manufacturing Industry. *Global Journal of Research In Engineering*, 12(1-G).

