

MÜHENDİS VE MAKİNA

ENGINEER AND MACHINERY

ISSN 1300-3402

OCAK/JANUARY 2016 SAYI/NUMBER : 672



tmmob makina mühendisleri odası aylık yayın organı

www.mmo.org.tr/muhendisimakina

makale article

34

ENDÜSTRİYEL MAL VE HİZMET ÜRETİMLERİNDE PDM, PLM UYGULAMALARI
PDM AND PLM APPLICATIONS IN INDUSTRIAL PRODUCTIONS
Hüseyin ÖZDEN

44

İNÖVATİF MODEL BAZLI ARIZA ERKEN UYARI YAZILIMIYLA BEKLENMEDİK DURUŞLARA SON VERME
AN INNOVATIVE MODEL-BASED EARLY WARNING SOFTWARE TO PREVENT UNPLANNED DOWNTIMES
Ahmet DUYAR, İzzet Y. ÖNEL, Harun ÖZDEMİR

50

SAVUNMA VE HAVACILIK ALANINDA ADİTİF İMALAT TEKNOLOJİSİNİN BAKIM VE TAMİR AMAÇLI KULLANIMI
USE OF ADDITIVE MANUFACTURING TECHNOLOGY FOR MAINTENANCE AND REPAIR PURPOSES IN AEROSPACE AND DEFENSE SECTOR
Necmi KARA

56

ENDÜSTRİYEL ROBOTİK OTOMASYON SİSTEMLERİNDE GÖRÜLEN HATALARIN VE SİSTEM GÜVENİLİRLİĞİNİN HATA TÜRLERİ VE
ETKİLERİ YÖNTEMİ İLE ANALİZİ
INDUSTRIAL ROBOTIC AUTOMATION SYSTEM FAILURES AND SYSTEM RELIABILITY ANALYSIS BY FAILURE MODE AND EFFECT
ANALYSIS METHOD
Atalay Tayfun TÜREDİ, Durmuş Nİ BİRCAN

ENDÜSTRİYEL MAL VE HİZMET ÜRETİMLERİNDE PDM, PLM UYGULAMALARI

Hüseyin Özden

Doç. Dr.,

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,

Makine Mühendisliği Bölümü,

Konstrüksiyon ve İmalat Ana Bilim Dalı

huseyin.ozden@ege.edu.tr

ÖZ

Sanayide mal ve hizmet üretiminde ortaya çıkan teknik ve ekonomik problemlerin çözümünde PDM ve PLM uygulamaları önerilmektedir. Ürün bilgi veri yönetimi PDM ile üründen kazanç sağlanırken, ürün yaşam döngü yönetimi PLM ile şirketin randımanı artırılmaktadır. Tüm mühendislik faaliyetlerinde geçerli olan bir husus şudur: Gereğinden fazla malzemeden, enerjiden, işçilikten ve zamandan kaçınmaktır ve faydalı yenilik, farklılık yaratmaktır, yani inovasyondur. Bu husus, endüstriyel mal ve hizmet üretiminde ürün yaşam döngü yönetimi, PLM uygulamalarının temelidir. Yurtdışında şirketlerde yıllar önce PDM, PLM uygulamaları yayılırken, Türkiye’de PDM, PLM uygulayan şirket sayısı yok denecek kadardır. Bunun nedeni, PDM, PLM ve uygulamaları hakkında gerekli tanıtımların yapılmamasıdır ve bilimsel çalışmaların, teknolojilerin gereği gibi takip edilmemesi, geliştirilmemesidir. Bu çalışma, Türkiye’de endüstriyel mal ve hizmet üretimlerinde PDM, PLM uygulamalarının faydasına odaklanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sanayi, üretim, yönetim, PDM, PLM

PDM AND PLM APPLICATIONS IN INDUSTRIAL PRODUCTIONS

ABSTRACT

In production of goods and services in the industry and solving of economic problems, for the solution of technical and economical PDM and PLM methodologies are suggested. An important valid issue in all engineering activities is to avoid unnecessarily excess material, energy, labor and time and to create useful innovation and difference. This is the basis of product lifecycle management, PLM in industrial good and service production. Thanks to PDM, PLM applications income of companies increase. While PDM, PLM applications became widespread in other countries years ago there are almost no companies applying these applications in Turkey. The reason is that necessary introduction is not being made about PDM, PLM and their applications and scientific studies and technologies are not being followed and developed. The main purpose of this study is to emphasise PDM and PLM studies in Turkey.

Keywords: Industry, production, management, PDM, PLM

Geliş tarihi : 11.05.2015

Kabul tarihi : 04.12.2015

Özden, H. 2016. "Endüstriyel Mal ve Hizmet Üretimlerinde PDM, PLM Uygulamaları," Mühendis ve Makina, cilt 57, sayı 672, s. 34-43.

1. GİRİŞ

Mal ve hizmet üretimlerinin bulunduğu endüstride, ürün, üretim, satış için kullanıma sunma, servis gibi faaliyetlerin bilgisayar destekli yazılımlarla iyi planlaması, yönetimi; üreticiler kadar hem tüketicilerin hem ülkenin yararına. Endüstriyel mühendislik ürünlerinin düşük maliyetli, zamanında hatasız olarak kullanıma hazır hale getirilmelerinde, işletme koşullarında, biçilen ömürde fonksiyonlarını aksaksız yerine getirmelerinde ve kazanç sağlanmasında gerekli konstrüksiyon hesapları ve planların yanında, çok sayıda kriter ve hususun, standartların ve mevcut teknolojilerin dikkate alınması gerekiyor [1, 2]. Mühendislik faaliyetlerinde, hatta günlük yaşamda da dikkat edilmesi gereken hususları şu şekilde özetleyebiliriz:

- Gereğinden fazla malzemeden, enerjiden, işçilikten, zamandan kaçınmak
- Ürünün işleme ve işletme süreçleri faaliyetlerinde orijinal, yani mekanik ve teknolojik özelliklerinde büyük değişimler yaratmamak
- Ürüne, üretimde yenilenme, farklılık, yenilik kazandırmak

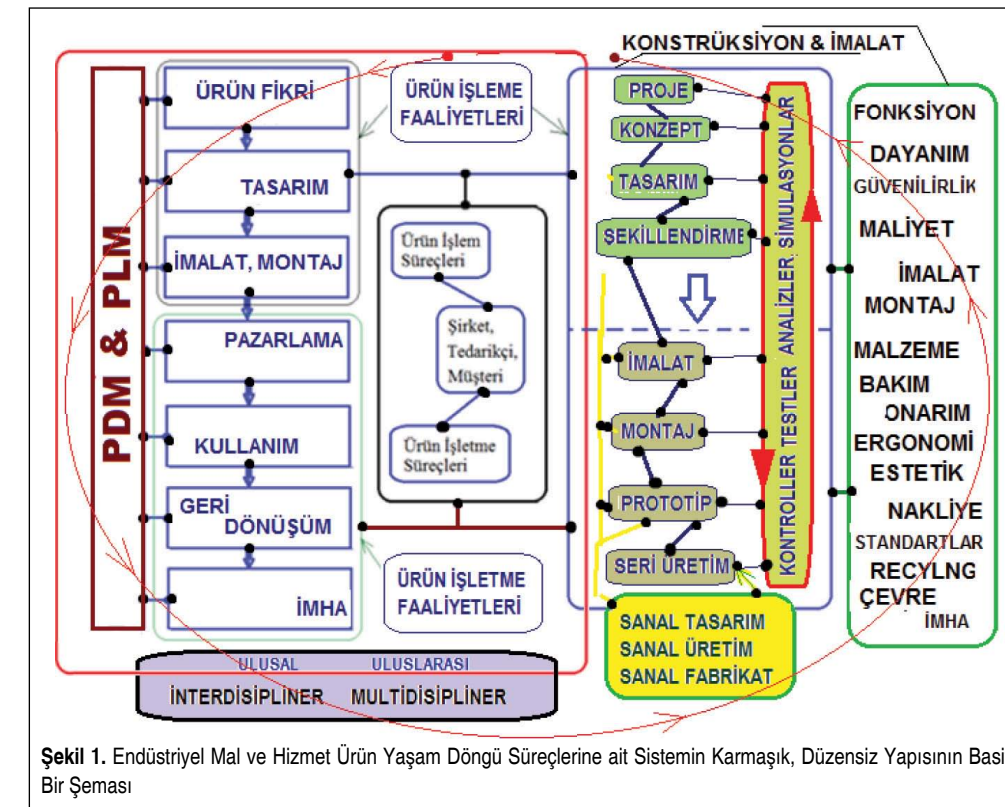
Bu hususların yanında, üretim süreçleri ve faaliyetlerinin organizasyonu en iyi şekilde yapılması ve yönetilmesi gerekmektedir.

Endüstriyel teknik bir ürünün fikir aşamasından imha edilinceye kadar uzanan süreç; "Ürün Yaşam Döngü Süreci" ola-

rak tanımlanmaktadır. Şekil 1’de, ürün yaşam döngü süreci, faaliyetleri bir şema dahilinde gösterilmiştir. İlk bakışta göze çarpan, ana sistemin karmaşıklığıdır ve isteklerin çokluğudur. Alt sistemlerin zincir halkaları gibi birbirine bağılıklarıdır. Kademenin birinde gerekli kriterler sağlanıyorsa diğer kademeye geçilemiyor. Örneğin otomobil, uçak, gemi gibi sanayinin birçok sektöründe ürün yaşam döngü süreçleri ile ilgili işlevler çok boyutlu ve karmaşık bir yapıdadır. Pazar koşulları, rekabet şartları, çevresel etkenlerde aynı sistem bütünü içerisinde yer almaktadır. Ürün yaşam döngü süreçlerinde karşılaşılan bazı teknik ve ekonomik problemlerin çözümünde günümüzün klasik çözüm yöntemleri yetersiz kalmaktadır. Sanayi ürünü üretim sisteminde sorunların üstesinden gelmek için günümüzün teknolojilerinin, yeni tekniklerinin, yöntemlerinin, yazılımlarının kullanılması önerilmektedir. PDM ve PLM gibi yeni sayılan bilgisayar destekli yönetimsel uygulamalar, ürün ve üretim kalitesinin ve kazancın artırılmasında tercih edilmektedir.

Sanayisi gelişmiş zengin ülkelerde multidisipliner AR-GE faaliyetleri ile PLM ve laser, multimonitoring gibi yeni teknolojiler, yeni akıllı malzemeler geliştirilerek uzun yıllarda kullanılırken, Türkiye’de PLM’nin, laserin ne olduğunu daha bilmeyen; yurtdışına ürünlerini ihraç eden büyük şirketlerde üretimden sorumlu genç mühendislerimiz, AR-GE’de çalışan müdürlerimiz, uzman mühendislerimiz, üretim yöntemleri dersini veren akademisyenlerimizle de görüşmelerde, toplantılarda ve seminerlerde karşılaşılmaktadır. Bu durum,

Türkiye’de davetli olarak bulunan Alman Bilim Adamları ile birlikte gerçekleştirilen etkinliklerde, proje görüşmelerinde dile getirilmiştir. Ortak projelerin gerçekleştirilmesinden evvel, PDM, PLM konusunda uzmanların kursa katılanları bilgilendirmesi gerektiği vurgulanmıştır. Ürün yaşam döngü süreçlerinde PDM, PLM gibi uygulamaların ve laser teknolojisinin ülkeye kazandırılmasına ve hızlı bir şekilde yayılmasına katkı sağlayacak PLM Merkezinin Ege Üniversitesi bünyesinde faaliyete geçmesine yönelik çalışmalar sürdürülmüştür. Almanya’daki seçkin üniversitelerin ve Fraunhofer enstitülerin, AR-GE merkezlerin PLM ve laser laboratuvarları ziyaret edilerek yerinde incelenmiş, uzmanlardan bilgi alınmıştır. Yurtdışından bilim



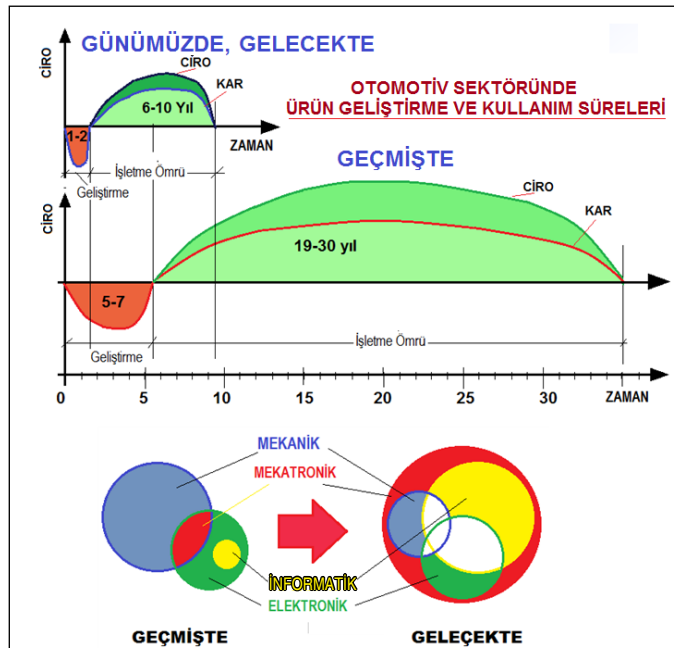
Şekil 1. Endüstriyel Mal ve Hizmet Ürün Yaşam Döngü Süreçlerine ait Sistemin Karmaşık, Düzensiz Yapısının Basit Bir Şeması



Şekil 2. PLM ile ilgili Yürütülen Etkinliklerden Fotoğraf Görüntüleri

insanların iade ziyaretleri ile PLM konusunda seminerler, workshop etkinlikleri düzenlenmiştir. Etkinlik görüntüleri Şekil 2'de verilmiştir.

Türkiye'de PLM uygulamalarının merkeze yerleştirildiği bu çalışmada, endüstriyel mal ve hizmet üretiminde PLM uygulamalarının faydaları üzerinde durulmuştur. Bir PLM yazılımı kullanılarak uygulamalı örneklerin ekran görüntüleri ile açıklanması, bu çalışmanın kapsamı dışında tutulmuştur.



Şekil 3. Ürün Geliştirme ve Kullanım Faaliyetlerinin Zamana Göre Değişimleri

2. ÜRÜN YAŞAM DÖNGÜ SÜREÇİNDE TEKNİK EKONOMİK SORUNLAR

Şirketler gelişip büyüdükçe, farklı yerlerde birimler oluşturdukları, yurtdışında şirket temsilcileri açtıkça, yurtdışı işbirliklerini geliştirdikçe; şirket yönetimi ve üretim ile ilgili sorunlar değişmeye ve çoğalmaya başlar. Görev dağılımındaki sorunların yanında, zaman kaybı olmadan kontrollü bilgi verilerine ulaşmak, paylaşmak, fikir alışverişinde bulunmak, gerekli müdahaleleri gerçekleştirmek gibi yeni eylemler ortaya çıkmaktadır. Ürün geliştireme, tasarım ve kullanım ile ilgili sorunlardan biri, şirketlerde, kurumlarda AR-GE çalışmalarının önemi artarken, geliştirme ve kullanım, yani tüketim süreleri kısalmaktadır. Şekil 3'te, otomotiv sektöründe, özellikle beyaz eşyada ürün geliştirme ve kullanım sürelerinin zamanla değişimleri şematik olarak gösterilmektedir.

Endüstriyel mal ve hizmet üretimi ile ilgili olarak PLM, ürün yaşam döngü yönetiminde karşılaşılan sorunlar şu şekilde sıralanabilir [1-12]:

- Kuralsız, acımasız serbest piyasadaki rekabet şartları
- Müşteri isteklerinde değişkenlik
- Girdi maliyetlerindeki artışlar
- Tedarik halkasında yaşanan sıkıntılar
- Dış kaynak kullanımının artması, finansal sorunlar, yüksek faizler
- İç ve dış disiplinlerarası işbirlikleri ile çoğalan yükümlülükler
- Kısa sürede yüksek kazanç hedeflerinin konulması

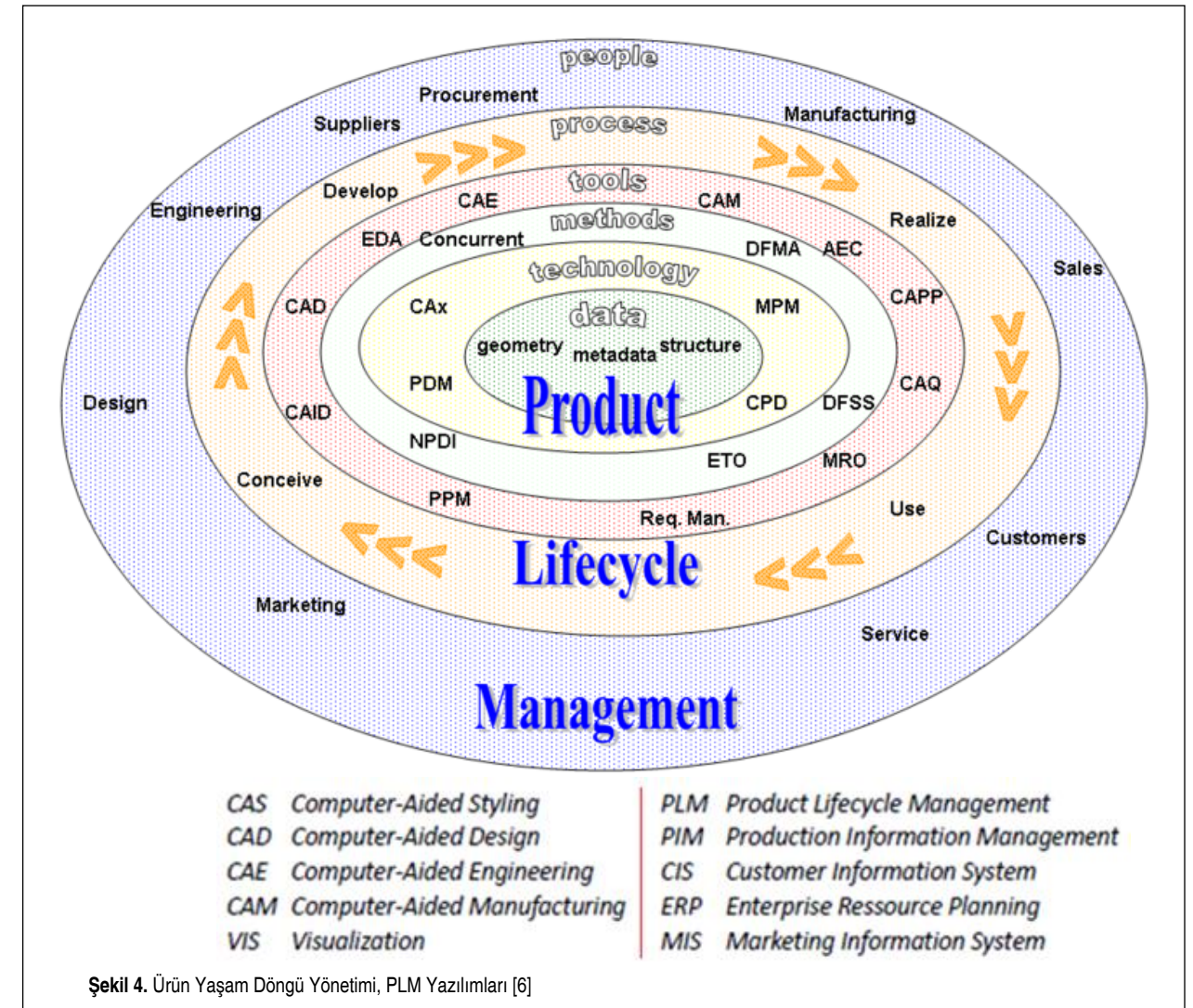
- Ürünlerdeki karmaşıklığın artması, hata olasılığı riskin artması
- Yüksek teknoloji endüstri ürün ve hizmetlerinde mekatronik mühendisliğinin belirleyici olması
- Akıllı malzemelerin kullanılmasında, işlenmesinde imalat sorunları
- Geleneksel makine sistemlerinin yerine, gelecekte disiplinlerarası sanal, cyber fiziksel sistemlerin öne çıkması
- Ürünlerin işleme süreleri ve ürün artarken işletme, yani kullanım sürelerinin (çalışma ömrün) kısalması
- Enerji ve malzeme girdilerinde yüksek artışlar, tasarruf talepleri
- Ülkede ve dünyada ekonomik ve siyasi krizlerin şirketlere olan olumsuz etkileri

Sorunların, ürüne ve üretim faaliyetlerine olan ağırlıkları, etkileri doğal olarak farklıdır. Ürün yaşam döngü süreçlerinde karşılaşılan sorunların üstesinden tamamen gelinmesi zorlaş-

maktadır. PLM, laser teknolojilerin uygulanması ile üretim faaliyetlerinde olumlu sonuçlar elde edilmektedir [6-9].

3. PDM, PLM YAZILIMLARI

PDM ve PLM uygulamaları bilgisayar teknolojilerindeki hızlı gelişmelere paralel olarak 1980'li yıllara kadar uzanmaktadır. Erişilebilen sanayi ürünlerin tasarım, imalat ile ilgili bilgi verilerinin 2D, 3D CAD çizimlerin dijital ortamda kaydedilmesi, depolanması, düzenlenmesi ile başlamıştır. Dijital ortamda arşivlenen bilgi verilerden tasarım ve imalat aşamalarında bilgisayardan yararlanılmıştır. Örneğin geçmişte yapılan gemi dizaynların bilgi verileri ve çizimleri; geliştirilen yazılımlar sayesinde yeni gemi tasarımlar için kullanılıyordu. Kısa sürede, gerekli gemi dizaynları, gemi imalat resimleri kolaylıkla elde edilebiliyordu. Gemi konstrüksiyon hesaplarında kolaylık sağlanmaktaydı. Günümüzde ise geliştirilen gemi tasarım konstrüksiyon yazılımları ile çok daha kaliteli, daha detaylı gemi hesapları ve çizimleri, ayrıntılı imalat resimleri yapılmaktadır.



Şekil 4. Ürün Yaşam Döngü Yönetimi, PLM Yazılımları [6]

PLM, ürün yaşam döngü süreçleri ile ilgili tasarım, imalat, pazarlama (marketing), kullanım, bakım onarım, hurdalama faaliyetlerindeki bütün işlemleri optimize eden bir organizasyon yazılımıdır. Bu nedenle, genelde uygulamalarda PDM ve PLM yazılımlarına entegre edilebilen hesap, dizayn, analiz, simülasyon gibi çok sayıda programlar kullanılmaktadır. Yazılım programları endüstriyel mal ve hizmet üretiminde tek başlarına kullanımları yerine, PLM yazılımı içerisinde kullanımları daha uygundur. Ürün yaşam döngü süreçlerin faaliyetlerini optimal organize eden PLM yazılımların geliştirme süreçleri devam etmektedir. Günümüzde PDM ve PLM yazılımların ürüne göre geliştirilmiş versiyonları bulunmaktadır. PLM, bilgisayar programında kullanılan yazılımlar Şekil 4'te gösterilmektedir [6].

PDM: Product Data Management kelimesinin kısaltılması olup, Türkçe'ye Ürün Veribilgi (Data) Yönetimi biçiminde çevrilmiştir. Dijital ortamda en küçük detayına kadar ve her boyutta depolanan ürün ile ilgili bütün verileri, bilgileri, süreçleri ve iş akışlarını kontrol eden bir yazılım programıdır. Ürün veribilgi yönetiminde PDM; ürün ile ilgili tanımlanan bütün mevcut verilerin, teknik bilgilerin, sistemlerin, dokümanların dijital ortamda kaydedilerek düzenlenmeleri gerektirir. PDM yazılım uygulamaları daha çok inşaat, üretim, tasarım faaliyetleri yoğun olan şirketler için önerilmektedir.

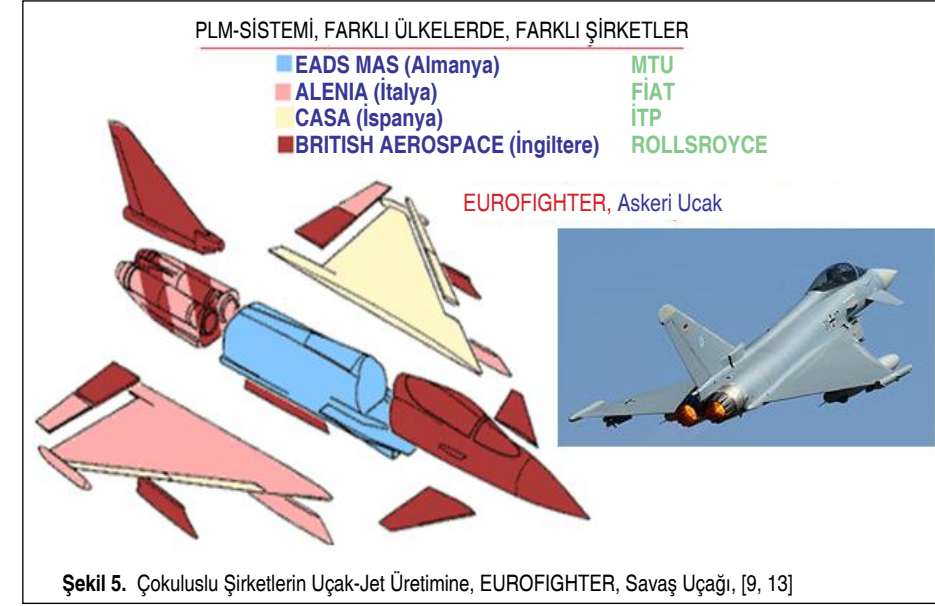
PLM: Product Lifecycle Management kelimesinin kısaltılması olup, Türkçe'ye Ürün Yaşam Döngü Yönetimi karşılığında kullanılmaktadır. Ürün Yaşam Döngü Yönetimi hakkında literatürde birbirinin benzeri tanımlar bulunmaktadır. Sanayinin ve hizmet sektörlerinin her iş dalında PLM uygulamaların geniş kullanım alanları bulunmaktadır. Piyasada PLM, XML gibi üretim faaliyetlerine katılımı kolaylaştırılması için farklı firmalar tarafından geliştirilmiş PLM'nin çok sayıda versiyonları bulunmaktadır. PLM uygulamaları için sistemin kurulmasında mutlaka PLM hizmeti veren bir sunucuya ihtiyaç vardır. Örneğin dünyaca tanınan Siemens, Dassault Firmaların ilgili sektörlerinde PLM uygulamaları hizmetleri verilmektedir. CATIA, SOLIDWORKS (3D sanal ve mekanik tasarımları) DELMIA (Sanal üretim) SIMULIA (sanal testler), ENOVIA (global ürün yaşam döngü yönetimi) gibi otomotiv sektöründe kullanım alanı bulan çok sayıda yazılımlar piyasada sunulmaktadır. Küçük ve orta ölçekli firmaların, PLM kullanımları sayesinde büyük şirketler karşısında serbest piyasada rekabet güçlerini artırma şansları bulunmaktadır. Kısaca, PLM yazılım uygulamaları şirket performansının artırılmasında tercih edilmektedir.

ENDÜSTRİ 4.0: 4. Sanayi Devrimi, 21. yüzyılın akıllı üretimi ile ilgili henüz geliştirilme safhasında bulunan yazılım programları olarak tanımlanabilir. Global olarak, üretim ile ilgili tüm süreçlere ait ana makine sistemlerinin ve alt, kısmi sistemlerin internet ağı içerisinde bir entegrasyonudur. Üretim sensörlerle bilgisayar programlarıyla otomatik olarak

akıllı yönetilmesini sağlayan bir yazılımdır. SANAYİ 4.0, geleceğin üretim teknolojisi diye tanımlanmaktadır. Aynı üretim bantlarından farklı ürünlerin hızlı ve esnek, akıllı ve otomatik üretime imkan sağlayan bir üretim teknolojisidir [7]. Şematik ana sistemine ait ve üzerinde çalışılan ENDÜSTRİ 4.0 yazılımı, global olarak kullanılan navigasyon yazılımına benzerdir. Dünyadaki yer, yol, adres bilgileri, verileri, firma, bina, kapı bilgilerin sürekli yenilenmesi, geliştirilmesi ve bu bilgilerden faydalanarak kısa sürede hedefe ve istenilen bilgilere, çıktılara ulaşılması gibi düşünülmektedir. Ürün ve üretime ait tüm bilgiler bir global internet ağı üzerinden dünyanın her hangi bir yerinden kullanıcılara sunulacaktır. Daha da ileriye gidilerek sensörlerle, yani akıllı algılayıcılarla bu veriler değerlendirilerek üretimin kısmi otomasyonu söz konusu olabilecektir. Almanya'da bulunan şirketlerin SANAYİ 4.0 teknolojik uygulamaları için projeler yürütülmektedir. Siemens, Bosch gibi Alman firmaların Türkiye'deki üretim fabrikalarında bu teknolojiyi uygulamaları söz konusudur. Benzeri ilgi Türk otomotiv firmalarında da gözlenmektedir. Şekil 1'de, Endüstriyel mal ve hizmet üretiminin karmaşıklığını sembolize eden şemanın alt kısmında, sistemde, ulusal ve uluslararası şirketler, kuruluşlar, internet ağı üzerinden aralarındaki üretim bağı gösterilmiştir. Bu bağlantı ile yurtiçi ve yurtdışı katılımcılar, paydaşlar, tedarikçiler ilgili üretim safhalarını yerinde ve anında ekrandan izleyebildikleri gibi, müdahale etme, fikir alışverişinde bulunma imkânına sahip olmaktadır. Türkiye'deki küçük büyük firmaların yakın gelecekte bu teknolojiye entegre olmaları kaçınılmazdır. Ege Üniversitesi'nde kurulan PLM merkezi, firmalara bu süreçlerde gerekli destekte ve uzman elemanlarının yetiştirilmesinde katkısı büyük olacağı kesindir.

4. PDM, PLM UYGULAMALARIN ŞİRKETLERE SAĞLADIĞI KAZANÇLAR

PDM, PLM ve Endüstri 4.0 uygulamaların amaçları farklı olan, pozitif getirileri üzerinde duran çok sayıda yayıma rastlanılmaktadır. Bazı yayımların PDM, PLM ürünlerin pazarlama, yani reklam yönü abartılı şekilde öne çıkartılmaktadır. Şüphesiz PLM uygulamaların ürün ve üretim, satışa sunma, kullanma, servis, hurdalama süreçlerinde olumlu özelliği bulunmaktadır; fakat derde deva olduğu, tüm sorunların ortadan kaldırdığı da doğru değildir. Uçak, gemi, uzay araçları, ağır sanayi ürünlerin, makinaların, tesislerin üretimlerinde ve işletilmelerinde çok ulusluluk, özellikle finansal ve siyasal, pazarlama açısından kaçınılmazdır. Bu gibi durumlarda PDM, PLM, Endüstri 4.0 uygulamaları olursa, çok daha iyi olur. Şekil 5'te, Avrupa ülkelerinin uçak yapımında, farklı ülkelerde hazırlanan uçakların, Airbus'ın ve NATO askeri jetlerinin yapımında olduğu gibi, parçalarının bir merkezde birleştirildiği gösterilmektedir. Çokuluslu şirketlerin ürettikleri bu uçaklar ve jetler PLM uygulamaları doğrultusunda gerçekleştirilmektedir.



Sanayide PLM uygulamalarının olumlu özellikleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir [1-12]:

- Üretim aşamalarının belirlenmesi, bu süreçte olası aksaklıkları, getirisi olmayan aşamaların tespit edilerek kaldırılması
- Organizasyonda öngörülen, çeşitli nedenlerden dolayı fonksiyonu bulunmayan ya da kârlı olmayan üretim birimlerinin sonradan ortaya çıkmasını önlemek
- Ürün ile ilgili değişikliklerin, yeniliklerin tarihleri ve işlemci ile belgelenmesi
- Ürüne ait çizimlerin dijital ortamda detayına kadar 2 ve 3 boyutlu kaydedilmesi
- Mal ve hizmet üretimi ile ilgili firma haklarının korunması
- Mal ve hizmet üretiminde iş aşamalarında ilgili birimlerin suistimallere yer vermeyecek şekilde yönetilebilmesidir.
- Mal ve hizmet üretiminde ilgili iç ve dış birimlerin doğrudan işbirliğinin sağlanması
- Ürün ile bilgilerin dijital ortamda kaydedilmesi ve bu sayede gerekli bilgilere kısa sürede kolay ulaşılması, iç ve dış birimlerle paylaşılması
- Geçmişte zaman alıcı, külfetli ve hata olasılığı yüksek, kontrolleri zorlaşan üretim ile ilgili birçok uygulama, günümüzde PLM sayesinde süratli bir şekilde, kolaylıkla ve güvenli bir şekilde gerçekleştirilmektedir.
- Diğer bir önemli gelişme; geçmişte sanayi ürünlerin üretimlerinde ağırlıklı olan mekanik, elektrik, elektronik, infor-matik gibi mühendislik bilimlerin yerini, günümüz üretim faaliyetlerinde mekatronik, bilişim, akıllı malzemeler,

akıllı üretim gibi mühendislik bilimle-ri ön plana çıkmaktadır. PLM, bu gibi yeniliklerin üretimde kullanılmalarına hızlı bir şekilde olanak vermektedir.

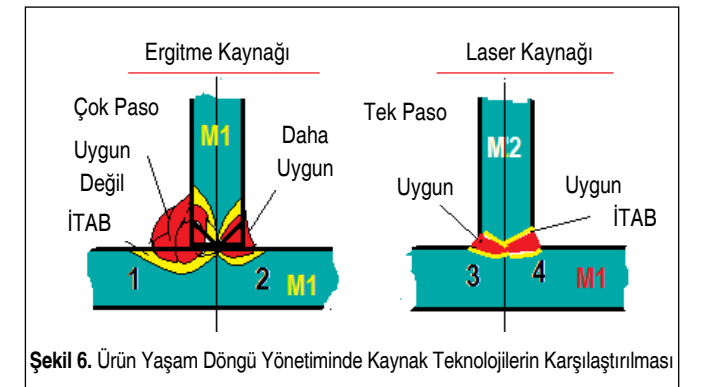
- Çokuluslu ortak üretim faaliyet-lerin yerinde, anında ve aksaksız sürdürülmesi PLM uygulamaları ile mümkün olmaktadır.
- Serbest piyasada satılabilir iyileş-tirilmiş ve/veya yeni ürün tasarımlarının piyasaya yüksek kazançlı, kârlı bir şekilde sürülmesine olanak vermektedir.
- Mal ve hizmet üretimlerinde ürün yaşam döngü yönetiminde, PLM faaliyetlerin sanal uygulama ve simü-lasyonların testleri yapılarak gerçek üründe, üretim aşamalarında ortaya çıkabilecek aksaklıklar ve hatların önüne geçilmektedir.

- Şirketin rekabet gücünü, geleceğini, piyasada varlığını ko-rumasını belirlemektedir.

PLM uygulamalarının başlıca olumsuz özellikleri; sistemin kurulmasının ve uygulamaya alınmasının zaman alıcı, paha-lı ve bir sunucuya ihtiyacın olması, özellikle bu teknolojiyi Türkiye'de kullanacak yetişmiş elemanların bulunmamasıdır.

5. PDM VE PLM UYGULAMALARININ FARKLI BİR DEĞERLENDİRMESİ

PDM, PLM ve Endüstri 4.0 yazılım programları ile sürdürülen üretim süreçlerine ait tüm faaliyetlerin organizasyonu sonucu, öngörülen çıktılar, beklenen başarıyı, hedeflenen kazancı vermeyebilir. Endüstriyel mal ve hizmet üretiminde ürün kalitesinin artırılmasında, maliyetin azaltılmasında, kazancın yükseltilmesinde, rekabet şansının sağlanmasında, yeni ürünlere dair fikirlerin oluşmasında PLM gibi yönetsel müdahaleler, mükemmelleştirmeler çoğu kez kâfi gelmeyebilir. Yönetim-



Şekil 6. Ürün Yaşam Döngü Yönetiminde Kaynak Teknolojilerin Karşılaştırılması

sel uygulamalarla mucize beklemek yerine, laser üretim yöntemleri gibi yeni teknolojilerin, akıllı malzemelerin, üretim sürecine dahil edilmesi ile üretimin teknik ekonomik değeri yükseltilebilir. Şirketlerin PDM ve PLM uygulama kararlarında bu gibi hususlarında dikkate alınmasında yarar vardır. PLM uygulamalarına geçilmesi, tam randıman alınması uzun zaman aldığı gibi, maliyeti de yüksek olabilmektedir. PLM yönetimine geçiş sürecinde şirketlerde kriz yaşanma olasılığı yüksektir. PDM, PLM uygulamaları hakkında sanayide beklentilerin ticari amaçlı olarak abartıldığı düşüncesi yaygındır. Bu nedenle olacak ki, sanayisi gelişmiş ülkelerdeki şirketler PLM uygulamalarında çekimser kalmışlardır.

Laserler, 21. yüzyılın çok amaçlı ve fonksiyonlu temassız takımı, aracı, silahı, ölçme, analiz enstrümanı, sensör, tanı ve tedavi yöntemi olarak değerlendirilmektedir. Lazerli yöntemlerin, tekniklerin birçok üstünlüğü nedeniyle, endüstride konvansiyonel yöntem ve tekniklerin yerini almaktadır. İmalat sanayinde üretimin birçok kademesinde, malzemelerin işlenmesinde, ölçümlerde, analizlerde, kalite kontrollerde, üretim süreçlerin kontrolünde, otomasyonunda lazerlerin kullanımı artmakta ve yaygınlaşmaktadır. Tıpta birçok hastalığın tanısında, tedavisinde kullanıldığı gibi, savunma sanayinde de lazerli silahlar üretilmektedir. Bilgisayar, elektronik, iletişim, bilişim eğlence sektörlerinde de lazerin uygulama alanları bulunmaktadır. Endüstriyel mal ve hizmet üretim süreçlerinde karşılaşılan birçok sorunun üstesinden laser teknolojisi uygulamaları ile gelinmeye çalışılmaktadır. Daha evvelden konvansiyonel yöntemlerle gerçekleştirilmesi mümkün olmayan ya da zaman alıcı külfetli tasarımlar, günümüzde laser teknolojisi uygulamaları ile mümkün olmaktadır. Ayrıca, yeni ürün tasarımların ortaya çıkmasına da vesile olmaktadır. Nano teknoloji gibi birçok yeni teknolojide, ölçüm analiz yöntemleri, savunma silahları, çift cidarlı tekne gemi yapıları, hafif ve yakıt tasarruflu uçaklar, yeni akıllı malzemeler laser teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak gelişmiştir.

Kısaca, günümüzde yeni laser üretim yöntemleri gibi yeni teknolojilerin kullanımı ile şirketler, üretim hızını, kolaylıkla çabuklaştırabilecekleri gibi, ürün kalitesini, ve üretimin randımanını, şirketin performansını ve kazancını yükseltebilir. Şekil 6'da, ergitme ve laser kaynak dikişlerinin bir karşılaştırması, basit bir örnekle gösterilmektedir. Yeni laser teknolojilerin, laser üretim yöntemlerinin uygulanması, yeni imkânlar, kolaylıklar, sağlamaktadır. Ergitme kaynağında her paso için hız yaklaşık 0.5 m/dak olarak gerçekleşirken, laser yönteminde bir pasoda ve 0.5 m/dak ile 15 m/dak arasında değişebilen işlem hızı ile aynı kaynak dikişi sağlanıyor. Laser kaynak yönteminde bütün malzemelerin kaynağı ve farklı özellikteki malzemelerin birbirine kaynağı da mümkündür. Diğer taraftan, yeni teknolojiler yeni imkânlar yeni tasarımların ortaya çıkmasına neden olurlar. Uzak ve havacılık sektöründe gelişme sürecini tamamlamış perçin, civata gibi

mekanik bağlayıcılar yerine, laser kaynağı geliştiriliyor. Şekil 6'daki basit örnekte olduğu gibi, PLM gibi yönetsel uygulamalar paralelinde, mevcut yeni teknolojilerin uygulanması kaçınılmazdır. Her devrin teknolojik sorunları o devrin yeni teknolojik imkânları ile çözülür. Türkiye'deki şirketler iç ve dış pazarlarda var olmaları için yeni teknolojileri takip etmek, uygulamak ve geliştirmek mecburiyetindedir.

6. PDM, PLM UYGULAMALARI

PDM ve PLM, adından da anlaşılacağı gibi, bilgiveri, organizasyon, yönetim uygulamasıdır. PLM ve PDM, yazılımın bir üst sürümüdür. Kesin hedefi; sürece dahil olanlar arasında bilgiveri paylaşımı ve kazanımdır. PLM çözümleri, sanayide, imalat sektöründe makinelerin parçalarının, cihazların, tesislerin, karmaşık makine sistemlerin üretimleri ile sınırlı kalmayıp, endüstrinin birçok iş kolunda uygulama alanı bulunmaktadır. Örneğin otomotiv, gemi, uçak, inşaat, enerji, savunma sanayinde; gıda, tarım, ziraat, giyim, tekstil, taşıma, haberleşme, transport, lojistik sektöründe vb. olduğu gibi, sağlık, ilaç, turizm gibi hizmet sektörlerinde uygulamaları bulunmaktadır [4-12]. Devlet yönetiminde, devletin kurumlarında, belediye yönetimlerinde verilen hizmetlerin kalitesinin artırılmasında, kontrollerin daha etkili yapılmasında kullanım alanları söz konusudur.

PLM yazılımlarına entegre edilen simülasyon programları ile ürün yaşam döngü süreçlerine ait işlevler, testler sanal olarak ekrandan üç boyutlu gösterilerek değerlendirilmektedir. Olası süreçler tespit edilerek gerekli düzeltmeler anında gerçekleştirilmektedir. Daha sonra, sanal modellerin gerçek modellerle karşılaştırılması yapılmaktadır. Şekil 7'de, sanayide ürün yaşam döngü yönetiminde sanal uygulamalara ait örnekler şematik olarak gösterilmektedir. Sanal tasarım, sanal üretim, sanal fabrikasyon yeni, kaliteli ürünlerin ve üretim tekniklerinin geliştirilmesinde olduğu kadar işleme ve işletme maliyetlerinin minimize edilmesinde, olası aksaklıkların giderilmesinde yararlı olmaktadır.

Ürün yaşam döngü yönetimi, uçak, inşaat ve gemi sanayinde, PLM'nin uygulamalarına ait örnekler, Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10'da gösterilmektedir. Havacılık ve uzay sanayinde, özellikle uçak yapımında kullanılan konstrüksiyon elemanlarının sayıca çok fazla olmaları, çok karmaşık bir yapıya sahip olmaları, farklı özellikteki malzemelerin, tekniklerin, mekatronik mühendisliğin, yazılımların yoğun kullanılması nedeniyle PLM uygulamaları olmazsa olmazdır. Boeing, Airbus gibi uçak şirketleri, PLM'nin ulusal ve uluslararası disiplinlerarası ekip çalışmasını öne çıkaran yazılımlarına ağırlık vermektedir. Uçak yapımında karşılaşılan önemli problemler arasında, tedarikte yaşanan sıkıntılar, gecikmeler yer almaktadır. Tedarikte yaşanan aksaklıklar, gecikmeler uçak şirketlerinde büyük zararlara neden olmaktadır. Bu gibi problemlerin



Şekil 7. Sanayide Ürün Yaşam Döngü Yönetiminde Sanal Uygulamalar [11, 12]



Şekil 8. Uçak sanayinde Ürün Yaşam Döngü Yönetimi, PLM Uygulamaları [10, 11, 12]

üstesinde gelmek için uçak şirketleri PLM yazılımlarına, kullanımlarına büyük yatırımlar yapmaktadır. Şekil 8'de, uçak, helikopter yapımında kullanılan PLM uygulamalarının temsili görüntüleri yer almaktadır. Uçak imalatında uygulanan her

yöntem, kullanılan her eleman, bilgisayar ekranından sanal olarak üç boyutlu takip edilmektedir [6, 8, 11, 12].

İnşaat sektöründe de PLM uygulamaları yaygın olarak kullanılmaktadır. Uluslararası inşaat faaliyetleri yürüten firmalar,



Şekil 9. İnşaat Sektöründe PLM Uygulamaları [11, 12]



Şekil 10. Gemi Sanayiinde PLM Uygulamaları [11,12]

inşaatların maliyetini azaltmak, inşaatların zamanında bitirilmesi ve tedarikçiler ile taşeron işlerinin uyumlu yürütülmesi için PLM yazılımlarını tercih etmektedir. Bilgisayar ekranında sanal olarak hazırlanan inşaatlar, yerleşkeler, şantiyeler, yeni yerleşimler, hava limanları, stadyumlar, deniz limanları gibi mega yapılar üzerinde sürdürülen her faaliyet ayrıntısına kadar takip, kontrol edilebilmektedir. Şekil 9'da, PLM yazılımları

olarak kullanılarak bir Çin çanağından esinlenerek yapılan Pekin Olimpiyat Stadyumunun sanal ve gerçek görüntüleri yer almaktadır. Şeklin sağında ise bir semtte yer alan binaların sanal görüntüleri bulunmaktadır [11,12].

Gemi sanayiinde de büyük gemi tersaneleri PLM yazılım programlarını uzun yıllardan beri uygulamaktadır. Gemi yapımlarında da sayıca çok fazla gemi elamanı, parçalar, farklı

üretim yöntemleri, çok fazla bilgileri paylaşımı ve tedarikçi bulunmaktadır. Bunun yanında, çok sayıda taşeron işlerinin yapıldığı ve rekabetin büyük olduğu sektörlerden biridir. Dünyanın ilk akıllı 18 katlı kruvazör yolcu gemisinde; yaklaşık 2090 kabini, 5000 yolcu kapasitesi, 3000 personeli bulunmaktadır. Devasa büyüklükteki bu gemide bütün konfor düşünülmüştür. Bu gibi teknoloji harikası gemilerin yapımlarında, kullanımlarında PLM uygulamaları kaçınılmazdır. İşçiliğin, ücretlerin yüksek olduğu Batılı sanayi ülkelerinde, PLM uygulamaları ile daha kaliteli, işleme ve işletme maliyetlerinin minimize edilmesine ve enerji tasarruflu gemi tasarımlarının geliştirilmesine gidilmektedir. Geçmişte, tersanelerdeki gemi imalatında, özellikle taşeron firmaların yaptığı işlerde yaşanan sıkıntılar, yüksek ve kontrol edilemeyen masraflar günümüzde PLM uygulamalarıyla ortadan kaldırılmıştır. Örneğin Almanya'daki büyük tersaneler PLM yazılımları, uygulamaları için milyonlarca Euro yatırım yapmaktadır. Şekil 10'da, Almanya'da PLM yazılımları yardımıyla geliştirilen gemi ve tasarımları örnek olarak gösterilmektedir [11, 12].

7. SONUÇ

Çalışmada, sanayide ürün yaşam döngü yönetiminde PDM PLM yazılımlarının tanımları ve PLM uygulamalarının faydaları anlatılmıştır. İnşaat, uçak, gemi sanayiinde PDM, PLM uygulamalarına örnekler verilmiştir. Bu çalışmayla, Türkiye'de PDM, PLM, Endüstri 4.0 uygulamalarının yaygınlaştırılmasına katkı sağlamak amaçlanmıştır.

21. yüzyılda PLM uygulamaları, sanayisi gelişmiş ülkelerde şirketler için büyük stratejik öneme sahiptir. Günümüzde ve gelecekte sanayide mal ve hizmet üretiminde ve şirketlerin, teknik ve ekonomik değerlerin artırılmasında PDM, PLM, Endüstri 4.0 uygulamaları teşvik edilmektedir.

Türkiye'de küçük ve orta ölçekli firmaların konstrüksiyona, tasarım ağırlıklı faaliyetleri yürüten şirketlerin bir dizayn ve analiz yazılımı ile PDM sistemi uygulamaları ile başlamalarının, daha sonra, PLM aşamalarına geçmelerinin daha kazançlı olduğu söylenebilir.

PLM, PDM, Endüstri 4.0 gibi yönetsel uygulamalar, her derde deva misali diye sanayide pazarlanmaktadır. Türkiye'de öncelikli olan, dışa ürün bağımlılığı azaltacak ve dünya pazarlarında rekabet edebilecek, katma değeri yüksek endüstriyel ürünlerin üretimidir. Bunun içinde, günümüzün laser teknolojisi gibi imkânların değerlendirilmesi gerekmektedir. Örneğin laser teknolojinin Türkiye'ye kazandırılması, geliştirilmesi, desteklenmesi ve bu konuda devletin AR-GE teşvikleri, laser konulu projelere yönlendirilmesi Türkiye'de öncelikli olacaktır.

Yeni teknolojilerin uygulanmasının yeni imkânlar, kolaylıklar, özellikler sağladığı her kesim malumdur. Fakat yeni tek-

nolojiler, yazılım programları ile ülkelerin, şirketlerin dışa bağımlılıklarını artırdığı ve serbest rekabeti ortadan kaldırdığı, monopolleşmeye gidildiği, hatta şirketleri, ülkeleri ekonomik iflase sürüklediği gerçeği de dikkate alınmalıdır. Bu olgu, PDM, PLM ve Endüstri 4.0 yazılımları uygulamaları için de geçerlidir.

KAYNAKÇA

1. Özden, H. 2013. "Makine Konstrüksiyonu, Ürün Geliştirme İşlemleri, Makine Tasarımı," Yayınlanmamış Ders Slaytları, Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, İzmir.
2. Özden, H. 2014. "Makine Tasarımında Optimizasyon Yöntemleri, Topoloji Optimizasyonu," Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
3. Börklü, H. R. 2010. Mühendislik Tasarımı, Hatiboğlu Yayınları, Ankara.
4. Özden, H. 2013. "Ege Üniversitesinde PLM ve Laser Laboratuvarlarının Kurulma Faaliyetleri Bilgilendirme," Seminer Sunumu, Ege Üniversitesi, Makine Müh. Bölümü, İzmir.
5. Özden, H. 2015. "Savunma Sanayinde Ürün Yaşam Döngü Yönetimi, PLM," Yayınlanmamış Bir Çalışma, Ege Üniversitesi, Makine Müh. Bölümü, İzmir.
6. Eigner, M., Stelzer, R. 2009. Product Lifecycle Management Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management 2, neu bearbeitete Auflage Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Deutschland.
7. Sendler, U. 2013. Industrie 4.0, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, Deutschland.
8. Sendler, U. 2009. Das PLM-Kompandium, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, Deutschland.
9. Löbeck, F. 2014. "Product Engineering, PDM, PLM," Manuskript, Ders Notları, Universitaet Duisburg, Deutschland.
10. "Flugzeughersteller bauen PLM Backbones," www.computerwoche.de/a/print/Flugzeughersteller-bauen-PLM-Backbones, 18704, son erişim tarihi: 15.2.2015.
11. "Siemens PLM Software, PLM for Shipbuilding, PLM-Product Lifecycle Management PLM for Shipbuilding to Meet the Needs of the Future Fleet," www.plm.automation.siemens.com/de_de/ship-design/, son erişim tarihi: 30.4.2015.
12. "Dassault Systemes, PLM (Product Lifecycle Management) Solutions, Simulation and CAD Software from Empower Users to Create Products in 3D," <http://www.3ds.com/de/produkte-und-services>, son erişim tarihi: 6.12.2014.
13. McKay, K. 1999. "Eurofighter: Aerodynamics within a Multi-Disciplinary Design Environment," son erişim tarihi: 10.03.2015.

İNNOVATİF MODEL BAZLI ARIZA ERKEN UYARI YAZILIMIYLA BEKLENMEDİK DURUŞLARA SON VERME *

Ahmet Duyar

Prof. Dr.,

Artesis AŞ, GOSB Teknopark Hightech,

Gebze/Kocaeli

ahmet.duyar@artesis.com

İzzet Y. Önel

Dr.,

Artesis AŞ, GOSB Teknopark Hightech,

Gebze/Kocaeli

izzet.onel@artesis.com

Harun Özdemir

Artesis AŞ, GOSB Teknopark Hightech,

Gebze/Kocaeli

harun.ozdemir@tupras.com.tr

ÖZ

Bu çalışmada, Tüpraş Rafinerisi'nde Endüstriyel Büyük Veri'den faydalanarak beklenmedik duruşların ve arızalı operasyonun engellenerek üretim ve enerji verimliliğinin artırılmasından bahsedilmektedir. iMCM adlı arıza erken uyarı yazılımı, motor ve ekipmanları sürekli izleyerek gelişmekte olan arızaları erkenden tespit edebilmektedir. iMCM yazılımı, analiz edeceği verileri rafineride bulunan motor koruma cihazlarından çekebilmektedir. Böylece motor ve ekipmanları durdurmaya ve ekstra bir montaja gerek kalmamaktadır. iMCM, kestirimci bakımın faydalarını bilen ama pahalı veya uygulamasını zor bulan firmalar için çok uygun bir çözümdür. iMCM, ekonomik, uygulaması ve kullanımı kolay ve faydası yüksek bir inovasyondur.

Anahtar Kelimeler: : Büyük veri, iMCM, kestirimci bakım, erken uyarı sistemi, endüstriyel internet

AN INNOVATIVE MODEL-BASED EARLY WARNING SOFTWARE TO PREVENT UNPLANNED DOWNTIMES

ABSTRACT

This paper presents the use of Industrial Big Data at Tupras Refinery to increase productivity and energy efficiency by preventing unplanned down time and faulty operation of the equipment. Data obtained from existing protection devices are used through analytics included in software called iMCM. It provides the user with condensed information needed about pending faults of equipment, time to failure and suggested actions anytime and anywhere it is needed. Both its installation and its use are simple without requiring hardware installation, new hardware, sensors, cabling, equipment shutdown and visits to the site. Its simplicity and its ease of use makes it possible for many companies that have been aware of the benefits of predictive maintenance, but had found it too complicated. Analytics, which was previously developed for the Space Shuttle Main Engine, gas turbines and helicopter engines, for early warning of pending faults of industrial equipment is used.

Keywords: Big data, iMCM, predictive maintenance, early warning system, industrial internet

** İletişim Yazarı

Geliş tarihi : 10.07.2015

Kabul tarihi : 25.12.2015

* 8-10 Ekim 2015 tarihlerinde Makina Mühendisleri Odası tarafından Eskişehir'de düzenlenen VII. Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi'nde bildiri olarak sunulan bu metin, yazarlarınca makale olarak yeniden düzenlenmiştir.

Duyar, A., Önel, İ. Y., Özdemir, H. 2016. "İnovatif Model Bazlı Arıza Erken Uyarı Yazılımıyla Beklenmedik Duruşlara Son Verme," Mühendis ve Makina, cilt 57, sayı 672, s. 44-49.

1. GİRİŞ

Büyük Veri (Big Data) kavramı genel olarak, geniş kapsamlı ve çeşitliliği yüksek verilerin kısa sürede elde edilmesini ifade etmektedir. İş dünyasında bu veriler, belli amaçlar doğrultusunda analiz edilmektedir. Analiz sonucu elde edilen bilgiler ışığında, doğru kararlar hızlıca alınarak performansta büyük gelişmeler sağlanmaktadır. Endüstrilerdeyse, endüstriyel büyük veriler analiz edilerek, operasyonlar hakkında daha derin bilgi edinilip kararlar alınabilmektedir. Endüstrilerde büyük veri ve yazılımların birlikte kullanılmasına "Endüstriyel İnternet" adı verilmektedir.

Endüstriyel internetin, dünya çapındaki endüstrilerde, çalışanlarla haberleşebilen akıllı makineler yaratarak büyük gelişmeler sağlayacağı beklenmektedir. Toplanabilen endüstriyel veri, katlanarak artmaktadır ve önümüzdeki 7 yılda 50 milyon makinenin internete bağlanacağı öngörülmektedir. Bu gelişme, kârlılığa 10-15 trilyon Dolar bazında yansıyacaktır [1].

Akıllı makinelerin vereceği bilgiler ışığında, uygulanacak kestirimci bakım ile "sıfır beklenmedik duruş" amacına hızla ilerlenmektedir.

Arızalı çalışmanın yarattığı ekipman yıpranmaları ve enerji sarfiyatı birçok kullanıcı tarafından bilinmektedir. Yanlış hizalama, elektriksel ve mekanik balanssızlıklar, birçok rulman arızasına ve elektriksel arızaya sebep olmaktadır [2, 3]. Bu tür sorunlara proaktif yaklaşmak, operasyonel verimliliğe doğrudan olumlu etki etmektedir. Amerikan Enerji Bakanlığı verilerine göre, doğru uygulanan bir operasyon ve bakım programı, enerji tasarrufunda %5 ile %20 artış sağlamaktadır [4]. Ek olarak, iş güvenliği ve konforunu önemli derecede artırmaktadır.

Günümüzde fabrika yöneticileri ve çalışanları, varlık yönetimi konusuna her zamankinden daha çok eğilmek durumdadır. Ekipmanların durumunu izlemenin; ekipmanın emre amadeliğini sağlamak, güvenilirliği artırmak, üretimi ve kalitesini artırmak için etkin bir yöntem olduğu bilinmektedir. Durum izleme sayesinde arızalar erkenden öğrenilir ve gerekli müdahale yapılarak istenmeyen duruşlar engellenir. Riskler düşürülür, gereksiz bakımlar ve bakım masrafları azaltılır.

Kestirimci bakımın faydaları geniş çapta kabul görmüş olsa da uygulayan firmaların yüzdesi hala düşüktür. Klasik kestirimci bakım yöntemlerinin gerek pahalı, gerek karmaşık ve kullanımı zor olması, potansiyel kullanıcılar için engel teşkil etmektedir.

Bu çalışmada iMCM yöntemi; basit, ekonomik, var olan sistemlere entegrasyonu kolay olması sebebiyle, sürdürülebilir olma iddiasını taşımaktadır. Model bazlı yöntem sayesinde iş yükleri zaten fazla olan bakım ekibine fazladan iş çıkarmak yerine, işlerini kolaylaştırmak amaçlanmaktadır.

2. MODEL BAZLI TEKNOLOJİYLE ARIZA TESPİT VE TEŞHİSİ

Artesis'in model bazlı arıza tespiti, alanında yegane yöntemdir. Teknolojinin sofistike algoritmaları NASA'da geliştirilmiş olup [5-9], patentlerle dünya çapında korunmaktadır. Bu matematiksel modelin pratikte uygulanabilirliğini sağlamak, yıllara yayılan bir çabanın ve milyonlarca elektrikli motor ve ekipman üzerinde yapılan testlerin sonucudur. Sağlam veritabanı sayesinde, güvenilir ve her türlü elektrik motor ekipman üzerinde tekrarlanabilir modellemeye erişilmiştir. Artesis iMCM yazılımı, yiyecek içecek, enerji, metal, petrokimya gibi birçok endüstride ve her türlü pompa, fan, kompresör, konveyör gibi birçok ekipmanı izlemek için kullanılır. Özellikle ulaşımı zor veya imkânsız yerlerdeki (su altı, açık deniz, yüksek yerlerdeki...) ekipmanların her türlü arızasını tespit edebilen yegâne yöntemdir

Model bazlı teknolojiye, izlenmekte olan ekipman matematiksel olarak modellenmesine dayalıdır. Teknoloji, sadece akım ve gerilim sinyalleri kullanılarak kendi kendine ekipman davranışını öğrenme süreci başlatır. Otomatik öğrenme süreci sırasında dışarıdan herhangi bir müdahale gerekmez. Sistem, öğrenme süreci esnasında oluşan tüm yük ve hız değişimlerini de hesaba katarak modelleme yapar. Bu süreçte ortaya çıkarılan referans matematiksel model, motorun ve tahrik ettiği ekipmanın elektriksel ve mekanik özellikleriyle ilgili tüm bilgileri içerir.

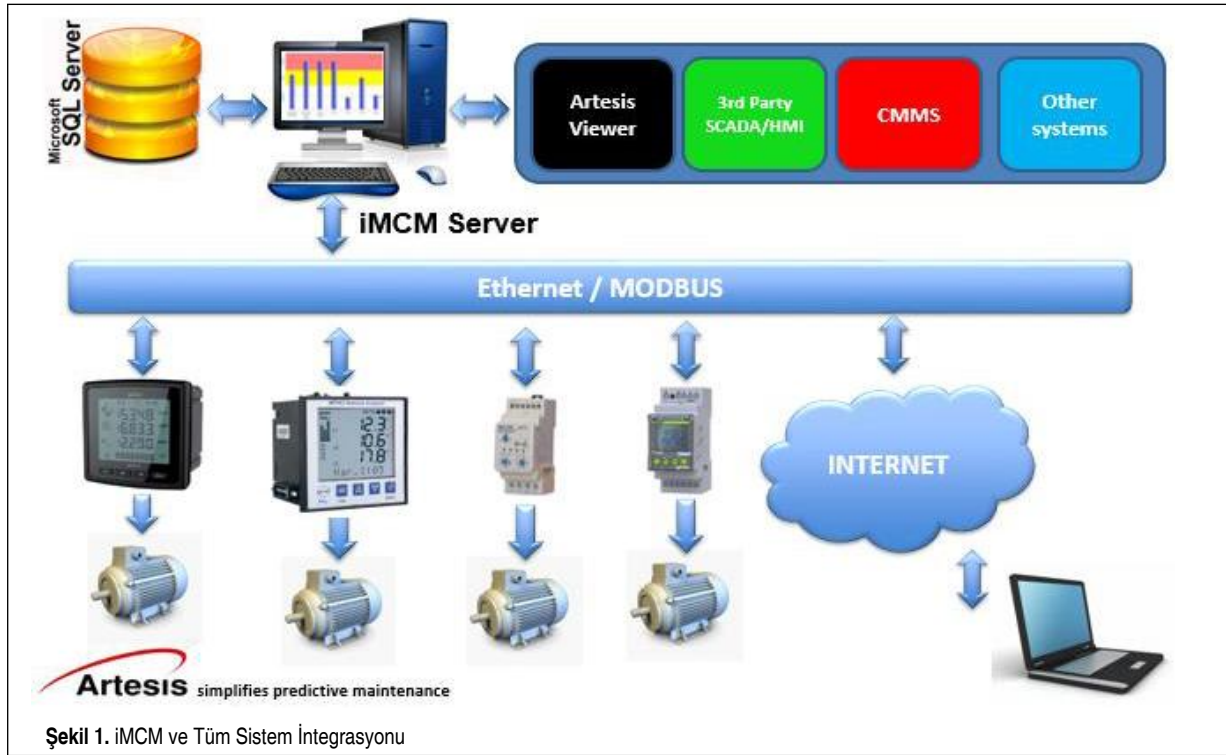
Sürecin devamında sistem, arızanın ciddiyetini analiz eder, bozulmaya ne kadar kaldığını ve bakım tavsiyelerini bildirir. Bu bilgiler, bağlı olan bilgisayarlar aracılığıyla bakım ekibine iletilir.

3. iMCM YAZILIMININ ÇALIŞMA PRENSİBİ

Artesis iMCM, arıza teşhisi için analiz edeceği verileri, endüstrilerde bulunan motor koruma veya analiz cihazlarından

Tablo 1. iMCM'in Tespit Edilebildiği Arızalar

| Elektriksel Arızalar | Operasyonel Arızalar |
|----------------------------------|---------------------------|
| Rotor, stator | Kavitasyon |
| Sargı | Hava akışı düzensizliği |
| Bağlantıda gevşeklik | Filtre tıkanıklığı |
| Gerilim/Akım dengesizliği | Yağlama sorunları |
| Mekanik Arızalar | Enerji Sarfiyatı |
| Zemin, komponent gevşekliği | Yüksek tüketim |
| Balanssızlık, eksenel kaçıklık | Düşük verim |
| Rulman arızaları | Motor boyutu uygunsuzluğu |
| Rotor çubuklarında kırık, çatlak | |



Şekil 1. iMCM ve Tüm Sistem İntegrasyonu

çeker (Şekil 1). Örneğin Tüpraş Kırıkkale Rafinerisi'nde iMCM, GE M60 motor koruma rölesinden veri çekmektedir. Yazılım, fabrikalarda bulunan motor koruma cihazlarına entegre edildiği için montaja ve kablolamalara ihtiyaç duymamaktadır.

iMCM yazılımı, elektrik kaynağından motora giden akım ve gerilim verilerini analiz ederek arıza türü, nerede olduğu, bozulmaya kalan zaman ve bakım önerisi bilgilerini iletir. 3 fazlı AC sabit ve değişken hızlı motorlardaki ve bu motorların tahrik ettiği döner ekipmanlardaki arızaların teşhisini yapar. Aynı zamanda jeneratörlere uygulanabilir. iMCM'e eşlik eden AES (Artesis Enterprise Server) adlı OPC server ile arıza teşhis bilgilerine erişilir (Tablo 1).

4. İMCM'İN KONFIGÜRASYONU

iMCM sisteminin konfigürasyonu basittir ve izlenecek her ekipman için aşağıdaki bilgilere ihtiyaç duyar:

1. M60 IP, TCP Port ve Modbus, ağ adresi ve AES ağ adresi (Artesis Enterprise Server)
2. Motor Plaka Bilgisi: Nominal Voltaj, Nominal Akım, Frekans ve Hız
3. AES portu (AES Varlık Server ve iMCM yazılımı arasındaki bağlantı)

SCADA/ DS sistemlerinde veri toplama ve analiz, potansiyel risklerden kurtulmayı gerektirmektedir:

- Üretim etkilenmemelidir.
- SCADA/DCS sistemi asla değiştirilmemelidir. Bu sistemler eski olabilir ve değişiklik geri dönülemez sonuçlar yaratabilir.
- Diğer ekipmanların çalışmasına müdahale edilmemelidir.
- Siber güvenlik titizlikle korunmalıdır.

SCADA/Yük Sistemi'nde direkt bir değişiklik veya ekleme yapılmaksızın, M-60 rölelerinden doğru veri çekebilmek için aşağıdaki aşamalardan geçilir:

Önce, "Buffer" (Tampon) adlı, iki adet ağ arayüz kartlı (NIC) yeni bir işlem birimi hazırlanır. NIC, SCADA ağına ilk bağlanırken, diğeri ayrı bir VLAN ağına bağlanır. Bu VLAN, dalga formunda veriyi çekebilmek için kullanılır. Veritabanı server dışında Buffer'a gelebilecek diğer bağlantıları engellemek için ikinci ağ arayüz kartına bir Firewall (yangın duvarı) uygulanır. Firewall'daki ilgili portlar kapatılır. Ek olarak, Buffer'da yerel bir Firewall aktifleştirilir.

İkinci aşamada, M-60 rölelerinin klavuzundaki bilgilerden faydalanılarak dalga formu, veri almak üzere ayar yapılır. Buffer, yerel Firewall'ı, uygun portlar aracılığıyla sadece M-60 cihazlarına erişebilmek üzere konfigüre edilir. SCADA ağından, Buffer cihazının bant genişliği kullanımına etkileri, "öncesi ve sonrası"na bakılarak gözlemlenir ve belirgin bir fark olmadığı teyit edilir.

Son olarak, M-60 rölelerinin bağlı olduğu ekipmanların duru-

mu kontrol edildikten sonra dalga formu verinin, veritabanına doğru şekilde transfer edildiği gözlemlenir.

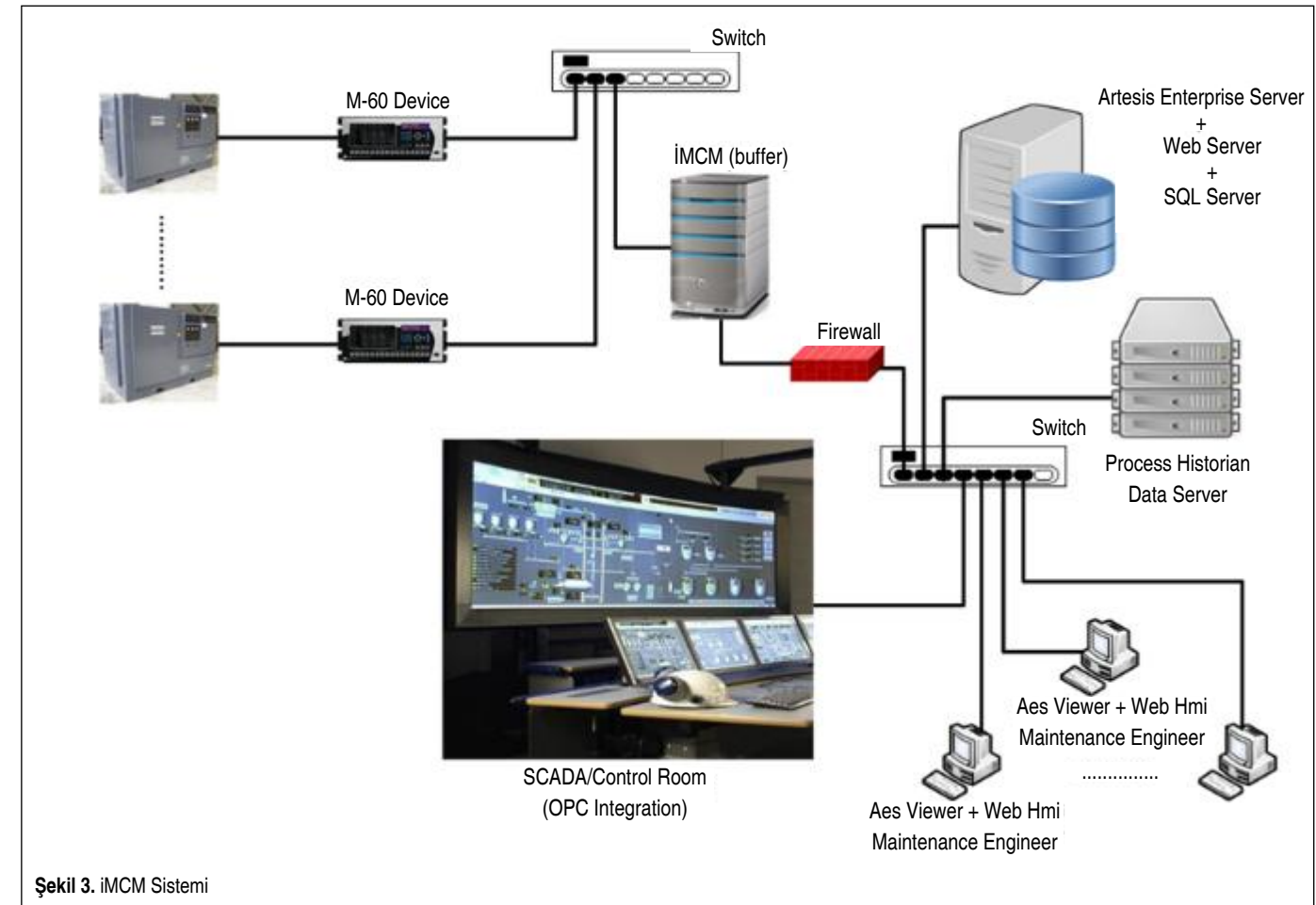
Süreçteki ilgili veriler, Historian Veritabanı'ndan bir web servis arayüzü kullanılarak iMCM sistemine dahil AES Veritabanı'na aktarılır. Historian verileri ile iMCM tarafın-

dan iletilen arıza bilgileri kombine edilerek kök neden analizi yapılır. Bu sebeple iMCM, arıza, bozulmaya kalan zaman ve detaylı teşhis ile tam manasıyla bir varlık yönetimi sistemi teşkil eder (Şekil 3). iMCM uygulaması sayesinde; montaja, kablolamaya, ekipmanı durdurmaya, SCADA'da, ekipmanda

| DEVICE INFORMATION | | PHYSICAL PARAMETERS | |
|--------------------|----------|------------------------|---------------------------|
| Device Name | CCR-1453 | 450PC287 Exit Pressure | 8.62 kg/cm ² g |
| Nominal Voltage | 8641 | | |
| Nominal Current | 49.5 | | |
| Motor Speed | 2979 | | |
| iMCM IP | 12 | | |

| Device | 8/20/2014 | 8/19/2014 | 8/18/2014 | 8/17/2014 | 8/16/2014 | 8/15/2014 | 8/14/2014 | 8/13/2014 | 8/12/2014 |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| CCR-1453 | | | | | | | | | |

Şekil 2. Ekipman Gidişatı



Şekil 3. iMCM Sistemi

veya ağda herhangi bir değişikliğe gerek kalmadan, dalga formundaki veri, veritabanına iletilir.

Proses Parametreleri

Döner ekipmanların operasyon aralıkları belirlidir ve güvenilirliği korumak için, bu aralıklar içerisinde kalmalıdır. Bu parametreleri sürekli izlemek ve değişiklikleri normal hal ile kıyaslamak, arıza gelişimini gözlemleyebilmek için önemli ipuçları verecektir. Bu sayede, kök neden analizi yapılarak gelecekteki arızaların oluşumu engellenmektedir. Arıza gelişimini gözlemleyebilmek için, aşağıdaki zaman çizelgesi formunda bir yönetici görüntüsü sunulmaktadır.

Şekil 2’de görülen kırmızı renk, ekipman anormallığı göstergesidir. Bu durumda, fiziksel parametreleri gözlemlemek gerekir. Örneğin santrifüj pompasının emiş gücünde belirgin bir azalış, kavitasyona sebep olur ve kavitasyon da vibrasyon yaratır. Online izleme yapılmadığında bu anormal durum, akıştaki değişikliğe göre rulman arızası veya kavitasyona yolabilir. Online durum izlemenin işaret ettiği parametreler, kesin sonuca ulaşmayı hızlandırır.

4. ARIZA TESPİTİ ÖRNEKLERİ

Kritik ekipmanları 7/24 iMCM ile izlemek, durum takibi ve değişimleri görmek için tercih edilmektedir. Aşağıda iki vaka analizi bulunmaktadır.

İlk vaka, K-1453 Propan Kompresörü arızasıdır. Şekil 4’te görüldüğü üzere, ekipman, alarm vermeye başlamıştır. Vibrasyon yöntemiyle de bu alarmın arızadan kaynaklandığı teyit edilmiştir.

Rafinerinin döner ekipman sorumluları, makineyi durdurma ve tamir kararı almışlardır. Ekipman demonte edilince, yağ yanmasına bağlı rulman ve sargı arızaları görülmüştür.

Teşhis sonrasında motor ve kompresör tamir edilmiştir. Tüm rulmanlar ve bilyeler değiştirilip, izolasyon sargıları kontrol edilip temizlenmiştir. Bakım çalışması 3 gün sürmüş ve 26.000 Dolara mal olmuştur.

Bu arızaların iMCM kestirimci bakım sistemiyle erkenden farkedilmiş olmaması durumunda, arızaların ilerleyerek aşağıdaki masraflara sebep olacağı tahmin edilmektedir:

- **Motor Yanması:** Sarım ücreti 27.000 Dolar
- **Kompresörün Durması:** Duruş masrafı 138.000 Dolar
- **Üretim Kaybı:** 440 KW’lık bir motorun sarımı 20 güne kadar uzayabilir. 20 günlük bir üretim kaybı 200.000 Dolara denk gelmektedir

En kötü senaryoda bakım masrafları 365.000 Doları bulmaktadır.

İkinci vaka, G- 2270/D adlı pompadaki filtre tıkanıklığı arıza-



Şekil 4. Rulman Arızası



Şekil 5. Filtre Tıkanıklığı

sıdır (Şekil 5). Pompa filtresi, soğutma kulesinden gelen partiküllere maruz kaldığı için tıkanmıştır. Bu tıkanıklık; emiş gücünde azalmaya, türbülansa, kavitasyona sebep olmuştur. Dolayısıyla, iMCM sistemi arıza alarmını iletmiştir.

5. SONUÇ

Tüpraş Kırıkkale Rafinerisi’nde kurulan Artesis’in inovatif iMCM kestirimci bakım sistemi, endüstriyel büyük verileri bilgiye dönüştürmüştür. Bu bilgilerin ışığında, bakım yapılarak beklenmedik duruşlar engellenmiştir. iMCM sistemi; kullanım kolaylığı, çeşitliliği yüksek ve kapsamlı arıza analiz

yeteneğiyle, sürdürülebilir bir kestirimci bakım programı için önemli bir unsur teşkil etmektedir. Verdiği bilgiler aynı zamanda kök neden analizinde kullanılmaktadır.

iMCM yazılımı, işletmede bulunan motor koruma rölesine entegre edilmektedir. Bu sebeple, diğer durum izleme yöntemleri gibi, ekipman durdurmaya, montaja, kablolamalara ihtiyaç bırakmamaktadır. Tüpraş’ta GE M60 rölesinde kullanılmıştır. SCADA ve diğer sistemlerle uyumlu olduğu gibi, siber güvenlik için herhangi bir risk yaratmaz.

KAYNAKÇA

1. Annunziata, M., Evans, C. P. 2013. The Industrial Internet@Work, General Electric Company, https://www.ge.com/sites/default/files/GE_IndustrialInternetatWork_WhitePaper_20131028.pdf, son erişim tarihi: 24 Aralık 2015.
2. US Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, Motor Tip Sheet #5. 2005. “Replace V-Belts with Cogged or Synchronous Belt Drives,” https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech_assistance/pdfs/replace_vbelts_motor_systems5.pdf, son erişim tarihi: 24 Aralık 2015.
3. US Department of Energy, "Energy Efficiency and Renewable Energy," Motor Tip Sheet #2. 2000 “Eliminate Voltage Un-

balance” <http://www.nrel.gov/docs/fy13osti/56005.pdf>, son erişim tarihi: Aralık 2015.

4. US Department of Energy. 2013. http://www1.eere.energy.gov/femp/program/operations_maintenance.html, son erişim tarihi: 24 Aralık 2015.
5. Duyar, A., Merrill, W. C. 1992. “Fault Diagnosis for the Space Shuttle Main Engine,” AIAA Journal of Guidance, Control and Dynamics, vol. 15, no. 2, p. 384-389.
6. Litt, J., Kurtkaya, M., Duyar, A. 1995. “Sensor Fault Detection and Diagnosis of the T700 Turboshift Engine,” AIAA Journal of Guidance, Control and Dynamics, vol. 187, no. 3, p. 640-642.
7. Musgrave, J. L., Guo, T., Wong, E., Duyar, A. 1997. “Real-Time Accommodation of Actuator Faults on a Reusable Rocket Engine,” IEEE Transactions Control Systems. Technology, vol. 5, no. 1, p. 100-109.
8. Duyar, A., Eldem, V., Merrill, W. C., Guo, T. 1994. “Fault Detection and Diagnosis in Propulsion Systems: A Fault Parameter Estimation Approach,” AIAA Journal of Guidance, Control and Dynamics, vol. 17, no. 1, p. 104-108.
9. Duyar, A. 2011. “Simplifying Predictive Maintenance,” GE Orbit Magazine, vol. 31, no. 1, p. 38-45.

<http://omys.mmo.org.tr/muhendismakina/>

TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI

Mühendis ve Makina Dergisi

Online Makale Yönetimi

ANA SAYFA (GİRİŞ SAYFASI)

YAZAR

HAKEM

EDİTÖR

HOŞGELDİNİZ

YAZAR GİRİŞİ

e-Posta :

Sifre :

[Yeni Kullanıcı](#) | [Şifremi Unuttum](#)

MÜHENDİS VE MAKİNA DERGİSİ'ne makale gönderebilmek için sisteme kayıt olmanız gerekmektedir. Kayıt olabilmek için sol kısımda yer alan [Yeni Kullanıcı] bağlantısına tıklayınız.

Daha önce kayıt olduysanız, e-posta adresiniz ve şifrenizi girmeniz yeterlidir.

Şifrenizi hatırlamıyorsanız, şifrenizin e-posta adresinize gönderilebilmesi için [Şifremi Unuttum] bağlantısına tıklayınız.

Sistemle ilgili sorularınızı yayin@mmo.org.tr e-posta adresine gönderebilirsiniz.

makalelerinizi online sistem üzerinden ulaştırabilirsiniz

SAVUNMA VE HAVACILIK ALANINDA ADİTİF İMALAT TEKNOLOJİSİNİN BAKIM VE TAMİR AMAÇLI KULLANIMI*

Necmi Kara

Uçak Mühendisi,
TUSAŞ-Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş.
Kazan, Ankara
nkara@tai.com.tr

ÖZ

Bu çalışmada, havayolu işletmelerinin uçakların idame ve işletilmesinde katlandığı maliyete ve bunu azaltmak için alınan önlemlere değinilmiştir. Yedek parçaların aditif imalat teknolojisi ile imal edilmesiyle hava araçlarının yerinde bakım ve tamirini gerçekleştirmenin hedeflendiği vurgulanmıştır; yönlendirilmiş enerji yayılımı teknolojisinin kapsadığı üç yöntemden söz edilmiştir. Konunun ülkemizdeki gelişiminin sivil ve askeri havacılık açısından ayrı değerlendirilmesinin gerekliliğine işaret edilmiştir. Çalışmada, aditif imalatın barındırdığı bazı zorluklardan da söz edilmiş; savunma ve havacılık sanayinin özellikle bakım ve onarım alanında bu teknolojiyi kullanması ve yaygınlaştırmasının önemli olduğu vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Aditif imalat, savunma ve havacılık, tamir, bakım

USE OF ADDITIVE MANUFACTURING TECHNOLOGY FOR MAINTENANCE AND REPAIR PURPOSES IN AEROSPACE AND DEFENSE SECTOR

ABSTRACT

Cost of maintenance and repair for the airliners and some measures taken to reduce them are mentioned on this paper. Target of achieving on site maintenance and repair of air vehicles by manufacturing of spare parts by additive manufacturing is mentioned; directed energy deposition is reviewed. The possible future of the issue in our country is evaluated on the basis of civil and military usage. Also some difficulties of this technology is reminded and it is emphasized that aerospace and defence industry would drive application of this process on the maintenance and repair jobs.

Keywords: Additive manufacturing, defence and aerospace, maintenance, repair

Geliş tarihi : 10.07.2015

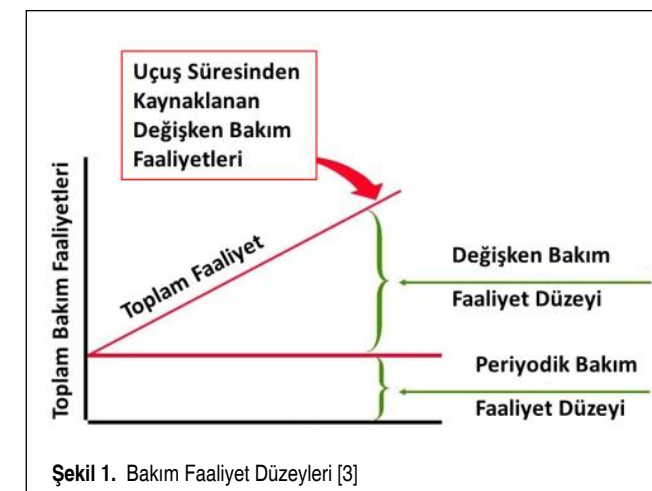
Kabul tarihi : 25.12.2015

* 8-10 Ekim 2015 tarihlerinde Makina Mühendisleri Odası tarafından Eskişehir'de düzenlenen VII. Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi'nde bildiriler olarak sunulan bu metin, yazarlarınca makale olarak yeniden düzenlenmiştir.

1. GİRİŞ

Bakım, bir sistemin kullanım ömrü boyunca bozulabilecek karakteristiklerini daha önceden belirlenmiş nitelik veya nicelik seviyelerinde tutmak veya bu seviyeye getirmek, bir ürünü restore etmek veya çalışılabilir durumda tutmak için servis, tamir, modifikasyon, revizyon, kontrol ve durum tespiti yaparak gerçekleştirilen işlemlerin tümü olarak tanımlanmaktadır. Hava aracı bakımının karakteristikleri emniyet, güvenilirlik, uçuşa hazır durumda bulunma şeklinde sıralanabilir. Onarım ise arızalanan veya hasarlanan elemanın sistem üzerinde veya atölyede daha önceden belirlenen standartlara geri getirilmesidir [1].

Bakım giderleri birçok havayolu işletmesinin toplam operasyon maliyetlerinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Günümüzde kullanıcı işletmeler uygun parçaları ve servis kalitesini düşük maliyetle elde etmek istediklerinden, bakım yapan işletmeler önemli bir mali baskı altında kalmaktadır. Üretici firmalar parça sayısını ve çeşitliliğini azaltmak için çalışmaktadır. Bu sayede yeni jenerasyon uçaklar daha az bakıma ihtiyaç duyacaktır. Ancak hava aracındaki parça sayısı azalınca farklı fonksiyonlar daha az sayıda komponentte toplanacağından, bunlar karmaşık hale gelecek ve bakım/tamir işlemlerinin daha teknolojik yöntemlerle yapılması gerekecektir. Ayrıca maliyet açısından optimum işlem yapabilmek için her bir komponentin değiştirilmesi, tamir edilmesi ya da yeniden imal edilmesi kararının verilmesi önem arz etmektedir. Eğer karmaşık komponentlerin üretim ve tamirinin maliyeti önemli ölçüde azalabiliyorsa, karar otomatik olarak 'satın alma'dan 'imal etme'ye dönüşecektir. Aynı şekilde, maliyeti düşürmek için işletmelerin, bakım tesislerinin olmadığı havaalanlarında neredeyse talebe bağlı olarak hafif bakımları yapacak şekilde yapılanması ihtiyacı ortaya çıkacak ve müşteriye yakın yerde parça imalatı söz konusu olacaktır [2]. Ayrıca şekil 1'de görüldüğü gibi, her türlü gereksinimi öngörülebilir periyodik bakımların yanında, uçuş süresinden kaynaklanan değişken bakım faaliyetleri



Şekil 1. Bakım Faaliyet Düzeyleri [3]

bakımlar önemli yer tutmakta olup, bu tür bakımların aniden ortaya çıkabilecek yedek parça ihtiyacının karşılanma hızı ve kolaylığı da önemlidir [3].

Yukarıda sayılan nedenlerle, uçakların bakım ve onarımı konusunda büyük avantaj sağlayacağı öngörülen aditif imalat teknolojisi ve bu teknolojinin bir alt kategorisi olan yönlendirilmiş enerji yayılımı (directed energy deposition) önem kazanmaktadır.

2. ADİTİF (KATMANLI) İMALAT

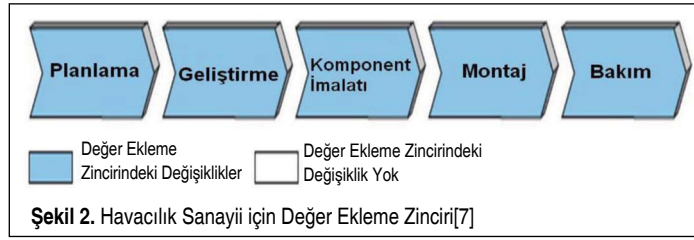
3 boyutlu model datasından objeler yapmak için, subtractive (azaltarak) imalat metodolojilerinin tersine, malzemeleri genellikle tabaka tabaka birleştirme prosesi olan aditif imalat veya daha çok bilinen ismi ile 3 boyutlu baskı teknolojisi ASTM F2792-12A standardında 7 ana kategoride değerlendirilmektedir [4]. Bunlar:

- I. **Vat Fotopolimerizasyonu:** Bir tanktaki sıvı fotopolimerin, ışığın etkinleştirdiği fotopolimerizasyon ile seçici olarak püskürtüldüğü bir aditif imalat prosesisidir.
- II. **Malzeme Püskürtme:** İnşa malzemesi damlacıklarının seçmeli olarak yayıldığı bir aditif imalat prosesisidir.
- III. **Bağlayıcı Püskürtme:** Toz malzemeleri birleştirmek için sıvı yapıştırıcı bir ajanın seçmeli olarak yayıldığı bir aditif imalat prosesisidir.
- IV. **Malzeme Çekme:** Malzemenin seçmeli olarak bir lüle veya orifisten dağıtıldığı bir aditif imalat prosesisidir.
- V. **Toz Yatağı Füzyonu:** Termal enerjinin, bir toz yatağının bölgelerini seçici olarak eritip birleştirdiği bir aditif imalat prosesisidir.
- VI. **Tabaka Laminasyonu:** Tabaka malzemelerin, bir obje oluşturmak için yapıştırıldığı bir aditif imalat prosesisidir.
- VII. **Direkt Enerji Yayılımı:** Malzemelerin, gaz halinden katı hale geçerken odaklanmış termal enerji kullanılarak eritilip birleştirildiği bir aditif imalat prosesisidir.

Bu yöntemlerden toz yatağı füzyonu ve direkt enerji yayılımı savunma ve havacılık uygulamalarına elverişli olup, prototipleme, takım/kalıp ve nihai parça yapmak için kullanılmaktadır.

3. HAVA ARACI BAKIM VE ONARIMINDA ADİTİF İMALATIN YERİ

Aditif imalat, parça veya ürünlerin yeniden kullanımına ya da yeniden imalatına büyük katkıda bulunabilir. Bir parça veya ürün, orijinal görevini yerine getirecek biçimde tamir edilerek kullanılabilirse, hem malzeme sarfiyatı ve atık alanı azalacak, hem de imalat için daha az enerji ve malzeme gerekecektir. Klasik yöntemler olan kaynak, yüzeye metal püskürtme veya



mekanik basınç gibi tamir prosedürleri ile yapılan çatlakları kapatma ve doldurma gibi işlemler kalite ve maliyeti olumsuz etkilemektedir [5].

Artık, bir niş (özel) pazar konumundan çıkmakta olan aditif imalat yöntemleri hava aracı bakım, onarım ve revizyon (Maintenance, Repair and Overhaul, MRO) alanında uygulanmaya başlanmış olup, gelecek açısından da büyük potansiyel taşımaktadır. Birçok ülkede yürütülen araştırma ve geliştirme çalışmaları aditif imalat proseslerinin teknoloji hazırlık düzeylerini artırmaktadır. Şu anda bu pazarın %10'dan fazlasını savunma ve havacılık sektörü temsil etmektedir [6].

Şekil 2'de görüldüğü gibi, aditif imalat prosesleri havacılık sanayinin her aşamasında değer yaratacak bir potansiyel taşımaktadır. Komponentlerin planlama ve geliştirme safhalarında mühendisler bu teknolojinin tasarım kaynaklı faydalarını hayata geçirebilir. İlave olarak, karmaşık ve hareketli geometriler daha kolay, hatta daha hızlı bir montaja imkan sağlamaktadır. Bir başka değer yaratma potansiyeli ise gerek hasar görmüş parçaların tamirinin desteklenmesi, gerekse stok miktarının azaltılması yoluyla uçağın bakımında ortaya çıkmaktadır [7].

Hava araçları öngörülen ömürlerinden daha uzun süre kullanılabilir; bu gibi durumlarda yedek parçaların yönetilmesi karmaşık, zaman alıcı ve pahalı olmaktadır. Bu yedek parçaların birçoğunun da ihtiyaç duyulduğunda üretimden kalkmış olduğu görülmekte ve klasik yöntemlerle yeniden imal edilmeleri uzun sürebildiği için hava araçlarının yerde kalmasına da neden olabilmektedir. Havacılık alanında aditif imalatın bakım ve onarım faaliyetlerinde kullanılması birçok fayda sağlayacaktır:

- I. Parça değil dijital tasarım aktarılacaktır.
- II. Envanterde tutulan parça sayısı azalarak lojistik verim artacaktır. İsteğe veya ihtiyaca göre hızlı biçimde imal edilebileceği için envanterde daha az parça bulunacaktır.
- III. Takım, kalıp gerekmemesi, parçalarda yapılacak mühendislik değişikliklerinin de hızlı ve maliyet etkin olarak uygulanmasına imkan verecektir.
- IV. Minimum parti miktarı gerekmediği için tek parça imalatı bile yapılabilir.
- V. Özel bir üretim tesisi gerekmediğinden pazar ihtiyaçlarına karşı daha hızlı hareket etmek mümkün olacak;

ihtiyaç sahiplerinin ve malzeme tesislerinin yakınlarına konuşlandırılabilen mobil imalat tesisleri veya yerel branşlar açılacaktır.

- VI. Bu yöntem, hasar görmüş değerli parça ve takımların tamiri için de kullanılabilir.
- VII. Mevcut parçalara ilave özellikler kazandırılabilir. Şekil 3'te, bir uçak motorunun özellik kazandırılmış titanyum fan muhafazası görülmektedir [8].
- VIII. Parça yapımında polimer ve plastiklerden reçine ve metaller kadar değişen aralıkta farklı malzemeler kullanılabilir.
- IX. Bakım, test ve servis amaçlı kullanılan yer destek ekipmanları da hızla üretilebilir.



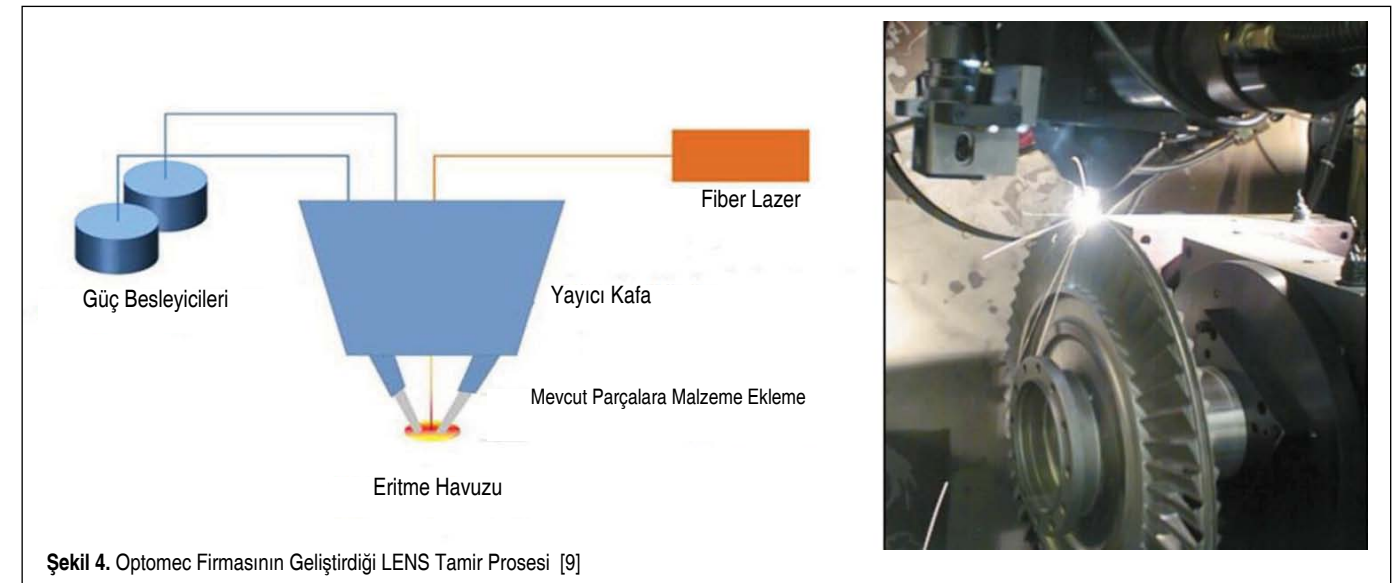
Şekil 3. Aditif İmalatla Özellik Eklenecek Döküm Fan Muhafazası [8]

4. YÖNLENDİRİLMİŞ ENERJİ YAYILIMI

Yönlendirilmiş Enerji Yayılımı (Directed Energy Deposition) adı verilen ve odaklanmış termal enerji kullanılarak malzemelerin gaz halinden katı haline geçerken eritilip birleştirildiği bir aditif imalat yöntemi olan proses, şu anda hava aracı bakım ve onarımında en fazla yer tutmaktadır. Proseste polimerler ve seramikler de kullanılabilir; ancak genellikle toz veya tel şeklindeki metaller tercih edilir. Yönlendirilmiş enerji yayılımı prensibine uyan başlıca yöntemler aşağıda açıklanmıştır.

4.1 Lazer ile Net Şekillendirme (LENS)

America Makes, Optomec ve diğer 23 şirket ile 4 milyon Dolar değerinde "Re-Born in the USA" adlı bir proje imzaladı. Proje, ABD Hava Kuvvetleri için metal komponentlerin tamirinde aditif imalat teknolojilerinin kullanımına odaklanacaktır [9]. Kaynak ve diğer geleneksel tamir proseslerinin yerine, aşınmış ya da hasar görmüş parçaların tamirinde maliyet et-



Şekil 4. Optomec Firmasının Geliştirdiği LENS Tamir Prosesi [9]

kin bir yaklaşım geliştirmek için, hali hazırda kullanımda olan Optomec firmasının Lazer ile Net Şekillendirme (Laser Engineered Net Shaping, LENS) 3 boyutlu metal baskı teknolojisi seçilmiştir. Paslanmaz çelik, titanyum ve kobalt alaşımları, takım çeliği gibi yaygın mühendislik alaşımlarının yanında bazı seramiklerin, ısıya dayanıklı (refractory) metallerin ve diğer bazı malzemelerin kullanılabildiği proseste yaklaşık olarak 3 kW gücündeki bir lazer ile 1 kg/saat hızında yayılım yapılabilir. Şekil 4'te görüldüğü gibi LENS makinasının güç besleyicileri, hassas yayıcı kafa ve fiber lazer desteklerinden oluşan modüler komponentleri uçak parçalarının tamirine son derece uygundur.

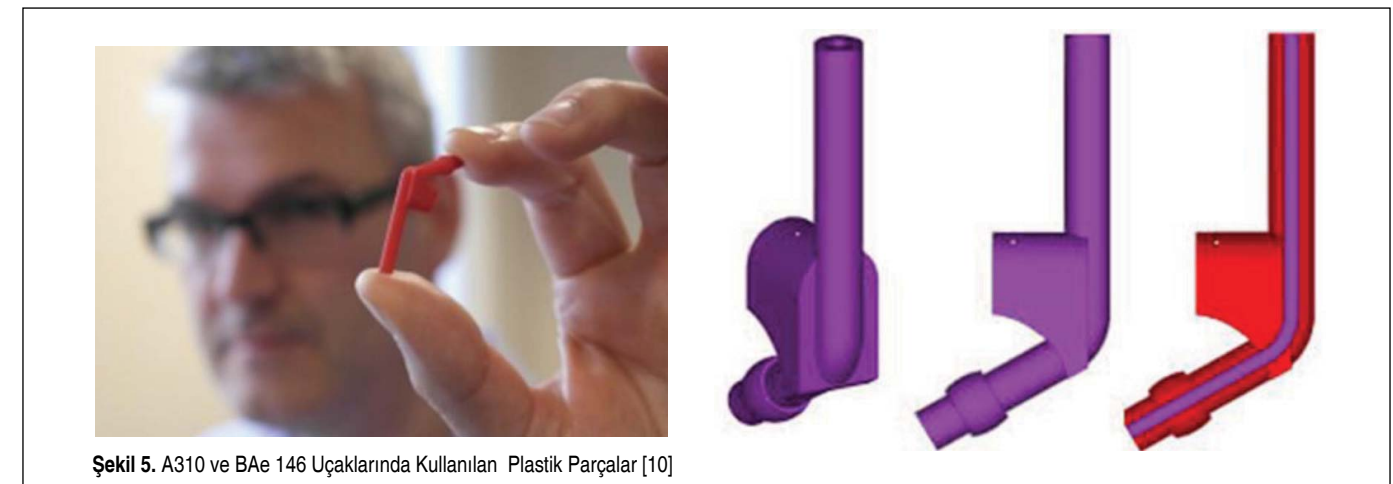
İşletmeler parça tamirinin yanında bu yöntemle bakım işlemlerine de başladılar. BAE Sistemler BAe 146 bölgesel jeti için aditif imalatla yedek parça üretip sertifikalandırdı. Şimdi, diğer ticari uçakları için aynı yöntem üzerinde çalışmaktadır. Şekil 5'te görülen ve orijinal kalıpları artık mevcut olmadığı

için aditif imalat yöntemi ile imal edilen küçük boyutlardaki plastik yedek parçalar, A310 ve BAe 146 uçaklarında servistedir [10]. Orijinali enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretilen plastik boruların kalıplarını yeniden yapmak, yaklaşık 23,255 Dolar maliyet ve aylar mertebesinde süre demektir.

İmalat ile bakım arasındaki çizgiler belirsizleşirken, ST Aero gibi bazı firmalar kalıp yapma süresini azaltacak biçimde döküm parçaları için aditif imalat teknolojisine yatırım yapmaktadır.

4.2 Yönlendirilmiş Metal Yayılımı (DMD)

Oluşturduğu güçlü metalürjik bağ ve ince, uniform mikro yapı sebebiyle bakım onarımda kullanılabilir potansiyel aditif imalat yöntemlerinden en önemlisi, malzeme püskürtme yöntemlerinden direkt metal yayılımı (Direct Metal Deposition/DMD) prosesidir. Yüksek güçlü lazerin, gaz şeklinde



Şekil 5. A310 ve BAe 146 Uçaklarında Kullanılan Plastik Parçalar [10]

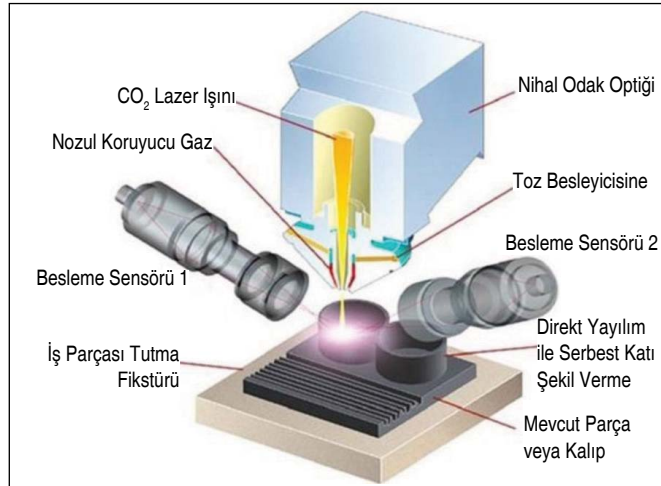
atomize edilmiş metal tozlarından tabaka tabaka parça oluşturduğu bu yöntemin hareketli optikler sayesinde büyük parçalar yapma imkanı, hızlı imalat çevrimi, tasarım serbestliği gibi avantajları olup, temel karakteristikleri şunlardır [11]:

- 0.005" boyutsal hassasiyet
- Tamamen dolu metal
- Kontrol edilebilir mikro yapı
- Heterojen malzeme imalat kabiliyeti
- İç geometri üzerinde kontrol

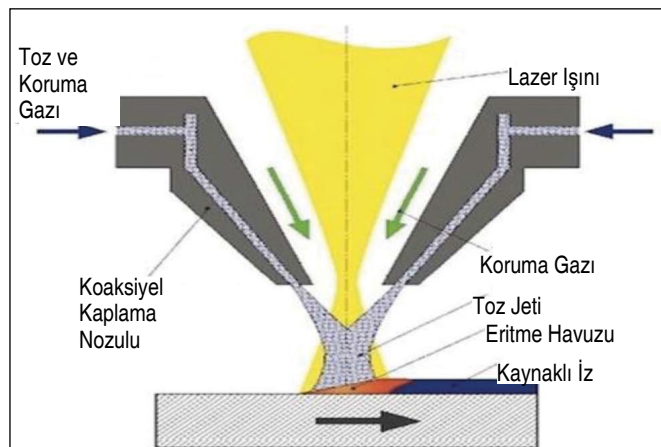
Bu yöntemle, parçalardaki aşınma ve korozyona karşı yüzey iyileştirme uygulamaları yapılmakta; gerektiğinde tamiri, yeniden imalatı ve yeniden konfigüre edilmesi (şekil, uygunluk ve fonksiyonellik değişikliği yapılması) mümkün olmaktadır.

4.3 Lazer Metal Yayılımı (LMD)

Bir başka yöntem ise Lazer Metal Yayılımı (Laser Metal Deposition/LMD) prosesisidir. Şekil 7'de görüldüğü gibi bu yön-



Şekil 6. Yönlendirilmiş Metal Yayılımı Prosesi (DM3D Teknolojisi) [11]



Şekil 7. Lazer Metal Yayılımı Prosesi [12]

temle, iç ve dış tamir yüzeylerine tabaka eklenebilmektedir [12]. Yöntem, 1500*1500*2100 ebatlarına kadar olan parçaların tamiri için kullanılabilir.

5. ÜLKEMİZ AÇISINDAN DURUM

Ülkemizdeki muhtemel gelişmeleri sivil ve askeri havacılık açısından ayrı değerlendirmek uygun olacaktır. Havayollarının bu konudaki gelişimi, büyük oranda üretici firmaların izleyeceği yola bağlıdır. Askeri alanda ise hem gereksinimin daha fazla olması hem de sınırlayıcı faktörlerin azlığı sebebiyle geçiş daha kolay olabilir.

Ülkemizde değişik amaçlarla kullanılan birçok hava aracı bulunduğu göz önüne alınırsa, bu yöntemin kullanım potansiyelinin yüksek olduğu görülür. Örneğin savunma ve havacılık alanında yeni geliştirilen bir takım özgün ürünlerin denenmesi için ihtiyaç duyulan test platform ihtiyacının nispeten eski hava araçları ile karşılanması, pratik bir yol olup, bunların bakım ve idamesinde de aditif imalat ile üretilen parçalar kolaylık sağlayacaktır. TUSAŞ'ta böyle bir test platformuna başarıyla dönüştürülen S2-E deniz karakol uçağının idamesi buna bir örnek olabilir.

Savunma ve havacılık alanında birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de bu teknolojiye gereken önemin verilmesi, özellikle teknolojik hazırlık düzeyini yükseltecek AR-GE projelerinin daha çok desteklenmesi ve prosese yönelik tasarımcı, teknisyen gibi kadroları yetiştirmek için eğitimlerin düzenlenmesi önemlidir.

6. SONUÇ

'Endüstri 4' adı altında yeni bir sanayi devriminin konuşulduğu günümüzde bakım, onarım ve revizyon (MRO) açısından da yeni yaklaşımların ortaya çıkması kaçınılmazdır. Bakım için tasarım, kendi kendini iyileştiren malzemeler, kaplamalar, kompozit tamirleri, aviyonik yazılımları ve ileri imalat yöntemleri bunlardan bazılarıdır. Bu kapsamda değerlendirilen ve tasarım ile imalata farklı bir yaklaşım sergileyen aditif imalatın bakım/idame açısından dünyadaki durumu gelişmekte, mevcut teknolojik ve ekonomik sınırlamalar her gün biraz daha azalmaktadır. Bu gelişmiş teknoloji sadece istendiği yerde ve zamanda parça imalatını mümkün kılmakla kalmayıp, özel beceri gereksinimini de büyük oranda ortadan kaldıracaktır. O nedenle, belirli bakım senaryoları için verimli ve kabul edilebilir çözümler sunacak ve şirketlerin bakım yapma ve tedarikçi konusunda yerleşik iş yapış şekillerinden kolay vazgeçmek istememelerine rağmen bakım, onarım ve revizyon kavramını yeniden şekillendirecektir.

Ancak halen aşılması gereken engeller vardır. Bunlardan en

kritik olanı kalifikasyon ve sertifikasyondur. Kalite ve tekrarlanabilirlik, malzemelerin özellikleri ve maliyet de şu an için dezavantaj yaratan hususlardır.

Barındırdığı yüksek teknoloji nedeniyle her zaman için diğer sektörler için yol gösteren savunma ve havacılık sanayi, aditif imalatı prototip, takıp, kalıp ve nihai ürün üretmek amacıyla kullanan ilk sektörlerden olup, bütün zorluklara rağmen bakım ve onarım alanında da bu teknolojiyi sürüklemesi sürpriz olmayacaktır.

KAYNAKÇA

1. <http://genelhavacilik.blogspot.com/2011/08/01/>, son erişim tarihi: 04.03.2015.
2. Aviation Week, December 9, 2013, p.12,
3. <http://ataibaviationservice.co.uk>, son erişim tarihi: 04.03.2015.
4. ASTM F2792-12A, 2013. Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies.
5. Roadmap for Additive Manufacturing Identifying the Future of Freeform Processing, 2009, p.30
6. <http://www.additivemanufacturing-summit.com>, son erişim tarihi: 05.04.2015.
7. Gausemeier, J. Thinking ahead the Future of Additive Manufacturing, Analysis of Promising Industries, Heinz Nixdorf Institute, University of Paderborn Product Engineering, Paderborn, p.14
8. Qian, Ma., Froes, F. H. 2015. Titanium Powder Metallurgy, 978-0-12-800054-0, Elsevier Inc., Waltham, USA
9. <http://www.optomec.com>, son erişim tarihi: 04.03.2015.
10. Aviation Week. 31 March 2014, 2014, p.18
11. Dutta, B., Robles, J. C., Giglio, J. 2015. Manufacturing and Remanufacturing of Aerospace Components with Direct Metal Deposition (DMD), Long Beach, Rapid.
12. Efesto Druckt Metal Bis Über 2 m Höhe, <http://3druck.com>, son erişim tarihi: 04.03.2015.

DEĞERLİ ÜYELERİMİZE

Bugün, her zamankinden daha fazla siz değerli üyelerimizin örgütlü gücüne ihtiyaç duymaktayız.

İktidarın, kamusal denetimi geriletken uygulamaları, halkın can güvenliğini ortadan kaldırmakla birlikte, Odamızın hizmet alanlarının daralmasına da yol açmaktadır.

Bütün ekonomik zorluklara rağmen, bilimsel gerçeklikler ışığında, mühendislik uygulamalarının önemini ortaya koyan raporlar yayınlama; mesleğimizi geliştirmeye ve toplumu bilinçlendirmeye yönelik bülten, dergi, kitap, broşür vb. yayın çalışmalarımızı sürdürme kararlılığımızdır.

Bu nedenle sizlere ve halkımıza verdiğimiz hizmetlerin yanında çok temsili kaldığına inandığımız üyelik aidatlarının ödenmesi konusunda katkılarınızı bekliyoruz.

<https://aidat.mmo.org.tr>

ENDÜSTRİYEL ROBOTİK OTOMASYON SİSTEMLERİNDE GÖRÜLEN HATALARIN VE SİSTEM GÜVENİLİRLİĞİNİN HATA TÜRLERİ VE ETKİLERİ YÖNTEMİ İLE ANALİZİ*

Atalay Tayfun Türedi**

WAVIN TR Plastik Sanayi A.Ş.,
Yüreğir, Adana
atalaytayfunturedi@yahoo.com

Durmuş Ali Bircan

Yrd. Doç. Dr.,
Çukurova Üniversitesi,
Makine Mühendisliği Bölümü,
Konstrüksiyon ve İmalat Ana Bilim Dalı,
Balcalı, Adana
abircan@cu.edu.tr

ÖZ

Endüstriyel robotik otomasyon sistemleri, işletmelerin verimliliğine direk etki eden, işçilik, hammadde ve enerji maliyetlerinin optimize edilmesi, ayrıca işçi sağlığının korunması gibi faktörlerin geliştirilmesinde önemli ve artan roller oynamaktadır. Bu sistemlerde en yaygın kullanılan uygulama metodlarından biri olan kartezyen robotlar; malzeme taşıma, montaj, istif, ayırma ve sınıflandırma işlemleri gibi birçok uygulamaya yönelik olarak işletmelerin üretim hatlarında veya lojistik faaliyetlerinde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, işletmelerde yaygın olarak kullanılan kartezyen robot uygulamalardan gantry tipi robotlarda tecrübe edilen teknik hatalar ve ilgili hata türleri, Hata Türleri ve Etkileri Analizi (HTEA) yöntemiyle irdelenecektir. Elde edilen analiz sonuçları, ekipman güvenilirliği açısından değerlendirilecek ve çalışma sonucu olarak, hataların elimine edilmesi için uygulanması önerilen bakım prosedürleri verilecektir.

Anahtar Kelimeler: Hata türleri ve etkileri analizi (HTEA), kartezyen robot, gantry robot, ekipman güvenilirliği, bakım yönetimi

INDUSTRIAL ROBOTIC AUTOMATION SYSTEM FAILURES AND SYSTEM RELIABILITY ANALYSIS BY FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS METHOD

ABSTRACT

Industrial robotic automation systems play direct and increasing significant roles on the shop floors productivity in the manner of labour cost, optimum energy and raw material usage, also health and safety. In these applications, cartesian robots are one of the most common applied systems for material and product lifting, mounting, stacking and classification purposes of shop floors production and logistic issues.

In this study, technical failures about gantry type cartesian robots will be analysed with Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) method. Derived results will be evaluated in the view of equipment reliability. Consequently, required and suggested maintenance procedures will be declared for eliminating the failures and taking precautions.

Keywords: Failure mode and effect analysis (FMEA), cartesian robot, gantry robot, equipment reliability, maintenance management

** İletişim Yazarı

Geliş tarihi : 10.07.2015

Kabul tarihi : 25.12.2015

* 8-10 Ekim 2015 tarihlerinde Makina Mühendisleri Odası tarafından Eskişehir’de düzenlenen VII. Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi’nde bildiri olarak sunulan bu metin, yazarlarınca makale olarak yeniden düzenlenmiştir.

Türedi, A. T., Bircan, D. A. 2016. “Endüstriyel Robotik Otomasyon Sistemlerinde Görülen Hataların ve Sistem Güvenilirliğinin Hata Türleri ve Etkileri Yöntemi ile Analizi,” Mühendis ve Makina, cilt 57, sayı 672, s. 56-61.

1. GİRİŞ

İşletme kârlılığı, verimliliğinin nasıl yönetildiği ile direk ilişkilidir. İşletme çıktılarının hedeflenen seviyede sağlanması, kullanılan ekipmanın servis ömrünün mümkün olan en yüksek seviyede ve minimum maliyetli duruşla gerçekleştirilebilmesi ile mümkündür. Bu şartları sağlamanın yolu ise ideal bakım stratejilerinden geçmektedir.

Temel üretim prosesinin gerçekleştirilmesinde kullanılan üretim makineleri kadar, bu makinelerin desteklenmesini sağlayan yardımcı ekipmanlar da bir işletme için yüksek kritikliğe sahiptir. Yardımcı ekipmanların en başında mekatronik otomasyon sistemi ve ekipmanları gelmektedir. Otomasyon sistemleri, düşük yatırım maliyetleri ve sağladıkları esnek üretim modelleri ile işletmelerin vazgeçilmez unsurlarını oluşturmaktadır. Otomasyon sistemleri, entegratör kuruluşlar tarafından sağlandığı gibi, işletme bünyesindeki uzmanlar tarafından ihtiyaç duyulan uygulamaya uygun olarak tasarlanarak imal edilebilmektedir. İşçilik, hammadde ve enerji kullanımlarının optimize edilmesine imkân sağlayan otomasyon sistemlerinin ana ekipmanlarından olan ve yaygın kullanım alanına sahip olan kartezyen robotlar, servo ve pnömatik kontrollü olarak tasarlanmaktadır.

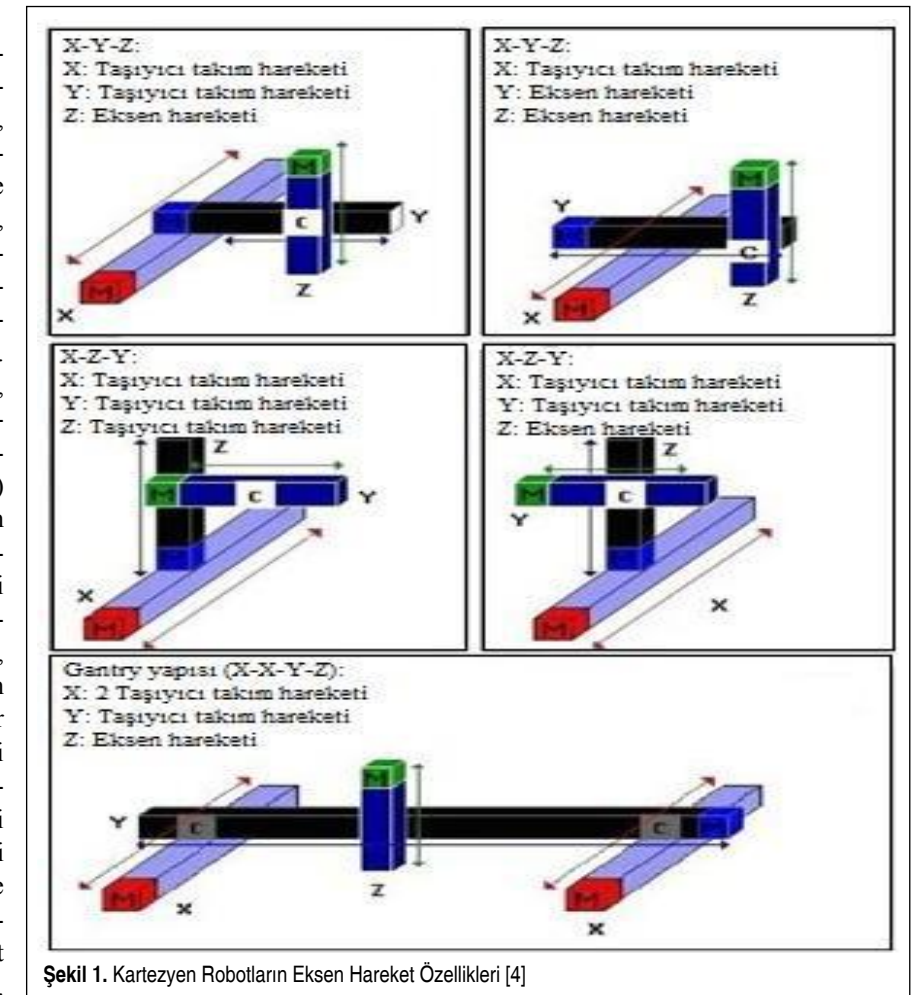
Mekatronik otomasyon sistemleri uygulamaları, ilgili sistem ekipmanlarının tasarlanması ve performans incelemeleri, endüstriyel uzmanlar ve bilim insanı tarafından birçok çalışmada konu edilmiş ve incelenmiştir. Çengelci ve Çimen (2005), üretim sistemlerinde son zamanlarda yaygınlaşmaya başlayan robotların tanıtılıp ülkemizdeki üretim sistemlerine adapte edilmesi ile ilgili çalışmalarını sunmuşlardır [1]. Çallı ve arkadaşları (2004), çalışmalarında, mekatroniğin ilkeleri ve endüstriyel uygulamalardaki etkileri üzerine çalışma yapmışlardır [2]. Berkay ve arkadaşlarının (2008) sunduğu çalışmada, içerisinde otomasyon sistemlerinde önemli bir yeri olan pnömatik robotlar ve uygulamaları hakkında bilgi verilmiş, robot kavramı ve endüstriyel uygulamaları üzerinde durulmuştur. Ayrıca, geliştirilmiş pnömatik tahrikli kartezyen robot uygulamasının detayları sunulmuştur [3]. Bakır ve arkadaşları (2012), üç eksenli bir taşıyıcı sisteme monte edilmiş bir kamera vasıtasıyla siyah bir zemin üzerindeki dikdörtgen, kare, üçgen, daire gibi değişik geometrik cisimlerin görüntü işleme yöntemleri kullanılarak tanınması ve cisimlerin farklı koordinatlardaki kutularda ayırtılması uygulamasını anlatmışlardır [4].

Şimşir (2009), çalışmasında su jeti kesme yöntemi ile uyumlu kartezyen robot tasarımı hakkında verileri paylaşmıştır [5].

Bu çalışmada, imalat sektöründe sıklıkla kullanılan, ürün taşınması, sınıflandırılması ve istiflenmesi uygulamalarına hizmet eden servo kontrollü, üç eksenli gantry tipi kartezyen paletleme robotunun performansına etki eden hata türleri incelenecektir. İlgili inceleme, HTEA yöntemi kullanılarak gerçekleştirilecek ve ekipman kritiklik seviyesi rakamlarla incelenecektir. Bu yöntem, hata türlerini, şiddet, olasılık ve saptama bileşenleri bazında inceleyerek risk verilerinin analiz edilebilmesini sağlamaktadır. HTEA uygulamalarında, her hata türü ve etkisi bileşeni düşükten yükseğe doğru sayısal olarak değerlendirilir. Her hata türü için, ayrı ayrı belirlenen bileşen değerlerinin çarpımı ile elde edilen sayısal değer, Risk Öncelik Sayısı (RÖS) olarak tanımlanır. Elde edilen RÖS değerleri, hatayı önlemeye yönelik aksiyonların alınmasında referans olarak kullanılabilir. RÖS değerleri aynı zamanda ekipmanların operasyonel risk göstergeleridir.

2. MALZEME VE METOT

Üç doğrusal eksen den meydana gelen kartezyen robotlar,

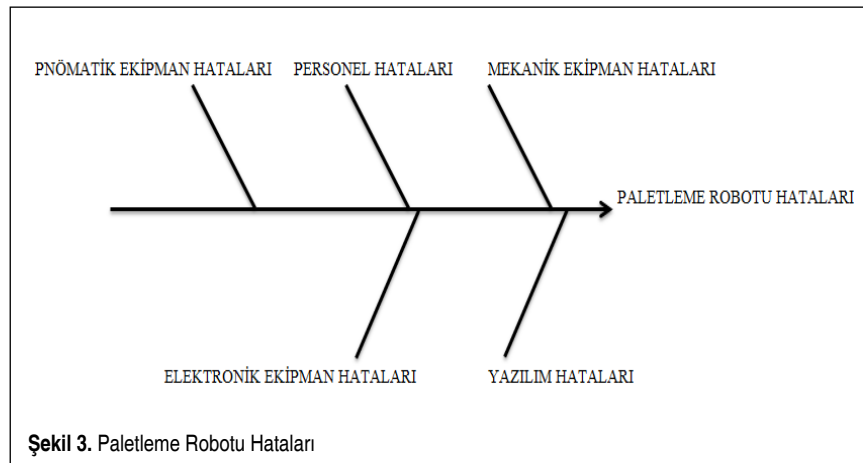


Şekil 1. Kartezyen Robotların Eksen Hareket Özellikleri [4]



paketleme, lojistik, freze, lazer, plazma, oksijen kesme makineleri, su jeti ile kesme, elektro erozyon gibi uygulama alanları bulunur. Kartezyen robotlar birbirine dik eksenlerden meydana gelmektedir. Gantry robotlar da bir kartezyen robot türüdür [4]. Kartezyen robotların eksen hareket özelliklerini gösteren model aşağıda, Şekil 1'de görülmektedir.

İncelenecek olan gantry tipi servo kontrollü kartezyen robot, PLC kontrollüdür ve pnömatik tahrikli tutucu ekipmanlara sahiptir. İstif edeceği malzemenin sevk edilmesinde kullanılan konveyör bant ile haberleşme özelliğine sahip olan robot, gelen malzemeyi konveyörden Z eksenine bağlı olan pnömatik vakumlu tutucu ile almakta ve palet dizme sırasına göre palet üzerine bırakmaktadır. İlgili robotun genel ve en yaygın kons-



trüksiyonu ise bir üreticiye ait olan modeli Şekil 2'de gösterilmektedir.

İlgili sistemin hata analizinin gerçekleştirilmesinde kullanılacak yöntem olan HTEA, bir ürün ya da süreçte bilinen veya olası hataların, önceki deneyimler ya da teknoloji ile belirlenmesi ve bunların engellenmesi için yapılan planlamadan oluşan analitik bir tekniktir. Başarılı bir HTEA uygulaması:

- Her hatanın sebeplerini ve etkilerini belirler.
- Potansiyel hataları tanımlar.
- Olasılık, şiddet ve saptanabilirliğe bağlı olarak hataların önceliğini ortaya çıkarır.
- Problemlerin takibini ve düzeltici faaliyetlerin uygulanmasını sağlar.

Elde edilen sonuçlar iyileştirme programlarına dönüştürülebilir. HTEA uygulaması başarılıdır denilebilir.

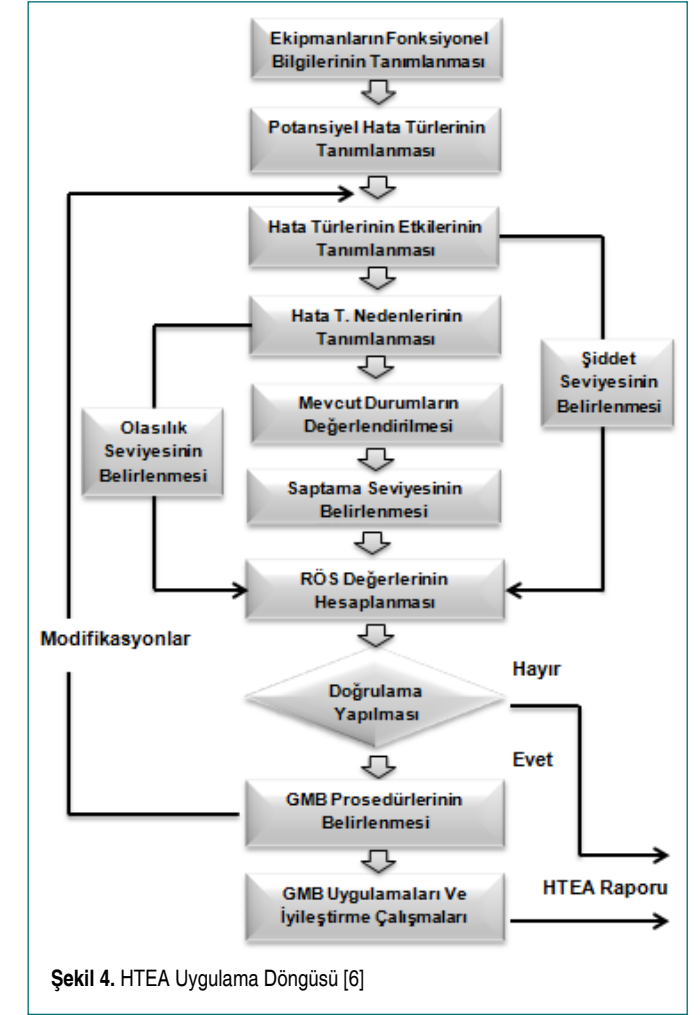
Şekil 3'te, HTEA çalışmasında ele alınacak temel hata modlarının Ishikawa diyagramı ile analizi yer almaktadır. Personel yetersizliği veya ihmalden kaynaklı hataların da dahil edildiği bu gösterimde, hata modlarının oluşumuna neden olan ekipmanlar ana gruplar halinde ele alınmıştır. Robotun istif işlemini gerçekleştirdiği malzemelerde karşılaşılması muhtemel, robotun performansına etki edecek ve hataların oluşumuna neden olacak kalite problemleri etkenlerin dışında tutulmuştur.

Tablo 1'de ise paletleme robotu HTEA uygulamasında kullanılacak olan RÖS bileşenleri ve tanımları verilmektedir. Bu tablodaki veriler ve sayısal değerler, hata türlerine özel, tecrübe edilen vaka detaylarından yola çıkılarak optimum tanımlamayı sağlayacak şekilde elde edilmiştir. Oluşturulacak olan HTEA tablosunda yer alacak RÖS hesaplamaları ve bunların ilerleyen süreçlerdeki güncellemelerinde, Tablo 1'de yer alan, şiddet, olasılık ve saptama durumlarındaki değişikliklere uygun olan sayısal değerler kullanılacaktır.

HTEA analiz tablosu ise endüstriyel kullanıcıların ortak tecrübelerinden elde edilen hata ve arıza kayıtlarından yola çıkılarak oluşturulan hata türleri ve bunların etkileri, numaralandırılarak tanımlanmıştır. Risk öncelik sayısı ise $RÖS = \text{Ş} \times \text{O} \times \text{S}$ formülasyonu ile belirlenmiştir. HTEA bileşenlerinin tespitinde ve HTEA analiz tablosunun oluşturulmasında izlenen yol ve proses döngüsü Şekil 4'te gösterilmektedir.

Tablo 1. Tanımlanan Şiddet, Olasılık ve Saptama Değerleri

| Şiddet | Olasılık |
|---------|--|
| 1 | Üretim personeli tarafından derhal düzeltilebilir çok önemsiz etki. |
| 2 | Bakım personeli tarafından derhal düzeltilebilir önemsiz etki. |
| 3 | Düşük ölçekli etki, sistem küçük müdahalelerle eski haline dönebilir. |
| 4 | Orta ölçekli etki, düzeltme işlemi için duruş gerekliliği yoktur ve ekipman işlevini tamamen kaybetmez. |
| 5 | Orta ölçekli etki, düzeltme işlemi için duruş gerekliliği vardır ve çok kısa süreli duruşa neden olur. |
| 6 | Orta ölçekli etki, düzeltme işlemi için duruş gerekliliği vardır ve bir günlük duruşa neden olur. |
| 7 | Kritik ölçekli etki, düzeltme işlemi için duruş gerekliliği vardır ve birden fazla gün duruşa neden olur. |
| 8 | Çok kritik ölçekli etki, düzeltme işlemi için duruş gerekliliği vardır ve sistem fonksiyonlarının çok büyük zarar görme durumu vardır. |
| 9 | Çok kritik ölçekli etki, sistem tamamen durur ve prosesin çökmesine neden olur. |
| 10 | En üst düzey etki, sistem ekipmanlama ve personele zarar gelmesi durumu vardır. |
| Saptama | |
| 1 | Hata, direkt ölçümlerle tanımlanabilir. |
| 2 | Hata, günlük kontrollerle tanımlanabilir. |
| 3 | Hata, anormal sesler ve indirekt ölçümlerle tanımlanabilir. |



3. UYGULAMALAR

Elde edilen hata verileri, HTEA Tablosunda, RÖS değerleri ve belirlenen risk bileşenleriyle beraber detaylı olarak ele alınmıştır. HTEA analiz verileri, Tablo 2'de görülebilmektedir. HTEA sonuçlarının RÖS değerleri ışığında değerlendirilmesi ile elde edilen sonuçlara göre, eksen hareketlerinde meydana gelen yüksek titreşim ve sesli çalışma hatası en yüksek risk seviyesine neden olan fonksiyonel hatadır. Bu hatanın RÖS bileşenleri izlendiğinde, yüksek şiddet değerinin yanında, olasılık ve saptama değerlerinin de yüksek seviyede olduğu gözle çarpıcıdır. Mekanik bazlı nedenler içeren bu hatanın oluşmasını engelleyici veya risk seviyesinin minimize edilmesini sağlayacak bakım faaliyetlerinin HTEA sonuçlarına göre planlanması, ekipman servis ömrünün güvenilirlik merkezli olarak iyileştirilmesine katkı sağlayacaktır.

4. SONUÇLAR

Endüstriyel işletmelerin yenilikçi ve sürekli gelişen ekipmanlarından olan mekatronik otomasyon sistemi ekipmanlarının

Tablo 2. Paletleme Robotu HTEA Tablosu

| Fonksiyon | Fonksiyonel Hata | Hata Modu | Hata Nedeni | Hata Etkisi | Ş | O | S | RÖS |
|-----------------------------|---|--|---|---|---|---|---|-----|
| Malzeme Taşıma ve İstifleme | Eksen Hareketlerinin Yüksek Titreşim ve Sesli Gerçekleşmesi | 1. Eksen konstrüksiyonu ve komponentlerinden kaynaklı hatalar | Robot konsolu bağlantılarında gevşeme | Robotun servis ömrünün kısalması, yüksek maliyetli uzun duruşların oluşması | 9 | 8 | 5 | 360 |
| | | | Yanlış robot konsolu tasarımı | | | | | |
| | | | Servo motor ve eksen dişlilerinde boşluk oluşması | | | | | |
| | | | Lineer yataklamalarda boşluk oluşması | | | | | |
| | | | Lineer yataklamalarda aşınma oluşması | | | | | |
| | | | Servo motor konsolu vidalı bağlantılarında gevşeme veya deformasyon | | | | | |
| | | | Şok emicilerin görev yapmaması veya deforme olması | | | | | |
| | Eksenlerde Kesintili Çalışma | 2. Servo Motorlar ve Kablo-lamalarda Kaynaklı Hatalar | Eksen servo sürücüsü arızası | Kararsız ve verimsiz çalışma, uzun ve maliyetli duruşların oluşması | 9 | 6 | 3 | 162 |
| | | | Eksen servo motoru arızası | | | | | |
| | | | Haberleşme kablolarında ve soketlerinde kırılma veya deformasyon | | | | | |
| | | | Eksen kızaklarında aşınma ve yüksek sürtünme oluşması | | | | | |
| | Parçanın Güvenli Taşınması | 3. Gripper Konstrüksiyonu ve Kontrol Elemanlarından Kaynaklı Hatalar | Pnömatik hava bağlantılarında kaçaklar | Kararsız ve verimsiz çalışma, uzun ve maliyetli duruşların oluşması | 9 | 8 | 3 | 216 |
| | | | Sistem hava basıncının düşmesi | | | | | |
| | | | Pnömatik valflerde mekanik takılma | | | | | |
| | | | Pnömatik valflerde bobin arızası | | | | | |
| | | | Pnömatik vantuzlarda diyafram yırtılması | | | | | |
| | | | Tutucu konstrüksiyonunda deformasyon | | | | | |
| | | | Pnömatik tutucu kışaklarında deformasyon | | | | | |
| | | | Sensörler bağlantılarında deformasyon veya gevşeme | | | | | |
| | | | Sensör kablolarında deformasyon veya gevşeme | | | | | |
| | Hatalı sensör seçimi | | | | | | | |

performans durumlarının izlenmesi ve iyileştirilmesi, işletme verimliliğine direkt etkileyen bir faaliyettir. Bilindiği üzere, üretim prosesini gerçekleştiren ekipmanların destek ekipmanları ve son işlem faaliyetlerinde görev yapan otomasyon sistemleri, üretim prosesinin nihai çıktılarının çerçevesini oluşturmaktadır. Bu çalışmada, güvenilirlik merkezli ekipman takibi ve bakım planlama prosedürlerinin üretilmesinde etkili bir araç olan HTEA yöntemi kullanılmıştır. Ele alınan ekipman ise he-

men her sektör ve işletmede değişik kapasitelerde kullanılan servo kontrollü kartezyen paletleme robotu olmuştur. Tecrübe edilen hata modlarının analiz edilmesi sonucunda, yüksek kritiklik seviyesini oluşturan hata modu ve diğer hata modlarının durumu ortaya çıkarılmıştır. Bu sonuçlar, benzer ekipmanların bulunduğu endüstriyel işletmelerdeki ekipmanların hata analizlerine katkı sağlayabilecek veya kıyas faktörü olarak kullanılabilir.

Tablo 3. Bakım Prosedür ve Periyodları

| Bakım Prosedürü | Otonom (Günlük) | Planlı (Yıllık) | Önleyici (3 Ayda Bir) |
|--|-----------------|-----------------|-----------------------|
| Sistem Hava Basıncının Kontrolü | x | | |
| Sistem Pnömatik Şartlandırıcısının Fonksiyonel Kontrolü | x | | |
| Lineer Kızakların Gözle Kontrolü ve Temizliği | x | | |
| Lineer Arabaların Gözle Kontrolü ve Temizliği | x | | |
| Hava Kaçaklarının Kontrolü | x | | |
| Hareketli Kablo ve Hortum Taşıyıcıların Fonksiyonel Kontrolü | x | | |
| Vakum Sensörünün Kontrolü ve Testi | | x | |
| Vakum Başlığının ve Griperin Deformasyon Kontrolü | | x | |
| Şase ve Konsol Bağlantılarının Kontrolü | | x | |
| Sensör Braketlerinin ve Bağlantılarının Kontrolü | | x | |
| Sensörlerin Fonksiyonel Kontrolü | x | | |
| Lineer Araba ve Kızakların Yağlanması | | x | |
| Şartlandırıcı Yağ Seviyesinin Kontrolü | x | | |
| Kayış Kasnak Gerginliğinin ve Boşluğunun Kontrolü | | | x |
| Servo Motor Parametrelerinin Kontrolü | | | x |
| Elektrik Panosu Temizliği ve Sıcaklık Kontrolü | | | x |
| Kablo Bağlantılarının Kontrolü | | x | |
| Şok Emicilerin Fonksiyonel Kontrolü | x | | |

Tablo 3'te ise HTEA sonucunda elde edilen RÖS değerleri ve değerler elde edilmesinde rol oynayan hata nedenleri incelendiğinde, önerilebilecek bakım prosedürleri ve uygulama periyodları tablosu görülebilmektedir.

Bu tabloda yer alan otonom bakım prosedürü, üretim personeli tarafından günlük olarak yapılacak görsel kontrol, yağlama ve düzeltme faaliyetlerini içerir. Planlı bakım prosedürü, bakım personeli tarafından yapılacak detaylı yağlama, deformasyon ve aşınma analizi, parça değişimi faaliyetlerini içerir. Önleyici bakım prosedürü ise üretime devam eden makinada, bakım ve üretim personeli tarafından uygulanacak kondisyon izleme faaliyetlerini içermektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir (FBA-2015-3747).

KAYNAKÇA

1. Çengelci, B., Çimen, H. 2005. "Endüstriyel Robotlar," Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, sayı 2, S. 69-78.

2. Çallı, İ., Alemdaroğlu, U., Özer, Ö. 2004. "Mekatronik Bilimi Temelleri ve Uygulama Alanları," SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, cilt 8, sayı 1.
3. Berkay, A., Şeker, M., Esin, E. 2003. "Pnömatik Robot Uygulaması," Elektrik Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi, 18-21 Eylül 2003, EMO, İstanbul.
4. Bakır, A., Güney, Ö., Kuncan, M., Ertunç, H. 2012. "3 Eksenli Robot Mekanizmasına Monte Edilmiş Bir Kamera Varsitesiyle Farklı Rotasyon ve Boyutlardaki Geometrik Cisimlerin Tanımlanarak Vakum Tutucu ile Ayrılması," Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, 11-13 Ekim 2012, Niğde Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Niğde.
5. Şimşir, U. 2009. "Cutting Methods and Cartesian Robots," Journal of Naval Science and Engineering, vol. 5, no. 2, p. 35-42.
6. Türedi, A. T., Yavuz, H., D., Bircan, A. 2014. "Paletli Hidrolik Pompalarda Kondisyon İzleme ve Performans İyileştirme," Uluslararası Katılımlı VII. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi, 22-25 Ekim 2014, MMO, İstanbul.
7. Türedi, A. T. 2013. "Reliability Analysis of Heavy Duty Hydraulic Driven Machinery," Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Çukurova Üniversitesi, Adana.