



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



İMALAT İÇİN MÜHENDİSLİK VERİLERİNİN YÖNETİLMESİ

MÜFİT ÇUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Programı

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Gürcan ATAKÖK

İSTANBUL, 2021



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



İMALAT İÇİN MÜHENDİSLİK VERİLERİNİN YÖNETİLMESİ

MÜFİT ÇUN

523217006

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Programı

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Gürcan ATAKÖK

İSTANBUL, 2021

ÖNSÖZ

Yüksek lisansa başlamamda iki tane temel etken vardı. Bunlardan birincisi piyasada kazandığım pratik tecrübeyi teori ile desteklemek ve hizmet sağladığımız insanlara kaliteli çözümler sunmak; bir diğeri ise bilimsel araştırma kültürünü özümsemek ve kişisel olarak hayata bakışımı geliştirmektir. Bu güne geldiğimizde bu iki kazanımı da sağladığımı düşünüyorum. Ben kendime böyle bir hedef koyduğumda daha ilk günden bana yol gösteren hocalarım, başta Prof. Dr. Mustafa Kurt ve Dr. Gürcan Atakök olmak üzere çok teşekkür ederim.

Bu süreçte işimi ve eğitimimi geliştirirken ailemden ve özel hayatımdan fedakarlık etmem gerektiğinin farkındaydım. Daha en başından beni teşvik edip yazılmamdan; bugün bu tez yayınlanana kadarki süreçte her zaman yanımda olan ve bana güç veren eşim Umut Zeynep olmasa belki de bu çalışma daha yarı yolda duracaktı.

İnsanların akademik veya kariyer başarısının iyi olmasını sağlayan şey, etrafında güçlü insanların olması değildir, buna asla inanmadım. Etrafında iyi insan bulunanlar başarılı olurlar. Eğer bu gün bu tez okunuyorsa etrafımda iyi insanlar olduğu içindir. Bu süreçte etrafımdaki herkese teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
KISALTMALAR	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Yeni Ürünler Geliştirme Süreçlerinde Bilginin Önemi.....	4
1.2. Ürün Veri Yönetim Sistemleri	8
1.3. Ürün Veri Yönetimi ve Sürdürülebilirlik	12
1.4. Ürün Veri Yönetimi Sistemlerinin Önemi ve Literatür Çalışması.....	12
1.4.1. Duvarın Üstünden Kavramı Ve Ürün Veri Yönetimi	15
1.4.2. Eş Zamanlı Mühendislik Kavramı	17
1.4.3. İş Birlikçi Ürün Geliştirme	18
1.4.4. Ürün Veri Yönetimi Sistemlerine İhtiyacın Ortaya Çıkma Sebebi	19
1.4.5. Ürün Veri Yönetimi Sistemleri ile Fayda Sağlayan Firmalar.....	20
2. MATERYAL / YÖNTEM.....	23
2.1. Kullanılan Materyaller	23
2.1.1. Kullanılan Yazılım Materyalleri	23
2.1.2. Kullanılan Fiziksel Materyaller	24
2.2. Ürün Veri Yönetimi Sistemi Uygulaması	24

2.2.1. Ön Hazırlıklar	24
2.2.2. Ürün Veri Yönetim Sistemi Entegrasyonu	26
2.2.3. Ürün Veri Yönetimi Saha Uygulaması	27
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	37
3.1. Ürün Veri Yönetimi Sistemi Entegrasyonu Karşılaştırmaları	38
3.2. Yeni Tasarım Süreçlerinde Karar Verme Döngüsü Sonuçları	39
3.3. Mühendislik Verileri Yönetimi ile Maliyetlerin Çıkarılması.....	40
4. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME.....	45
KAYNAKLAR.....	48
ÖZGEÇMİŞ.....	



ÖZET

İMALAT İÇİN MÜHENDİSLİK VERİLERİNİN YÖNETİLMESİ

Gelişen teknolojiler ve rekabetçi piyasa, firmaları, daha kaliteli ürünleri daha kısa zamanda piyasaya sürmeleri konusunda zorlamaktadır. Firmalar bu rekabetçi ortamda süreçlerini devam ettirmek amacıyla bilgisayar destekli mühendislik yazılımları kullanmaya başlamışlar ve zaman içerisinde tüm sistemlerini bilgisayarlar üzerine kurmuşlardır. Günümüzde ürünler, bilgisayar ortamında tasarlanmakta; doğrulamaları, yazılımla yapılmakta; imalat işlemleri için de spesifik yazılımlar kullanılmaktadır. Mühendislikle ilgili tüm veriler de bilgisayarlarda oluşturulup saklanmaktadır.

Üretim işiyle uğraşanlar için zaman tasarrufu sağlanırken, bir yandan da verilerin yönetilmesi ile ilgili sorunlar da çıkabilmektedir. İşletmedeki her birim, aynı işin yapılması için birlikte çalışmaktadır. Her birimin, kendisiyle ilgili olan kısmı bulması ve bu verileri erişmesi gerekmektedir. Mevcut verilerin güncelliği, doğruluğu veya sorumluluk alanı ile ilgili bir sistemin varlığı bu noktada hayati bir anlam kazanmaktadır.

Herhangi bir veri yönetim sistemi kullanılmaması durumunda, veriler farklı depolama yöntemleri ile istasyonlar arasında taşındığında, en son tasarıma kimin sahip olduğu, en son değişiklikleri kimin yaptığı ve hatta hangi tasarımdan kimin sorumlu olduğu dahi tam olarak takip edilememekte; tasarım ve iş akışları ile çalışan personelin inisiyatifine kalmaktadır. Hatalı teknik resimlerin imalata gitmesinin önünde de hiçbir

engel bulunmamaktadır. Bu da sadece firmalara değil, ülke ekonomisine de zarar vermektedir.

Özellikle COVID-19 sürecinde fiziksel ortamlar ortadan kaldırılırken birimler arasında bilgi paylaşımı için fiziksel ziyaretlerin yapılması veya fiziksel ziyaretler yapılamadığı için verilerin elde edilmemesi, işletmelerin fonksiyonlarını sürdürebilmeleri açısından çok büyük bir problem oluşturmaktadır. Öte yandan sürdürülebilirlik hedeflerini tutturabilmek için kaynakların kullanımının azaltılması ve israfın ortadan kaldırılması için de bu tür süreçlerin optimize edilmesi bir zorunluluk haline almıştır.

Bu tez çalışmasında, ahşap boyama makinaları imalatı yapan firmada, sadece mekanik tasarım biriminin değil aynı zamanda imalat, depo, iş planlama, kalite kontrol, elektrik tasarım, satın alma gibi tüm birimlerin imalat için gerekli mühendislik verilerine erişmesini sağlayacak bir sistem geliştirilmiştir. Bu tür bir sistem kullanılmadığı takdirde oluşan zaman israfı, hatalı üretim ve mühendislik kayıpları incelenerek, sistem devreye alındıktan sonra ortaya çıkan verim analizi yapılmıştır. Yönetim ekibinin bu verileri takip etmesi ve bir işin imalata gidebilmesi için bir onay mekanizması geliştirilmiştir. Üretilen mühendislik verilerinin ihtiyacı olan tüm birimler tarafından ulaşılabilir; diğer birimler içinse ulaşılamaz olması sağlanarak bilgisayar başındaki personel için daha net ve verimli bir çalışma ortamı oluşturulmuştur. Sadece zaman tasarrufu yapılarak ve hatalı parça imal edilmeyerek doğrudan maliyetlerde %80 azalma yakalanmıştır.

ABSTRACT

MANAGING ENGINEERING DATA FOR MANUFACTURING

Developing technologies and competitive market force companies to launch higher quality products in a shorter time. Companies have started to use computer-aided engineering software in order to continue their processes in this competitive environment and over time they have installed all their systems on computers. Today, products are designed in computer environment; verification is done by software; Specific software is also used for manufacturing processes. All engineering related data are also created and stored on computers.

While saving time for those dealing with the production business, problems may also arise in managing data. Each unit in the business works together to do the same job. Each unit needs to find the part related to it and access this data. The existence of a system related to the actuality, accuracy or area of responsibility of existing data gains a vital meaning at this point.

If a data management system is not used, when data is transferred between stations with different storage methods, it cannot be tracked exactly who owns the latest design, who made the latest changes and even who is responsible for which design; design and work

flows are up to the initiative of the working staff. There is also no obstacle for defective technical drawings to go to manufacturing. This harms not only companies but also the national economy.

Especially in the process of COVID-19, while physical environments are eliminated, physical visits to share information between units or the inability to obtain data because physical visits cannot be made creates a huge problem for businesses to continue their functions. On the other hand, it has become a necessity to optimize such processes in order to reduce the use of resources and to eliminate waste in order to achieve sustainability goals.

In this thesis, a system has been developed that will enable not only the mechanical design unit, but also all units such as manufacturing, warehouse, business planning, quality control, electrical design, procurement, to access engineering data required for manufacturing in the company that manufactures wood painting machines. If such a system is not used, the waste of time, faulty production and engineering losses are examined, and the resulting efficiency analysis is made after the system is put into use. An approval mechanism has been developed for the management team to follow this data and to allow a job to go to production. The engineering data produced can be accessed by all units that are needed; a clearer and more efficient working environment was created for the computer staff by making it unreachable for other units. 80% reduction in direct costs was achieved by only saving time and not manufacturing faulty parts.

KISALTMALAR

6XRE : Yeniden düşün, tamir et, yerine koy, yeniden kullan, azalt, geri dönüştür

CAD : Computer-Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)

CAE : Computer-Aided Engineering (Bilgisayar Destekli Mühendislik)

CAM : Computer-Aided Manufacturing (Bilgisayar Destekli İmalat)

CIM : Computer-Integrated Manufacturing (Bilgisayarla Bütünleşik İmalat)

MES : Manufacturing Execution System (İmalat Uygulama Sistemi)

PDM : Product Data Management (Ürün Veri Yönetimi)

SQL : Structured Query Language (Yapısal Sorgulama Dili)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Endüstriyel devrimlerin tarihçesi	1
Şekil 1.2. Endüstri 4.0 sonrası akıllı ürünlerin formülasyonu	2
Şekil 1.3. Yeni ürün geliştirme süreçlerine etki eden temel faktörler.....	7
Şekil 1.4. Ürün veri yönetim sistemi içerisinde ürün açıklamasını oluşturan içerikler.....	9
Şekil 1.5. Tek konumda ve çoklu konumlarda veri yönetimi sistemi çalışması	11
Şekil 1.6. Ürün veri yönetimini yeri	16
Şekil 2.1. Ürün veri yönetimine katkı sağlaması gereken birimler.....	26
Şekil 2.2. Ahşap boyama makinası	28
Şekil 2.3. . Ürün veri yönetim sistemi iş akışları ve kullanıcı grupları.....	29
Şekil 2.4. Ürün veri yönetimi ve bilgisayar destekli tasarım entegrasyonu.....	30
Şekil 2.5. Ürün veri yönetimi sistemi üzerinden ürünlerle ilgili iş akışı bilgilendirmesi.....	30
Şekil 2.6. Pano ve şase üzerinde hidrolik/pnömatik montajı	31
Şekil 2.7. Elektrik tasarım ekibinin model üzerinden tasarımları	32

Şekil 2.8. Elektrik ekibinin montaj ve modelleme öncesi şematik tasarımı	32
Şekil 2.9. Firma tezgah parkurundaki bazı tezgahlar	33
Şekil 2.10. Parça için imalat istasyonlar ve imalat süreleri	34
Şekil 2.11. Üretim yönetimi programı ve ürün veri yönetimi programı entegrasyonu.....	35
Şekil 2.12. Ürün veri yönetimi sistemi üzerinden teknik dökümantasyon	36
Şekil 3.1. Yanlış revizyondan kaynaklı hatalı parça imalatının aylara göre değişimi	37
Şekil 3.2. Ürün veri yönetimi sistemi entegrasyonu öncesi ve sonrası tasarım yapısı	38
Şekil 3.3. Yeni tasarım süreçlerinde karar verme döngüsü	39
Şekil 3.4. Ürün veri yönetimi sistemi öncesi ve sonrası kalem kalem maliyet kıyaslaması	43
Şekil 3.5. Ürün veri yönetimi öncesi ve sonrası toplam maliyet kıyaslaması.....	44

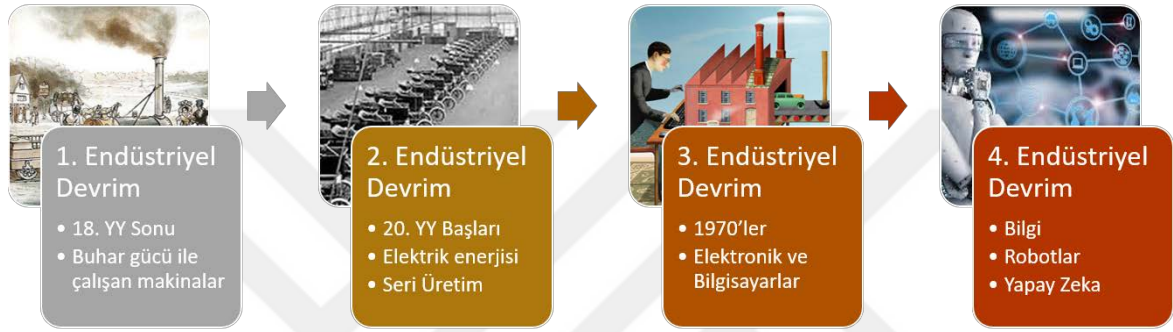
TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1. Yakın zamanda ürün geliştirmede karşılaşılan durumlar	5
Tablo 1.2. Ürün veri yönetimi sistemi kullanarak firmaların sağladığı faydalar.....	21
Tablo 3.1. Geleneksel yöntemlerle yapılan mühendislik süreçleri maliyeti.....	41
Tablo 3.2. Ürün veri yönetimi entegrasyonu sonrası 10 projenin mühendislik verilerinin yönetilmesi ortalama maliyeti.....	43



1. GİRİŞ

İlk endüstriyel devrim 18. yüzyılın sonunda başladı ve su ve buhar gücüyle çalışan fabrikalarla kendini gösterdi. İkinci endüstriyel devrim 20. yüzyılın başında başladı ve en temel özelliği elektrik enerjisi kullanılarak kurulan seri üretim hatlarıydı. Üçüncü endüstriyel devrim 1970'lerde başladı ve elektronik ve internet teknolojilerinin kullanımı ile otomatik üretimle bu dönemde tanıştık (Lukaç; 2015). Endüstriyel devrimler Şekil 1.1'de görselleştirilmiştir.



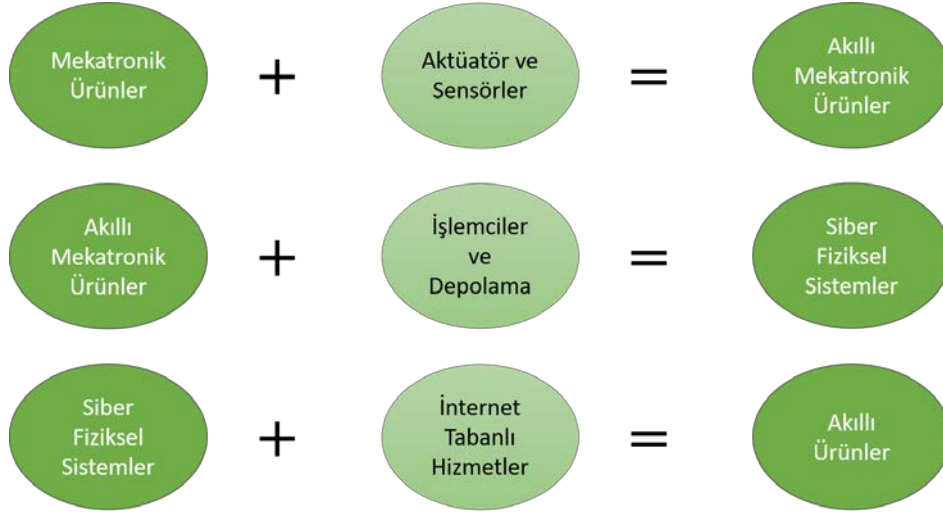
Şekil 1.1. Endüstriyel devrimlerin tarihçesi

Modern endüstriyel devrimler birkaç yüzyıldır devam etmektedir. İçinde bulunduğumuz çağ ise Endüstri 4.0 çağı olarak adlandırılmaktadır. Her ne kadar Endüstri 4.0, 2011 yılında Alman ekonomisinin gelişmesi için bir konsept olarak sunulsa da (Lu, 2018) artık tüm dünya için kaçınılmaz bir gerçeklik haline gelmiştir. Endüstri 4.0, internet temelli hizmetler ve iletişim imkanları sunan akıllı ürünlerle özdeşleşmiştir. Bu sebeple fiziksel donanım bileşenleri son kullanıcılara fayda sağlamak amacıyla yazılımlar ile birbirine bağlanmıştır. Bu tür durumlarda da yeni ürün geliştirirken elde tutulması gereken veri çok fazla artış göstermiştir ama bu konuyla ilgili sorunlar de var olan bilgi ve tasarım süreçleri kullanılarak çözülebilir (Scheidel ve ark.; 2017).

Endüstri 4.0 ve günümüzün rekabetçi dünyasında müşteriler ve pazar beklentileri sürekli olarak artmaktadır. Bunun yanı sıra yetkili kurumlar çevresel veya güvenlik nedeniyle yeni kısıtlamalar eklemektedir. Bazen de projede ilk projelere göre beklentilerin değişmesiyle revizyon uygulanması gerekebilir. Ürün geliştiricileri ürünle ilgili teknik bilgilerin toplandığı ve dağıtıldığı dinamik ve dijitalleşmiş bir ortamda çalışırlar (Kaufmann, 2015 aktaran Scheidel ve ark., 2017). Ürün yapıları mühendisler tarafından oluşturulan bilgiler olsa da proje döngüsü boyunca firmadaki farklı birimlerden bu yapıya erişim olacaktır. Bu nedenle ürünle ilgili verilerin iyi yönetilmesi gerekmektedir. Ürün gereklilikleri ve kullanılabilir bilgiler işletme başarısı ve rekabet avantajı için hayati faktörlerdir (Han ve ark., 2017; He ve ark., 2006; Papinniemi ve ark., 2013).

Endüstri 4.0 kapsamında her zaman yeni ürünler üretilmemektedir. Aynı zamanda var olan ürünlere “akıllı” kavramı eklenerek ürün çeşitliliği arttırılmaktadır Akıllı matkaplar endüstriyel alanda karşımıza çıkarken, akıllı saatler, akıllı diş fırçaları da ticari alanda karşımızdadır. Bu tür ürünleri Şekil 1.2.’de de görüldüğü üzere dört farklı kategoride inceleyebiliriz.

- Mekatronik Ürünler: Mekatronik ürünler ölçülen fiziksel verileri elektronik sinyallere ve veri işlemesine yönlendiren sensörler ve aktüatorlere sahiptir.
- Akıllı Mekatronik Ürünler: İşlemciler ve depolama aygıtlarıyla donatılmış mekatronik ürünlerdir.
- Siber-Fiziksel Sistemler: Akıllı mekatronik ürünlerin iletişim yeteneği eklenmesiyle oluşturulur. Siber-Fiziksel sistemler kendi aralarında ve çevreyle iletişime geçebilirler.
- Akıllı Ürünler: Siber-Fiziksel sistemlerle internet tabanlı hizmetlerin, diğer adıyla akıllı hizmetlerin, birleştirilmesiyle oluşturulur. Akıllı hizmetler, verinin oluşturulmasını ve kullanılmasını gerçekleştirir, analiz eder ve görselleştirir.



Şekil 1.2. Endüstri 4.0 sonrası akıllı ürünlerin formülasyonu.

Bir diğer zorlayıcı kısım da pek çok alanda bilgi teknolojilerindeki gelişmelerdir. Bu da hâlihazırda ürünün ilk aşamalarında birlikte çalışmayı ve bilgi paylaşımı gerekliliğini oluşturur. Özellikle ürün geliştirme süreci genel maliyetleri düşürmede önemlidir. Bu şu demektir: Toplam maliyetlerin %60 ile %80'i konsept ve ön model tasarım süreçlerinde tanımlanır. Sorun ne kadar geç çıkarsa sorunun maliyeti de o kadar artar. Başka bir deyişle, bir sonraki adımda çıkan problem bir önceki duruma göre on kat maliyet artışı demektir. Bu sebeple tasarım süreçlerini geliştirmek yüksek tasarruf potansiyeline sahip olmak demektir (Haas ve ark., 2016; Ovtcharova, 2010).

İşletmeler için tüm kriterlerin yanı sıra sürdürülebilirlik kavramı da daha sonradan göz önünde bulundurulması gereken bir kavram olarak ortaya çıktı. Sürdürülebilirlik bir yandan üretilen ürünün kullanımı aşamasında doğaya bıraktığı karbon izinin azlığını tanımlarken bir diğer yandan da aynı ürünün üretiminden ömrünü doldurana kadarki süreçte imalat, bakım enerji tüketim maliyetleri, sosyo-kültürel etkileri gibi pek çok kavramı içinde barındırmaktadır (Rihar ve Kusr, 2021).

1.1. Yeni Ürünler Geliştirme Süreçlerinde Bilginin Önemi

Yeni ürün konusunun araştırma süreçleri işletmenin hedefleri ile uyum gösterdiği zaman yeni ürün geliştirme ekibi artık geliştirme sürecine başlayabilir. Program ve proje yöneticisi arasındaki etkileşim artık sadece satma veya alma kapsamı içinde değerlendirilemez. Bundan da fazla olarak ürünü pazara zamanında, bütçesinde ve gerekli beklentileri sağlayarak sunmak gerekmektedir (Borasi ve Nagaich, 2018). Karmaşıklık yönetimi ürün standartlaştırma ölçeklerinin pazar fiyatlandırma geliştirmelerinde koordinasyon ve uygulama için oldukça önemlidir Bu sebepten dolayı firmalar ürün çeşitliliğinden kaynaklı karmaşıklık ve karmaşıklık maliyetleri ile mücadele etmektedirler Bu, ürün karmaşıklığının giderilmesi için ürün ve onun bileşenlerinin bir analizini gerektirmektedir (Schuh ve ark., 2018).

Yeni ürün geliştirme bir firma için önemli bir konu olduğundan dolayı bu konuya özel etkenler belirlenmiştir. Bu etkenlerin başarılı olabilmesi için neler yapılması gerektiği üzerine pek çok araştırma yapılmıştır (Montoya-Weiss ve Calantone, 1994). Başarı için gerekli olan konular zaman içerisinde yoğunlaştırılmış, sadeleştirilmiş ve şu maddeler genel olarak kabul görmüştür: Çapraz fonksiyonlu çalışma; üst yönetimin desteği; pazar planlaması, formüle edilmiş işlemler. Ürün geliştirme ile ilgili literatür genel olarak pazarlama perspektifi ile araştırılmaktadır. Bunun yanı sıra sürdürülebilirlik ile bağlantısı ve mühendislik tabanlı yaşam döngüsü yönetimi nispeten nadirdir (Gmelin ve Seuring, 2014).

Yeni bir ürün geliştirme, mühendislerin bir ürünü hayal ettiği, tasarladığı ve ürettiği süreçler silsilesi olarak tanımlanabilir. Son 40 yılda ürün geliştirme süreçlerinde rekabetçiliği koruyarak maliyetleri düşürmede ve tasarım süresini kısaltmada yoğun bir çaba var. 1960'larda bir ürün bir mühendisler tarafından herhangi bir yapısal süreç olmadan tasarlanır ve değişiklikler gerekirse yeniden tasarlanırdı. Pek çok imalatçı bu

değişikliklere uyum sağlamak için yeni sistemler uygulamaya koydu. 1990'larda ise sadece endüstrinin %40'ının bir ürün geliştirme süreçleri için formları vardı. Bu rakam 2000'lerde %90lara vardı. Hatta yeni ürün geliştirme için bir standart geliştirildi: British Standard 7000: Guide to Managing Product Design. Tablo 1.1'de son 30 yıldaki ürün geliştirme yaklaşımlar özetlenmiştir (Nallusamy ve ark., 2015).

Tablo 1.1. Yakın zamanda ürün geliştirmede karşılaşılan durumlar.

İŞ AKIŞI	Z A M A N		
	2010'lar	2000'ler	1990'lar
Çalışma Ortamı	Küresel	Ulusal	Bölgesel
Rekabet Zorluğu	Ürün teslim zamanlar, Ürün Kalitesi, Çeşitlilik ve Maliyet, Esneklik, Müşteri Memnuniyeti	Kalite	Maliyet, Adet
İmalat Hedefleri	Daha akıllı çalışmak için öğrenen bir organizasyon oluşturma	Esneklik ve Entegrasyon	Otomasyon için teknoloji edinme

Tablo 1.1. (Devamı) Yakın zamanda ürün geliştirmede karşılaşılan durumlar

Çalışma Şekli	Sanal ekip	Proje ekibi	Bölümleşme
Tasarım Metodolojisi	Eş zamanlı mühendislik	Yeniden tasarım	Yeniden tasarım
Üretim Sistemi	Siparişe göre tasarla/yap	Stokla	Stokla
İmalat Organizasyonu	Küresel	Merkezi	Merkezi
Otomasyon	Entegre	Kısmi entegre	Ayrı ayrı

Yeni ürün geliştirme işletmelerin tasarım, imalat, pazarlama ve finans başta olmak üzere neredeyse tüm birimlerinin katkı sağlaması gereken disiplinler arası bir aktivitedir. Müşterinin beklentisi, tepkisel imalata doğru gittiğimiz zaman gelecekteki herhangi bir tasarım metodunda veya imalat stratejisinde önemlidir. Özellikle günümüzün yığın imalat düzenlemelerinde (Nallusamy ve ark., 2015). Yeni ürün geliştirmede baskın roller; işletmenin kapasitesi, işletme kültürü, rekabet üstünlüğü ve müşteri konumlandırma, yönetimin rolü ve stratejik konumlandırma.

Şekil 1.3.'de yeni ürün geliştirme süreçlerinde etki eden temel faktörler görselleştirilmiştir.



Şekil 1.3. Yeni ürün geliştirme süreçlerine etki eden temel faktörler.

Tasarım ve mühendislik süreçlerindeki kullanılabilir bilgi ne kadar çok olursa imalat süreci başta olmak üzere üretim döngüsündeki diğer bölümlerdeki maliyetler ve karmaşıklıklar o kadar düşer. Mühendislikle ve imalatla ilgili kaliteli bilgiler sayesinde üretilebilirlik çok büyük revizyonlar olmadan sağlanabilir (Haas ve ark., 2016). Teknik resimler, parça spesifikasyonları, malzeme listeleri, kullanım kılavuzları, kontrol listeleri ve revizyon geçmişi genel mühendislik çıktılarıdır. Proje zamanlaması ve yönetsel notlar da aynı zamanda değerli bilgiler olarak değerlendirilebilir (Han ve ark., 2017).

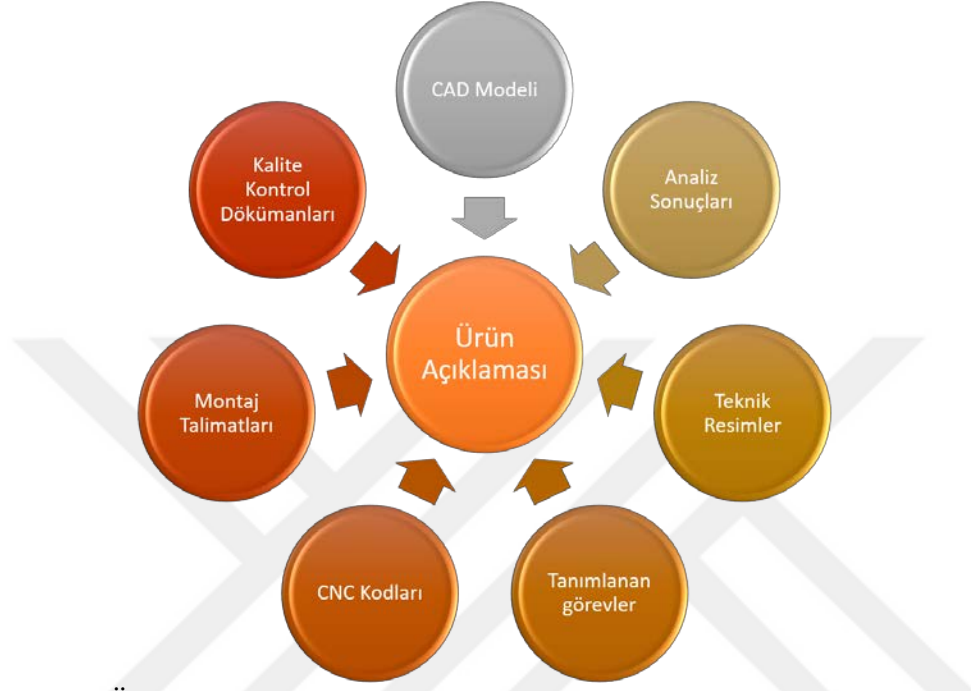
İmalat firmaları özellikle yeni ürün geliştirme süreçlerinde özelleştirilmiş bilgisayar teknolojilerinin çoklukla kullanılmasından kaynaklı olarak yüksek miktarlarda veri üretmektedirler. Bu veri geniş olarak iki grupta toplanabilir: Ürün bilgisi ve üretim

bilgisi. Üretim bilgisi ürün üretmek için gerekli mühendislik değişimi, proje onayı ve yetkilendirmeler, ürün konfigürasyonları, iş akışları ve veri değişimleri gibi iş akışı bilgilerini sunar. Ürün bilgisi teknik ve teknik olmayan ürün bilgisi olmak üzere ikiye ayrılabilir. Teknik olmayan veri doğrudan ve dolaylı ürün maliyetleri, pazarlama bilgisi, satış siparişleri, satın alma siparişleri, yazışmalar ve ürün garantisi gibi verileri içerir. Teknik bilgiler ise tasarım geometrisi ve malzeme listesi gibi tasarım spesifikasyonlarını, mühendislik tasarımları ve montaj diyagramları gibi CAD dosyalarını, analiz sonuçlarını içeren CAE dosyalarını, CNC'ye yönlendirmek için CAM dosyalarını ve ürün imalat planları, montaj şemaları gibi diğer verileri içerir (Nallusamy ve ark., 2015; Staisch ve ark., 2012).

1.2. Ürün Veri Yönetim Sistemleri

Ürün veri yönetim sistemi 1990'ların başında ortaya çıkan bilgisayarla bütünleşik imalatı, eş zamanlı çalışmayı, sanal imalatı ve diğer gelişmiş imalat sistemlerini sağlayan bir teknolojidir. Sadece CAD dosyalarını değil bunun dışında ürün geliştirme sürecindeki diğer dosya yapılarıyla da çalışma imkânı oluşturur. Ürün veri yönetimi doğru verinin doğru kişiye erişmesinin garanti altına alınması için modern işletmelerde hayati bir platformdur (Jin ve ark. 2014). Ürün veri yönetim sistemi ürün verilerini ve ürün geliştirme süreçlerini yöneten bir yazılımdır. Burada yönetilen veri genellikle ürünün teknik spesifikasyonlarını, imalat ve geliştirme spesifikasyonlarını ve ürünü üretmek için gereken malzeme bilgilerini içerir. Ürün veri yönetim sistemi ürünün tasarlanması ve üretilmesi ile ilgili maliyet verilerini takip etmeyi sağlar. Ürün veri yönetimi süreç ve ürün geçmişi hakkında kapsamlı bir bilgi havuzu sunar ve proje yönetimi, mühendisler, satış birimleri, satın alma, kalite mühendisleri de dâhil olmak üzere tüm firmada ürünle ilgili etkileşim ve veri alışverişi yapılmasını sağlar. Piyasadaki pek çok ticari ürün veri yönetimi yazılımı veri kasası, doküman yönetimi, parçaların

sınıflandırması, ürün yapısı ve konfigürasyon yönetimi, iş akışı yönetimi ve proje yönetimi gibi temel fonksiyonlar sunar (Nallusamy ve ark., 2015). Ürün veri yönetim sistemi içerisinde verilerin açıklamasına katkı sağlayan ve kullanılan diğer içerikler Şekil 1.4.'te gösterilmiştir.

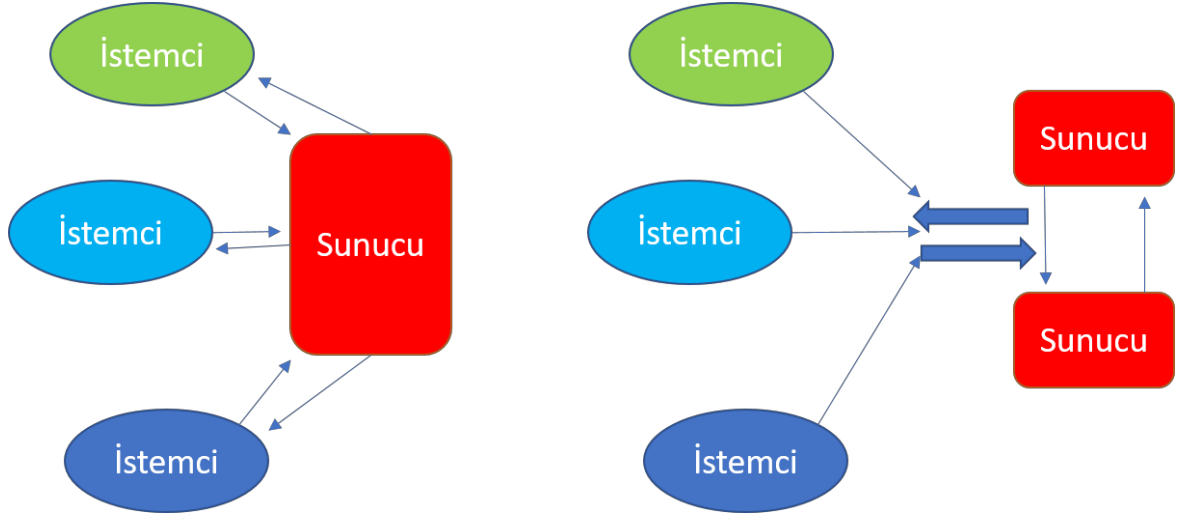


Şekil 1.4. Ürün veri yönetim sistemi içerisinde ürün açıklamasını oluşturan içerikler.

Proje sisteminin sınıflandırma yapısı projedeki kişilerin beklentilerine ve firmanın yönetsel sorunlarına cevap verebilmelidir. Her projenin kendine göre yapısal gereklilikleri değişiklik gösterebilir. Bu yapısal durum gerektiğinde, istendiğinde veya tecrübe edilerek değiştirilebilir. Bazı zamanlarda da kısa zamanlı yapılar oluşturulabilir. Tüm durumlarda tekrar tekrar aynı işleri yapmanın önüne geçmek kullanıcıların verimliliğini kesinlikle arttıran bir durumdur. Hatta bir veride revizyon yapılırsa bu yapının üzerinden ilerlenmesi içeriklerde çakışmaya karşı bir koruma da olur (Han ve ark., 2017).

Proje çıktıları toplama konusunda hedefleri karşılamak için sistemde bu verilen kayıt edileceği doğal bir yol bulunmalıdır. Bu nedenle önerilen çözüm proje zamanlama yönetimini, çıktı edinme sürecini ve onaylanma sürecini içermelidir. (Han ve ark. (2017). Ürün geliştirme süreçlerinde doğru bir akışın oluşturulması için sistemin birbirinden ayrı iş akışlarından oluştuğu göz önünde bulundurularak bir karar verilmelidir. Yeni bir sistem devreye alırken veya var olan sistemi iyileştirirken verilmesi gereken bir karar da sistem var olan iş akışlarına mı adapte edilecek yok bu süreçleri mi yeni sisteme uydurulacaktır. Başarılı bir devreye alma işlemi tüm organizasyonun iyi gözlenmesinden ve süreçlerin doğru adaptasyonundan geçer (Kung ve ark., 2015).

Ürün veri yönetim sistemlerinde oluşturulan veri daha sonra kullanılmak üzere depolanır. Bu veri yeni tasarımlar yapılırken veya var olanları düzenlerken kullanılır. Bir firmanın tasarı yazılımları, genellikle tüm veri ve dosyaların tek bir kaynaktan depolandığından emin olunması için ürün veri yönetim sistemine bağlanır (Kumar ve Midha, 2001; Kropsu-Vehkaper ve ark., 2009). Fiziksel olarak veri tabanları farklı binalarda, şehirlerde ve hatta ülkelerde olabilir. Ürün veri yönetim sisteminin önemi tüm kullanıcılara veriyi doğru zamanda ve doğru yerde sağlamasıdır (Huhtala ve ark., 2012; Merja ve Harri, 2018). Şekil 1.5.'te ürün veri yönetiminin iletişim şekli basitçe gösterilmiştir.



Şekil 1.5. Tek konumda ve çoklu konumlarda veri yönetim sistemi çalışması.

Ürün veri yönetim sistemlerinin fonksiyonlarını şu şekilde tanımlamak mümkündür (Mesihovic ve ark., 2004):

- Veri kasası ve doküman yönetimi
- İş akışı ve işlemler yönetimi
- Ürün yapısı yönetimi
- Parçaların yönetimi
- Program yönetimi
- İletişim ve bilgilendirme
- Veri transferi
- Veri çevirisi
- Görselleştirme hizmetleri
- Sistem yönetimi

1.3. Ürün Veri Yönetimi ve Sürdürülebilirlik

Sürdürülebilir bir ürün geliştirme ürün yaşam döngüsü içerisindeki tüm döngülere sistematik bir yaklaşımla mümkün olabilir. Bu yaklaşım ürünün fikir aşamasından kullanım dışı kalana kadarki tüm süreçleri kapsar. Sürekli sürdürülebilir ürün geliştirme sistemi firmalara doğaya daha az zarar veren ürünlerin katma değerinin artması sayesinde rekabetçi bir avantaj sağlar. Sürdürülebilir ürün geliştirme yaklaşımı; ürünün tüm yaşam döngüsünde sosyo-ekonomik etkiler içerir ve bu süreçte geleneksel kâr bazlı yaklaşımdan uzak durmak hayati önemdedir. Sürdürülebilir ürün geliştirmenin en temel amacı doğa dostu malzemeler kullanılması ve bunların üretimi sürecinde doğada minimum etki bırakan kaynakların tercih edilmesidir. Bu tür tercihlerin sonucu da doğal kaynakların daha az tüketilmesi ve doğaya daha az emisyon demektir. Kısa zamanda daha temiz bir çevre etkisi yaratırken uzun dönemde sosyo-ekonomik etkiler görülebilir olacaktır (Rihar ve Kusar, 2021).

Ürün yaşam döngüsünün her adımında kaynak kullanımını azaltmak ve ürün verimliliğini arttırmak için bir potansiyel var. Bunu yapmak için 6XRE metodu kullanılır. Yeniden düşün (REthink), onar (REpair), yerine koy (REplace), yeniden kullan, (REuse), azalt (REduce), geri dönüştür (REcycle) (Glišović, 2018; Hapuwatte ve Jawahir, 2019). Tüm bu süreçlerde istenilenin yapılabilmesi için ise verimli bir şekilde faydalı bilgilerin alınıp verilmesi gerekmektedir(Rihar ve Kusar, 2021).

1.4. Ürün Veri Yönetimi Sistemlerinin Önemi ve Literatür Çalışması

Mesihovic ve ark. (2004) mühendislik süreçlerinde ürün veri yönetim sistemlerinin kullanılması ve ürün geliştirme süreçlerinin özellikle büyük projelerde çok uzun ve maliyetli bir süreç olduğu için fazlara bölünmesi gerektiğini vurgulamıştır. Philpotts (1996), mühendislik yazılımlarının gelişmesi ile oluşan ürün veri yığınlarının gittikçe

büyüyeceğini ve bu verilerin oluşturulması, yeniden kullanılması ve transferi noktalarında ürün veri yönetimi sistemlerinin kullanımının öneminde bahsetmiştir. Huhtala ve ark. (2012), ürün veri yönetimi ve ürün yaşam döngüsü yönetiminin birbirinden farklı olduğunu belirtmiş ve ürün veri yönetimi üzerine detaylı bir analiz gerçekleştirmiştir. Merja ve Harri (2017), sac ürün tasarımında ve imalatında oluşan zorlukları ürün veri yönetimi sistemi kullanarak ortadan kaldırmış ve oluşan kalite artımını ortaya koymuşlardır. Kropsu-Vehkaperä ve ark. (2009), ileri teknoloji firmalarında ürün veri yönetimi sistemleri kullanımını somut bir şekilde örneklendirmişleridir. Kumar ve Midha (2001), işbirlikçi ürün geliştirme süreçlerinde ürün veri yönetimi sistemi kullanımı için kalite fonksiyonu tanımı yaparak bu kapsamda bir yaklaşım geliştirmişler ve ürün veri yönetimi seçmek için nelere dikkat edilmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Abdissa, Worku ve Shekar (2018), tekstil imalatı yapan bir firmada ürün geliştirme süreçleri için ürün veri yönetimi sisteminin kullanılmasını incelemiş ve oluşan faydaları ortaya çıkarmışlardır. Scheidel ve ark. (2018) küçük ve orta bütçeli işletmelerde uygulanabilirliği göstermek için üniversite ortamında bir ürün veri yönetimi sistemi uygulaması gerçekleştirdi. Yine Scheidel ve ark. (2017) altı adet ürün veri yönetimi yazılımı arasında karşılaştırma yaparak hangi alanlarda artıları ve eksileri olduğunu tartıştı ve içlerinden biriyle bir uygulama gerçekleştirdi. Staish ve ark. (2012) ürün veri yönetimini, ürün yaşam döngüsünün temeli olarak gördü ve inceledi. Nallusamy ve ark. (2015) yeni ürün geliştirme süreçlerinde, ürün veri yönetimi sistemlerine neden ihtiyaç duyulduğunu inceledi ve bu sistemlerin katkılarını belirledi. Haas ve ark. (2016) bir imalat süreci için ürün veri yönetiminin yeri ve konumunu inceledi. Ovtcharova (2010) sanal mühendislik kavramı içerisinde ürün veri sistemi yönetiminin görevini ve konumunu belirledi. Gmelin ve Seuring (2014), sürdürülebilir bir yeni ürün geliştirme döngüsü için ürün veri yönetimi sistemlerinin olmazsa olmaz bileşenler olduğunu vurguladı. Tao ve Qi (2019), bilgi teknolojiler tabanlı akıllı üretim

teknolojileri perspektifinden ürün veri yönetiminin konumunu belirtti. Kim ve ark. (2001), ürün veri yönetimi için var olan standartları ve bu standartlar çerçevesinde nasıl bir ürün veri yönetimi sistemi kurulması gerektiğini inceledi. Do (2014), sadece imalat için değil aynı zamanda teknik hizmetlerin kalitesini de arttırmak için ürün veri yönetimi sistemlerinin kurulması ve uygulanmasının gerekliliğini anlattı. Jin ve ark. (2014), tarım makinaları sektöründe bir ürün veri yönetimi sistemi uygulayarak verimliliğe etkilerini inceledi. Han ve ark. (2017) ürün yaşam döngüsü içerisinde mühendislik verilerinin oluşturulması ve yönetilmesi kapsamında ürün veri yönetimini inceledi. Danjou ve ark. (2017), bilgisayarla bütünleşik imalat kapsamında bir imalat işlemi yapmak için gerekli adımları ve bunlar için ürün veri yönetiminin gerekliliğini ve konumunu vurguladı. Do (2017), katmanlı imalat teknolojileri ile imalat yapma sırasında ürün veri yönetimi sisteminde faydalandı.

Endüstri 4.0 yaklaşımını tamamlayan bir parça da ilişkisel verilerin tutarlı ve tamamlayıcı bir şekilde kullanımınıdır. Endüstri 4.0 kavramında, firmaların ürün merkezli verinin kullanılması ve analiz edilmesi ile verilerin detaylarını kullanmasını sağlamak gereklidir. Bu ürün merkezli veri ürünün karmaşıklık seviyesini belirten ilişkisel verileri de içeriyor olabilir. Ürün verilerinin karmaşıklık seviyesi; ürünü oluşturan elamanların çeşitliliği, çokluğu ve birbirileri arasındaki ilişkisini ifade etmektedir (Schuh ve ark., 2015). CAD, CAM, CAE ve CIM sistemleri ve onların ürün verisi oluşturma ve değiştirmedeki hızı geleneksel sistemlerin bu verileri yönetmesini ve bu verilerin yeniden kullanılmasını zorlaştırdı. Kullanıcılar çok hızlı bir şekilde ürünle ilişkili veri yığınlarını oluşturabilmektedirler. Daha da karmaşıklık yaratan kısmı ise sıklıkla bu oluşan veriler farklı formatlarda, farklı sistemlerde ve farklı konumlarda depolanmaktadır (Philpotts, 1996).

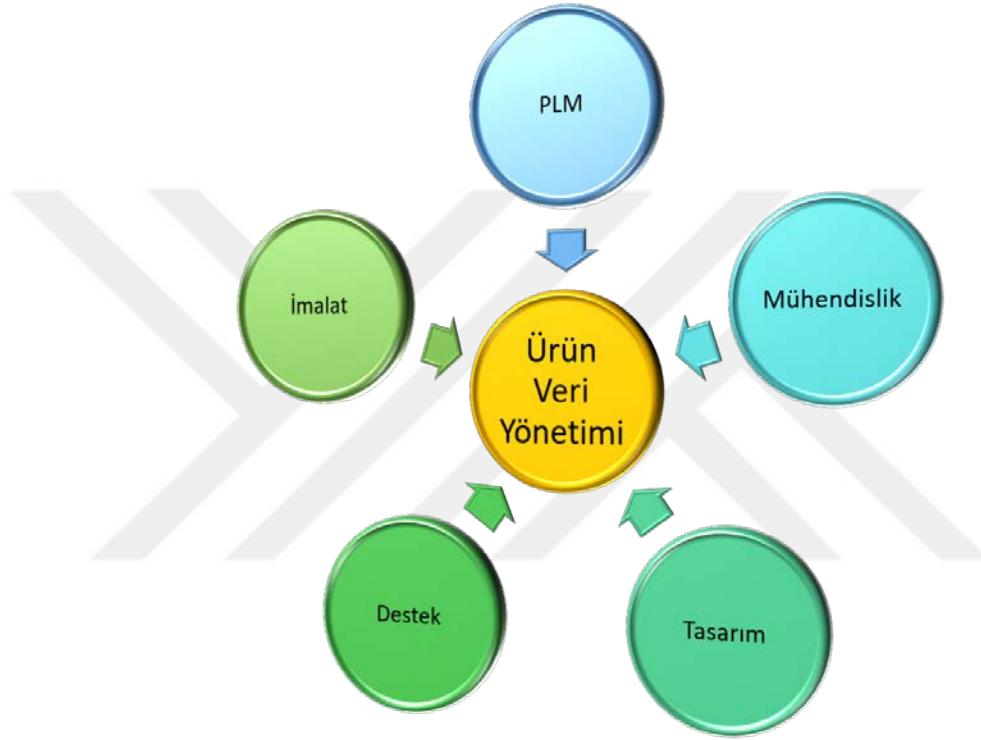
Mühendislik aktivitesi, analiz ve tasarım araçlarını kullanarak problem çözme ile ilişkilidir (Sheppard ve ark., 2006). Sektörde görev alan makine mühendislerinin en

kritik ve en zor görevlerinden biri makine imalatı tasarım sürecinin ekstra yüklerle sebep olmadan en verimli ve ekonomik şekilde tasarlanması (Wellcome, 1950) olduğu düşünülerek ve ülkemizin de Endüstri 4.0 noktasında hem özel sektör hem de devlet nezdinde atılımlar hedeflediğini göz önünde bulundurarak ürün geliştirme süreçlerindeki kayıpların azaltılması üzerine çalışmak gerektiği düşünülmüştür. Bu konuda ülkemizde yapılan çalışmalar henüz büyüme aşamasında olduğu için bu yüksek lisans tez çalışmasında farklı disiplinlerdeki mühendislerin birbirleriyle tam entegre olarak ürün geliştirmelerinin sağlanması sadece bir firma için değil aynı zamanda ülkemizin Endüstri 4.0 vizyonu için de katkı sağlayacaktır.

1.4.1. Duvarın üstünden kavramı ve ürün veri yönetimi

“Duvarın üstünden” (over the wall) kavramı bölümler arasında karşılıklı etkileşimin veya veri paylaşımının olmadığı durumlardır. Ürün veri yönetim sistemlerinin başarılı bir şekilde devreye alınması kontrol edilen iş akışı, doğru ve güncel verinin paylaşılmasını arttırarak ürün geliştirme süreçlerindeki “Duvarın üstünden” senaryolarını azaltır. Organizasyonun farklı birimleri dâhilinde ürün geliştirme sürecindeki verilerin sayısallaştırılması ile başarılı bir otomasyon devreye alınır. Aynı ayrı birimlerin otomasyonunun fayda alması için ise, işletme kapsamında otomasyon edilen süreçlerin ürün modelinin tüm, kapsamlı ve şüpheye yer vermeyen bir şekilde içinde bulunduğu bir veri tabanı ile entegre olması gerekmektedir. Bu bizi bilgisayarla bütünleşik imalata ulaştıracaktır. Bilgisayarla bütünleşik imalat kurum içindeki tüm ürün geliştirme süreçlerinin optimize edilmesini amaçlayan bir stratejidir. Bilgisayarla bütünleşik imalat tüm ürünle ilişkili bilginin kısımlar arasındaki akışını kolaylaştırır ve bu verinin kusursuzca özellikle tasarım ve imalata odaklanarak dolaşmasını sağlar. Araştırmalar göstermektedir ki ürün veri yönetim sistemleri, işletme boyunca dolaşan bilginin akışını ve kalitesini arttırmak için olması gereken entegre bilgi altyapısı için bir çözüm veya

sağlayıcı olarak düşünülmektedir. Bu da bilgisayarla bütünleşik imalat için gereklidir. Bu, özellikle karmaşık ürünler tasarlayan ve üreten imalat işletmeleri için önemlidir. Buralarda ürün veri yönetim sistemleri tüm ürün yaşam döngüsündeki yüksek hacimli bilgilerin verimli bir şekilde yönetilmesine yardımcı olur (Nallusamy ve ark., 2015). Şekil 1.6'da ürün veri yönetimi ile firmadaki imalatla ilgili veri kaynak ve toplayıcıları arasındaki ilişki görselleştirilmiştir.



Şekil 1.6. Ürün veri yönetiminin yeri

İmalata için tasarım yaparken tasarımcıların ne tür makinaların kullanılacağını bilmesi beklenir. Ana fikir tasarım ve imalat birimlerinin entegre çalışmasıdır. Bu nedenle entegrasyonun odaklandığı nokta ürün ve üretimdir. Bir geleneksel yaklaşım ise imalat süreçleri sırasında hiçbir tasarım değişikliği olmadığını varsaymaktadır. Halbuki

zamandan maliyetlerden kâr etmek için tasarım süreçlerinin erken aşamalarınca değişiklikleri belirlemek gerekir (Dereli ve Filiz, 2002).

1.4.2 Eş zamanlı mühendislik kavramı

Pek çok projede müşterilerin beklentileri birbirinden tamamen farklıdır ancak pek çoğunda da birbirini tekrar eden veya benzer bileşenler içerir. Projenin tamamına bakıldığında ise tasarım süreci projenin geri kalanına göre daha hızlı halledilmesi gerekir. Bu sorunu çözmek için mühendisler daha önceden kullandıkları projelerden faydalanmaktadırlar (Han ve ark., 2017).

Endüstrideki firmalar eş zamanlı mühendisliği devreye alarak daha iyi, daha ucuz ve daha hızlı ürünler üretmeyi hedeflemektedirler. Eş zamanlı mühendislik ürün geliştirmede paralel çalışma ile ürün teslim zamanını kısaltan, kaliteyi arttıran ve maliyetleri düşüren ve genel olarak da geliştirme ve operasyonel maliyetleri azaltan bir yaklaşımdır. Eş zamanlı mühendislik; ana tedarikçiler ve müşteriler başta olmak üzere tüm katılımcıların bulunması, farklı işlerde ve durumlardaki kişilerin tam entegrasyonu ve projeye katkısı olan herkesin mümkün oldukça çok aktiviteye tam katılımı ile mümkün kılınır. Karmaşık ürünlerin tasarımında ve üretiminde olan pek çok değişken hedefte yönetime yardım eder. Geçmişte pek çok firma paralel çalışma yerine sıralı çalışmayı tercih etmekte bu da uzun teslimat süreleri ve maliyetli ürünleri beraberinde getirmekteydi. Düşük karlılıkla sonuçlanan bu durumun en temel sebepleri ise yüksek oranda hurda ve yeniden çalışma, var olan yeteneklerin ve teknolojinin verimsiz kullanılmasıydı. Eş zamanlı mühendislik temelde ürün geliştirme ekibindeki tüm üyeler arasında paylaşılabilen ürün ve üretim süreçlerine ait olan bilginin tam ve kapsamlı bir şekilde anlaşılmasıyla oluşan bütünleşmiş ve eş zamanlı bir süreçtir. Sonuç olarak eş zamanlı mühendislik yüksek oranda heterojen ortamlarla uğraşır. Bu tür ortamlarda doğru karar verme için aşağıdan ve yukarıdan gelen girdilerin gözden geçirilmesini

sağlayan çift yönlü bilginin akışı önemlidir. Geleneksel kâğıt üzerinden veri yönetimi veya tekil bilgisayarlar bozuk iletişime, veri kaybına ve yanlış gelişmeye sebep olabilir. Özellikle bilgi teknolojileri, havacılık, elektronik ve bilgisayar endüstrisi gibi karmaşık ürünlerle uğraşan endüstrilerde eş zamanlı mühendisliğin güvenilir bir iletişim alt yapısına ihtiyacı vardır. Ürün veri yönetim sistemleri eş zamanlı mühendisliğin uygulanmasını sağlayan araç olarak tanımlanmaktadır (Nallusamy ve ark., 2015; Staisch ve ark., 2012).

Özellikle COVID-19 salgınından sonra firmaların çalışanlarının yakın temasını önlemek için aldığı sosyal mesafe tedbirleri eş zamanlı mühendislik yaklaşımını da etkilemiştir. Geleneksel olarak bu yaklaşım kullanıcıların aynı bina içerisinde farklı birimlerde olduğunu varsayıyordu. Günümüzde eş zamanlı mühendislik süreçlerinin gerçekleştirilmesi için sadece fiziksel sunucular değil sanal sunucular; sadece fiziki toplantılar değil, sanal toplantılar da yapılmak zorunda kalmıştır (Wilson ve Berquand, 2020).

1.4.3. İş birlikçi ürün geliştirme

Birimler ve şirketler arasındaki işbirliği, sürdürülebilir bir yeni ürün geliştirme sürecinde en iyi çözüme ulaşmak için seçenekler arasında tanımlama yapmaya ve sonucu ölçmeye yardımcı olur (Klassen ve Vachon, 2003). Sonuç olarak işbirliği ürünlerin iyileştirilmesi, döngü zamanlarının kısaltılması ve maliyetlerin düşürülmesi için önemli olsa da; firmalar, eksik iletişimden veya işlemlerin uyumunun eksik olmasından kaynaklı olarak işbirliğine katkı sağlamada başarısız olmaktadır (Johnson ve ark., 2010; Barratt, 2004).

İşbirlikçi bir ortamda araçlar, birlikte çalışma standartları, yapılar vs. iyi bir şekilde koordine edilmelidir ki bariyerler işbirliğini engellemesin (Heuer, 2011). Ürün geliştirme projeleri, geliştiricileri destekleyen veri sunuşu ve uygulama adımlarını belirleyen ve hatta belirli noktalarda sınırlandıran uygulamalarla bağlantılıdır. Bir işbirliği, teknoloji ve organize edilmiş bir iş akışıyla bağlantılıdır. Bu sebeple katılımcı ortaklar bu gereklilikler ve ilgili iş akışları çerçevesinde organize olmalıdırlar (Johnson ve ark., 2010; Cooper ve ark., 1997). Bu kapsamda, geliştirme ekibindeki herkesin kendi rollerini detaylı bir şekilde bilmesi iş birliğinin oluşması ve bariyerlerin ortadan kalması için gereklidir. Bariyerler içe dönüklüğe sebep olur. Bu da sonuç olarak yeni ürün geliştirme süreçlerini sekteye uğrattır. Sürdürülebilir bir ürün geliştirme yaklaşımına ve rekabet avantajına sahip olabilmek için yapılacak ilk adım olarak firmalar kendilerini içe kapatan noktaların üstesinden gelmeli ve ürün veya işlem temelli bir yaklaşım benimsemeli (Zhang, 2011; Chen ve Paulraj,2004; Gmeling ve Seuring; 2014).

1.4.4. Ürün veri yönetimi sistemlerine ihtiyacın ortaya çıkma sebebi

Aşağıda belirtilen ve bu gün de imalat sektöründeki karşılaşılan durumlar ürün veri yönetimi ihtiyacının oluşmasına katkı sağlamıştır.

1. Günümüzde sofistike CAD sistemlerinin tasarım süreçlerinde kullanımının artmasıyla işletmelerin artık iki tür arşivleri oluşmaktadır: Kağıt tabanlı ve dijital elektronik tabanlı. Hâlihazırda firmaların %60 ile %70 arasındaki kısmı verilerini kağıt olarak saklamaktan kurtulamamaktalar. Bu durum geleneksel veri depolarının günümüzdeki veri yığınlarını saklayamayacak olmasıyla ve saklanmayan veya verimsiz saklanan verilerin kullanılmasındaki güçlüklerle daha kötü bir hal almaktadır. Günümüzde kâğıt tabanlı ve elektronik tabanlı veri tabanlarını yönetmek ve bunlar arasındaki geçişi sağlamak endüstrinin en büyük zorluklarından biridir.

2. İmalat işlemlerini destekleyen bilgisayar sistemlerinin karmaşıklığı karar vermeyi desteklemek için işlenen ürün veri hacmiyle doğrudan ilişkili olabilir. Firmanın farklı birimlerinde bulunan ürün verilerinin geniş bir şekilde kullanımını için birden fazla bilgisayar sisteminin entegrasyonu gereklidir. Bu özellikle önemlidir çünkü farklı alanlarda çok yaygın olarak ticari yazılımların kullanılması yönetilemez bilgisayar sistemlerinin ve ürün verilerinin ortaya çıkmasına da sebep olabilmektedir.
3. Her uygulama kendisine özgü bir ürün yönetimi fonksiyonuna sahip. Bu da parçanın farklı farklı ifade edilmesine sebep olan farklı ürün yapıları, formatları ve tanımlamalarının oluşmasına neden olur. Var olan aynı ürüne ait verilerin farklı görselleştirilmesi hangi birimin hangi tür veriye ihtiyacı varsa bunu görebilmesi açısından önemlidir. Örneğin, bir ürün, ürün geliştirme sürecinde olsun, bu birimle ilgili gerekliliklerin bulunması gelen verilerde düzenlemeye gerek kalmadan ve zaman harcamadan sağlanacaktır. Bu tür bir görselleştirme birden fazla dosya görselleştirme özelliği ile sağlanabilecektir (Hoffman ve Joan-Arinyo, 1998; Nallusamy ve ark., 2015).

1.4.5. Ürün veri yönetimi sistemleri ile fayda sağlayan firmalar

Ürün veri yönetim sistemleri ile firmaların faaliyet alanlarına göre değişiklik göstermekle birlikte fayda sağladığı örnekler yukarıda bahsedilen akademik ortamdan daha da fazla olarak ticari ortamlarda bulunmaktadır. Özellikle ticari faydaların gözler önüne serilmesi bu sistemin uygulanmasının önemini daha da fazla ortaya koyacaktır. Aşağıdaki Tablo 1.2.'de dünya çapında bazı firmaların endüstrileri ve sağladıkları fayda belirtilmiştir.

Tablo 1.2. Ürün veri yönetim sistemi kullanarak firmaların sağladığı faydalar.

Firma Adı	Faaliyet Alanı	Firmanın Kritik İş Sorunu	Oluşan Fayda
3D Platform	3 Boyutlu Yazıcı İmalatı	Ticari seviyede büyük formatlı 3 boyutlu yazıcılar üreterek piyasada tutunmak	Tasarım döngüsünü %80 kısaltma Mühendislik verilerini daha geniş paylaşma Arttırılmış 3B yazıcı performansı
Altwork	Tüketici Ürünleri	Kullanıcıların farklı postürlerde bilgisayarlarıyla çalışmalarını sağlayabilecek bir donanım tasarlayıp, geliştirip, üretilip piyasaya sürmek.	Çok postürlü iş istasyonu tasarlandı İmalat tedarikçileriyle gelişmiş iletişim Danışman partnerlerle verimli iletişim Montajların verimli bir şekilde yönetilmesi sağlandı.
Arcimoto	Elektrikli Araç	Verimlilik, sürüş kabiliyeti ve performans açısından yenilikçi bir elektrikli araç tasarım sürecini kusursuzlaştırmak.	İlk eğlence kullanımı aracı piyasaya sürüldü. Araç ağırlığı yaklaşık %40 azaltıldı. Sac levhadan oluşan şase yenileştirildi. Şase ve komponentlerin üretilebilirliği arttırıldı.
Astra Rail	Raylı Sistem Araçları	Vagon geliştirilme süreçlerinin hızlandırılması ve bu süreçte maliyetlerin azaltılması, taşıma kapasitelerinin arttırılması, kalitenin arttırılması.	Geliştirme süreleri %30-%35 oranında azaldı Prototip imalatı – test döngüsü %30 - %40 oranında azaldı. Araç ağırlıkları %10 - %20 oranında azaldı.
Centrion Systems LTD.	Geçiş Kontrol Sistemleri	Sürekli gelişmeyi, verimliliği arttırmayı ve yenilikçiliği sağlayarak geçiş otomasyon sistemleri sektöründe büyümek	Ürünlerin piyasaya sürülme süresi %66 kısaldı. Tasarım döngüsü %50 azaldı.

Tablo 1.2. (Devam) Ürün veri yönetim sistemi kullanarak firmaların sağladığı faydalar.

Consolidated Engineering Company	Endüstri. Döküm Fırınları	Boşluk sorunlarını ortadan kaldırarak ve imalat aşamasında hurda ve yeniden işlem miktarını azaltarak özel endüstriyel döküm fırınları ve su verme sistemlerinin iyileştirilmesi	İş akışı geliştirmeleri otomatikleştirildi. Ürün performansını arttırmak için akışlar optimize edildi. Hurda ve yeniden işlem miktarı azaltıldı. Mühendislik teknik resimlerinin kalitesi artırıldı.
Dddrop	3 Boyutlu Yazıcı İmalatı	Mühendislerin tam olarak ihtiyaçlarını çözecek 3 boyutlu yazıcılar geliştirmek için müşterilerin beklentilerini kullanmak.	Geliştirme döngüsü yarıya düşürüldü. Prototip sayısı düşürüldü. Yazıcı satış rakamları bir yılda 3'e katlandı. Elektrik ve mekanik tasarımları paralel bir şekilde gerçekleşti.
Hidrolika Kurelja D. O. O.	Araç Üstü Ekipman İmalatı	Yeni araç üstü ekipmanları tasarlamak için tasarım süreçlerini yenilikçi bir şekilde geliştirip hızlandırmak.	Prototip gerekliliği %30 azlatıldı. Yeni hidrolik sistemlerin detay seviyesi arttı. Tasarım doğruluğu ve kalitesi arttı.
J&J Design	Yat İmalatı	Önde gelen yat imalatı firmalarıyla yakın çalışma içerisine girerek bu sektörde gelişmek.	Tasarım – imalat döngüsü kısaldı. Tasarım hataları ve yanlışlıkları ortadan kaldırıldı. Elektrik tasarımları için revizyon kontrolleri geliştirildi.
Markeforges	3 Boyutlu Yazıcı İmalatı	Yüksek kalitede ve güçlü ürünleri standart metal parçalardan daha düşük maliyetli üreten sürekli karbon fiber baskı teknolojisini geliştirerek 3 boyutlu yazıcı imalatında gelişmek.	Büyük müşterilerin ürün veri yönetimi ile doğrudan entegre olundu. Sürekli 3 boyutlu karbon fiber baskı teknolojisi geliştirildi. Donanım geliştirme sürecini 6 aydan daha fazla süre azalttı. 3 boyutlu baskı hassasiyetini 50 mikrona kadar düşürdü. İlk 4 yılda devasa bir büyüme gerçekleşti.
Kotapack	Paketleme Sistemi İmalatı	Zaman tasarrufu sağlamak, doğruluğu arttırmak ve işletme büyümesinde global işbirliğini arttırmak için tasarım ve imalat süreçlerini optimize etmek.	Teslim süreleri 2 haftaya kadar düştü. Verimlilik iki katına çıktı. Revizyon kontrolleri hassaslaştırıldı. Tasarım doğruluğu ve ürün kalitesi artırıldı.

2. MATERYAL/YÖNTEM

2.1 Kullanılan Materyaller

Son elli yıldır imalat sektöründe pek çok değişiklik gözlemlenmiştir. Bu gelişmeler sadece metotların değil aynı zamanda gelişen teknolojilerin de sonucudur. Hızla gelişen bu süreçte imalatçılar üç sacayağı olan maliyet, zaman ve kaliteyi iyileştirerek ürünlerini geliştirmelidirler. En temelde amaç doğru ürünü, tek seferde ve süreçleri azaltarak imal etmektir (Danjou ve ark., 2017). Bilgi teknolojileri endüstri için çok önemli hale gelmiştir. Bilgi akış süresi de bununla beraber önemli olmuştur. Doğru bir veri akışı tüm prosesleri kısaltır. Endüstrideki bilgisayarlaşmanın bir diğer neticesi de firmaların veri madenciliği, proses görselleştiresi gibi tüm performansı arttıracak yeni yöntemleri deneme şansı bulmalarıdır (Polinska ve Kawa, 2015; Hufnagel ve Vogel-Heuser, 2015).

Firmanın yaptığı imalata, personel sayısına, iş akışı yapısına ve hâlihazırda bulunan bilgisayar destekli yazılım programlarına göre donanım ve yazılım seçimi yapılmaktadır.

2.1.1 Kullanılan yazılım materyalleri

Endüstride pek çok yazılım bulunmakla birlikte Solidworks yazılımı hem yaygınlığı hem de elektrik, mekanik tasarımlarını entegre sunması sebebiyle bu çalışmada tercih edilmiştir. Buna ek olarak entegre analiz araçlarının varlığı mühendislik süreçleri açısından kolaylık sağlayacağı düşünülmüştür. Oluşturulan verilerin bir sistematik içerisinde kaydedilmesi ve yönetilmesi için yapısal sorgulama dili yazılımına (SQL) ihtiyaç bulunmaktadır. Veri tabanları veriyi modelleme ilişkileri için standart çözüm

sunarlar (Schuh ve ark., 2018). En yaygın kullanılan SQL yazılımı ve Solidworks ile birlikte uyumlu çalışması için Microsoft SQL tercih edilmiştir. Mühendislik süreçleri için verilerin transfer edilmesi, incelenmesi gibi konularda genel ofis yazılımları kullanılmıştır. Her ne kadar Solidworks Ürün Veri Yönetimi yazılımı tüm yazılım türlerini desteklese de burada Microsoft Office yazılımları tercih edilmiştir.

Tüm bu yazılımların birbiriyle uyumlu çalışabilmesi için doğru sürümlerin seçilmesi çok önemlidir. Bunun için Solidworks'ün internet sayfasından en uygun sürümler seçilmiştir. Bunun yanında kullanıcılar için Windows 10 64bit, sunucu için ise Windows Server 2016 işletim sistemleri seçilmiştir. Microsoft SQL programının ise 2014 yılında çıkan versiyonu kullanılmıştır. Tüm yazılımlar lisanlı olarak entegre edilmiştir.

2.1.2. Kullanılan fiziksel materyaller

Bir firmada kurulum yapmak için sunucu sisteminden başlamak gerekmektedir. Bir adet sunucu bilgisayar ve bu sunucudan verileri çekecek istemcilerde ihtiyaç duyulmaktadır. Mühendislik verileri bu istemcilerde oluşturulup sunucuda depolanmaktadır. Oluşturulan verileri düzenlemese bile, görüntüleme için kullanılacak ekranlar da imalat hattında bulundurulmak istenmiştir. Bu sayede yazılı teknik resimler yerine bilgisayar ortamında 3 boyutlu ölçülendirilmiş imalat verileri görmek mümkün olabilmektedir. Buna ek olarak imalattaki karışıklığını azaltmaya yardımcı olmuştur.

2.2. Ürün Veri Yönetim Sistemi Uygulaması

2.2.1 Ön hazırlıklar

Genelde firmaların yeni bir sisteme geçme gereksinimi birçok farklı tasarım mühendisinin hem aynı ürünü birlikte tasarlamalarından hem de birbirine benzer

ürünleri tasarlasalar dahi her şeyi sıfırdan başlamaları gerekmesi sebebiyle ortaya çıkmıştır. Bu sadece tasarım verilerinin yönetim zorluğunu değil aynı zamanda satın alma birimini de sipariş çekerken hangi ürünün hangi parçasının siparişi verileceği gibi konularda pek çok farklı birimi de yavaşlatmaktaydı. Bu sebeple öncelikle süreçten etkilenen ve ürün veri yönetim sistemine dâhil olacak birimlerin listesi yapılmıştır.

Etkilenecek birimlerde birlikte tasarım süreçleri nedeniyle, mekanik ve elektriksel tasarım birimleri, en başta yer almıştır. Bu verileri takip ederek imalatı sürdürmek ve güncel verileri takip edip tezgâhlarda doğru parçayı işlemek ve doğru parçaları doğru şekilde montajlamak için imalat birimi ikinci sırada yer almaktadır. Yine aynı dokümanlarla kalite kontrol işlemlerini yapacak olan kalite kontrol birimi de bu aşamada değerlendirilebilir. Oluşacak malzeme listesini temel alarak satın alma emirleri verecek ve stok kontrolünü yapacak ekipler de göz önünde bulundurulmalıdır. Tüm bu süreçlerde kontrolü sağlamak ve onay süreçlerini doğru şekillendirmek için yönetim birimi her noktada etkilenmektedir ve sürece dâhil edilmelidir. Tüm bu kıstaslar çalışmada dikkate alınmıştır. Sisteme katkı sağlaması gereken birimler Şekil 2.1’de belirtilmiştir.



Şekil 2.1. Ürün veri yönetimine katkı sağlaması gereken birimler.

2.2.2. Ürün veri yönetim sistemlerinin entegrasyonu

Ürün veri yönetim sistemleri yardımı ile geliştirilen her etkinlik işlemleri yöneten bir iş akışı gerektirir. Bir iş akışı yatayda ve dikeyde konumlandırılmış seri, paralel veya bağımsız işlemlerden oluşan sıralı aktivitelerden oluşur (Chirkin ve Kovalchuk, 2014). İş akışı sırasında görevlerin ve gerekliliklerin tanımlanacağı bir adım, tasarım sürecinin yapılacağı bir adım, onaylanma veya gerekli düzenlemelerin yapılması için yönlendirme yapılacak bir adım, imalat işlemleri için bir adım bulunmalıdır (Schützer ve ark., 2017).

Çalışma kısımları, tasarım biriminin durumu ve ihtiyaçları belirlendikten sonra ürün veri yönetimi için düzenlenir. Ürün veri yönetim sistemlerinde takım yönetimi, versiyon ve revizyon, yetkilendirmeler vb. gibi çeşitli temel modüller bulunmaktadır.

Oluşturulan ürün veri yönetim sistemi hızlıca yeni ürün tasarlamak için iş birliği içerisinde çalışılabilecek bir platform sunar (Jin ve ark., 2014).

Tasarım süreci öncesinde ve sonrasında tasarımlarla ilgili teknik resimler ve veri dosyaları ürün veri yönetim sistemine kaydedilir. Aynı sistem imalat hattında da kullanılmalıdır. Bu sayede teknik resimler otomatik olarak imalat hattına aktarılır(Merja ve Harri, 2018).

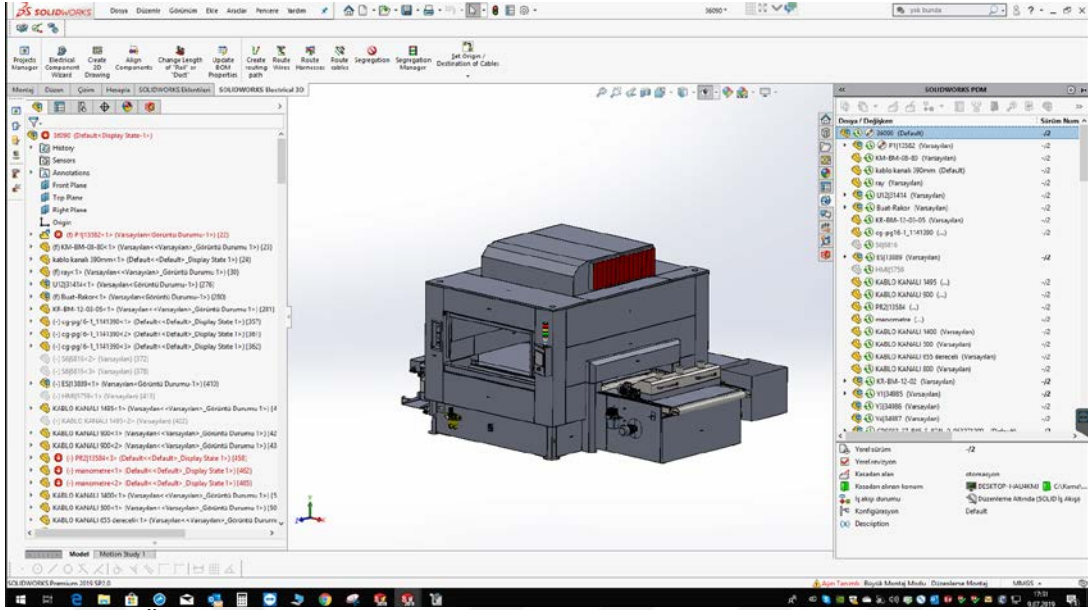
2.3. Ürün Veri Yönetimi Saha Uygulaması

Ahşap boyama makinaları imalatı yapan firma hâlihazırda 3 boyutlu tasarım programı kullanmaktaydı. Ürün veri yönetim sisteminde iş akışları, kullanıcılar ve yetkiler düzenlendikten sonra yapılması gereken işlem olan önceden tasarlanan verilerin bu sisteme entegre edilmesi gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.2.de firmaya ait bir makinanın fotoğrafı bulunmaktadır.



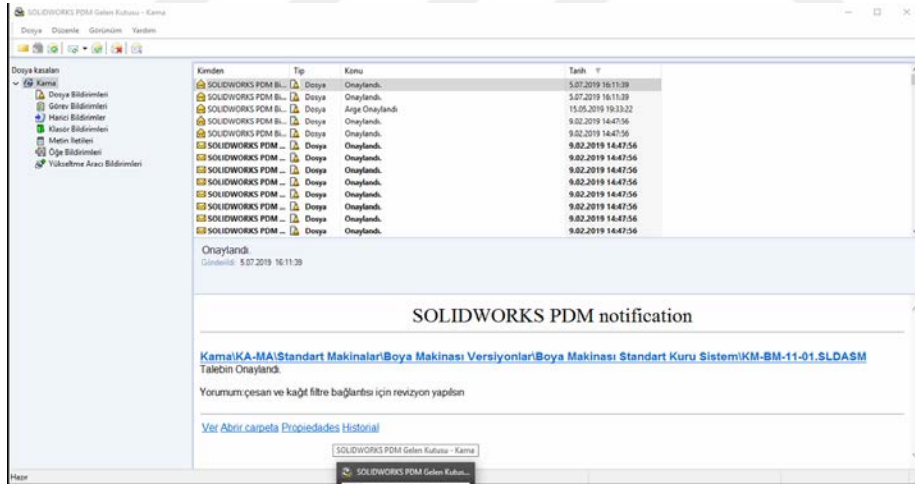
Şekil 2.2. Ahşap boyama makinası.

İlk olarak firmanın personel durumuna göre kullanıcı hesapları ve bu kullanıcıların tasarımlarını uygulayabileceği iş akışları oluşturuldu. Bu iş akışları sayesinde herkesin yetkili olduğu alanda işlemler yapabilmesini sağlayacak şekilde sistem düzenlenmiştir. Şekil 2.3.'te firmanın iş akışlar ve belirlenen gruplar belirtilmiştir.



Şekil 2.4. Ürün veri yönetimi ve bilgisayar destekli tasarım entegrasyonu.

Tüm bu işlemler yapılırken, iş akışlarında belirlendiği şekilde ürünler bir durumdan başka bir duruma gönderildiği zaman; örneğin onaylama işlemi için transfer edildiği zaman yöneticiye; onaylandığı zaman veya onaylanmadığı zaman ise kullanıcılara bilgilendirme postaları yollanması sağlanmıştır.



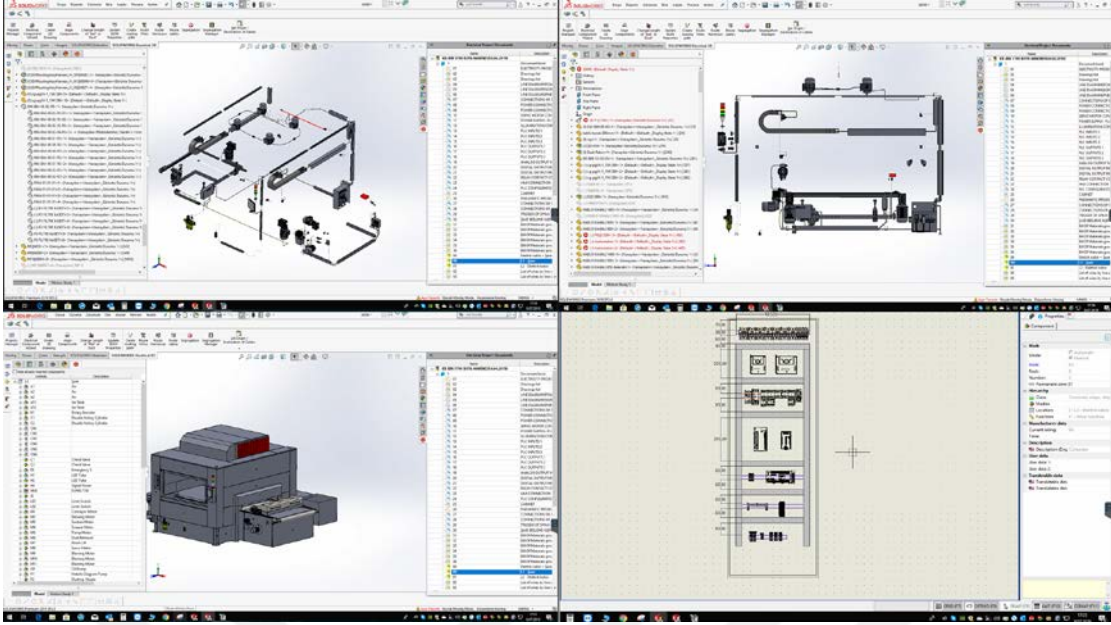
Şekil 2.5. PDM içerisindeki bilgilendirme sistemi.

Bu sayede kullanıcılar hangi işin hangi durumda olduğu konusunda sürekli bilgi alabilir hale gelmiştir. Şekil 2.5.'te posta sistemi belirtilmiştir.

Tüm bu sistem içerisinde elektrik tasarım ve montaj birimi de tüm sisteme dâhil edilmiştir. Elektrik montaj ekibi Şekil 2.6.'da belirtildiği gibi pano montajlarını yapmadan önce tasarımlarını bilgisayar ortamında gerçekleştirmişlerdir. Buna ek olarak makine üzerindeki kablolamalar da mekanik tasarım ekibiyle eş zamanlı çalışmak amacıyla veri yönetimi sisteminde gerçekleştirilmiştir. Hem komponentlerin konumları hem de kabloların uzunlukları ve konumları her iki birim için de bilinir hale gelmiştir. Şekil 2.7.'de elektrik tasarım ekibinin model üzerinden yaptığı kablolamaları belirtilmiştir.

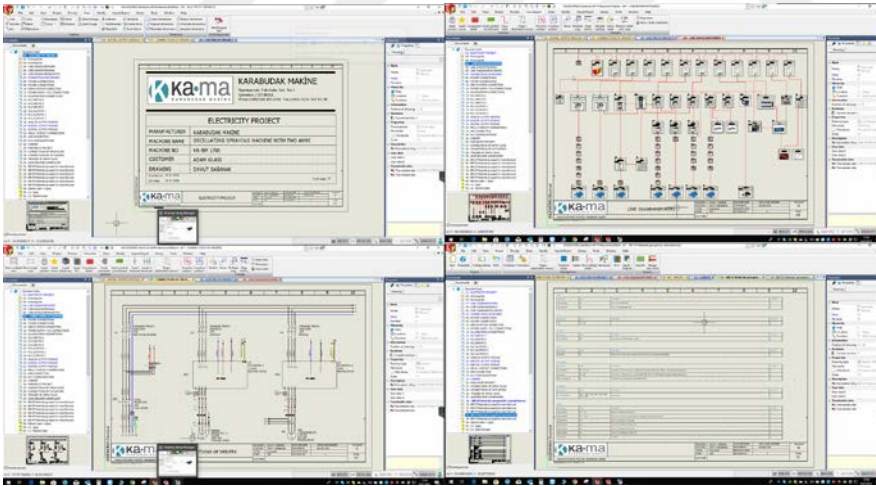


Şekil 2.6. Pano ve şase üzerinde hidrolik/pnömatik montajı



Şekil 2.7. Elektrik tasarım ekibinin model üzerinden tasarımları

Elektrik tasarımcılarının bu sisteme entegre olması için öncelikli olarak kendi alanlarındaki bir yazılımla sistemdeki elektriksel bileşenleri tanımlayacakları ve bunlar arasındaki bağlantıları belirleyebilecekleri bir yazılıma ihtiyaçları vardı.



Şekil 2.8. Elektrik ekibinin montaj ve modelleme öncesi şematik tasarımı

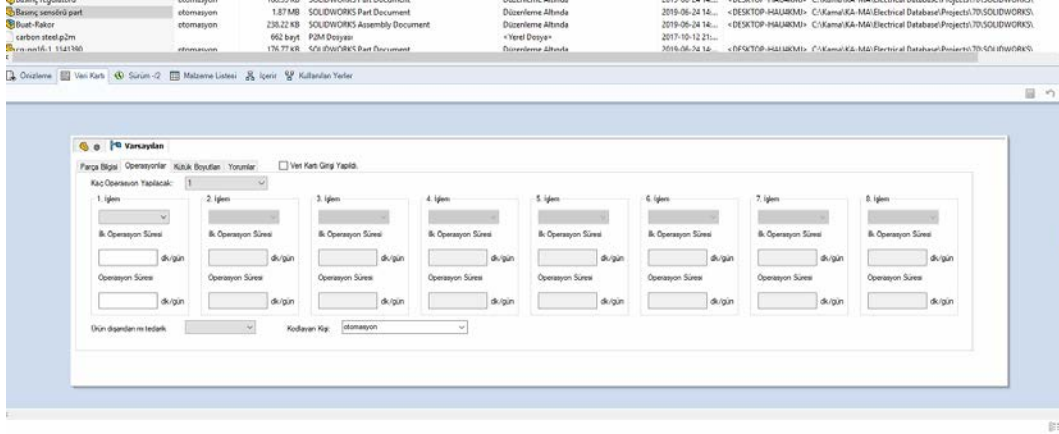
Bu yazılımın kullanılmaya başlanmasıyla birlikte hem bu tasarımlar hatasız bir şekilde gerçekleştirilmiştir hem de kablo boyutları ve diğer bileşenlerin listeleri otomatik olarak alınarak satın alma ve montaj süreçleri için katkı sağlanmıştır. Şekil 2.8.'de elektrik tasarımı programı ve raporları belirtilmiştir.

Tüm bu sistemde oluşturulan veriler sayesinde hem bilgisayar kontrollü tezgâhlarda hem de konvansiyonel tezgâhlarda üretilmek üzere imalat bilgileri içeren resimler artık güncel ve hatasız olarak paylaşılabilir. Şekil 2.9.'da firmanın makine parkurundan bazı tezgahlar gösterilmiştir. Bu tezgahlarda hangi parçanın ne kadar sürede işleneceği ürün veri yönetim sistemi üzerinde veri kartlarında tutularak hem operatörün bilgisine sunulmuştur hem de daha sonra işlem sürelerine göre imalat planlaması yapılması için firmanın kendi geliştirdiği imalat kontrol yazılımına entegre edilerek yönetimsel olarak karar verme mekanizmalarının işi kolaylaştırılmıştır.



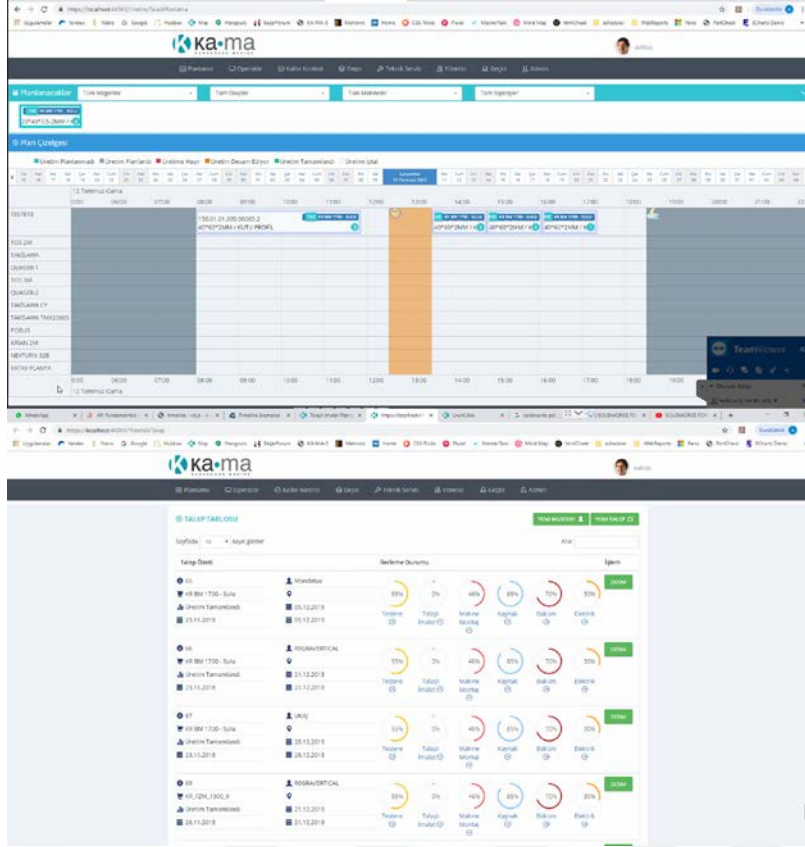
Şekil 2.9. Firma tezgah parkurundaki bazı tezgahlar

Şekil 2.10’da veri kartında bir parçanın imalatı için harcanacak sürelerin tanımlama alanı gösterilmiştir.



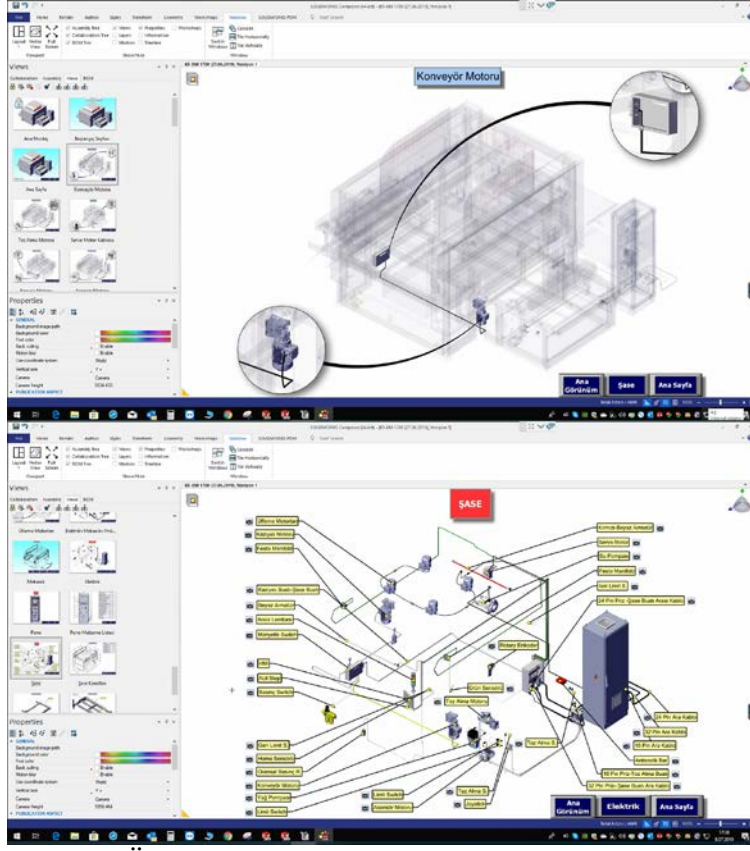
Şekil 2.10. Parça için imalat istasyonlar ve imalat süreleri.

Tüm bu verilerin kullanılması ile firma kendi geliştirdiği üretim yönetimi programı ile hangi istasyonda ne kadar zaman harcanacak; hangi istasyonda dar boğaz oluşacak, hangi üründen ne kadar sipariş edilmeli, hangi personel ne kadar çalışmış, hataların sebepleri gibi pek çok yönetimsel çıktıyı alabilmektedir. Bunun yanı sıra bir projenin ne zaman biteceği, hangi parçanın nerede işlenmesi gerektiği gibi operasyonel bilgiler de elde edilerek imalat optimizasyonu sağlanabilmektedir. Şekil 2.11.’de firmanın bu verileri kullanarak oluşturduğu yönetimsel ekranlar gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Üretim yönetimi programı ve ürün veri yönetimi programı entegrasyonu

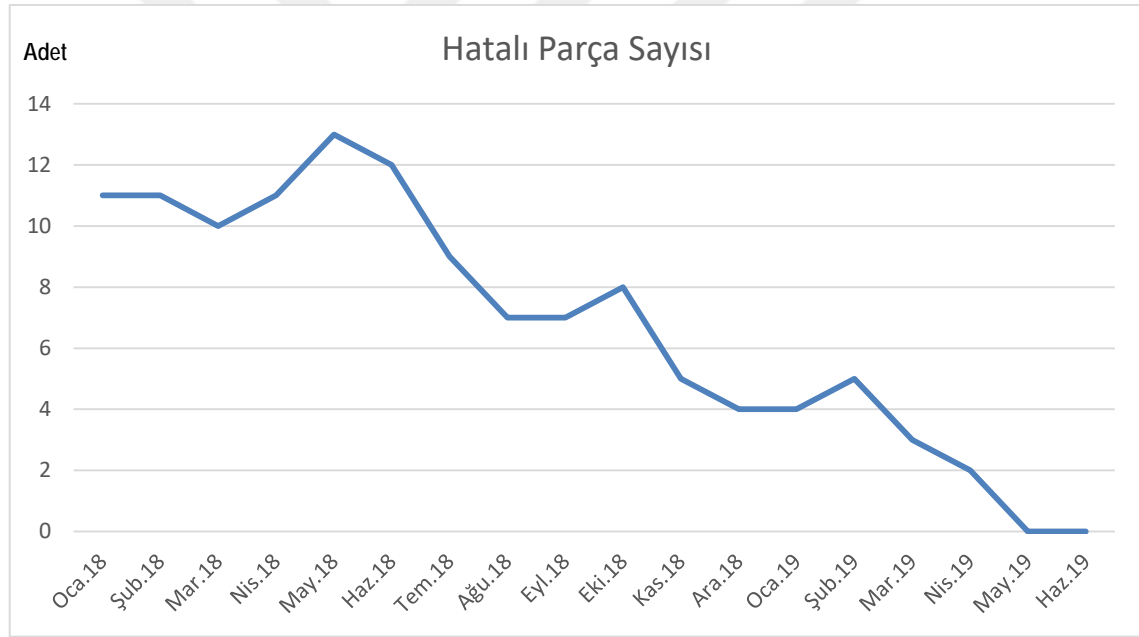
Hem mekanik tasarım, hem elektrik tasarımı, hem yönetim birimleri bu entegrasyon sayesinde aynı anda aynı şeyi görebilmektedirler. Bu ürünlerin firma içerisinde daha anlaşılır hale gelmesini sağlamıştır. Buna ek olarak montaj ekibine hem de teknik servis ekibine bu verimliliği yansıtmak için ürün veri yönetimi sistemi içerisinde montaj şemaları paylaşılmaktadır. Bu montaj şemaları da ürün veri yönetimi içerisinde ve bilgisayar yazılımları ile hazırlandığı için herhangi bir revizyonda otomatik olarak güncellenerek bu birimde de verimlilik maksimum seviyeye çıkarılmıştır. Şekil 2.12.'de hazırlanan teknik dokümantasyonların bazıları bertilmiştir.



Şekil 2.12. Ürün veri yönetimi sistemi üzerinden teknik dokümantasyon.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

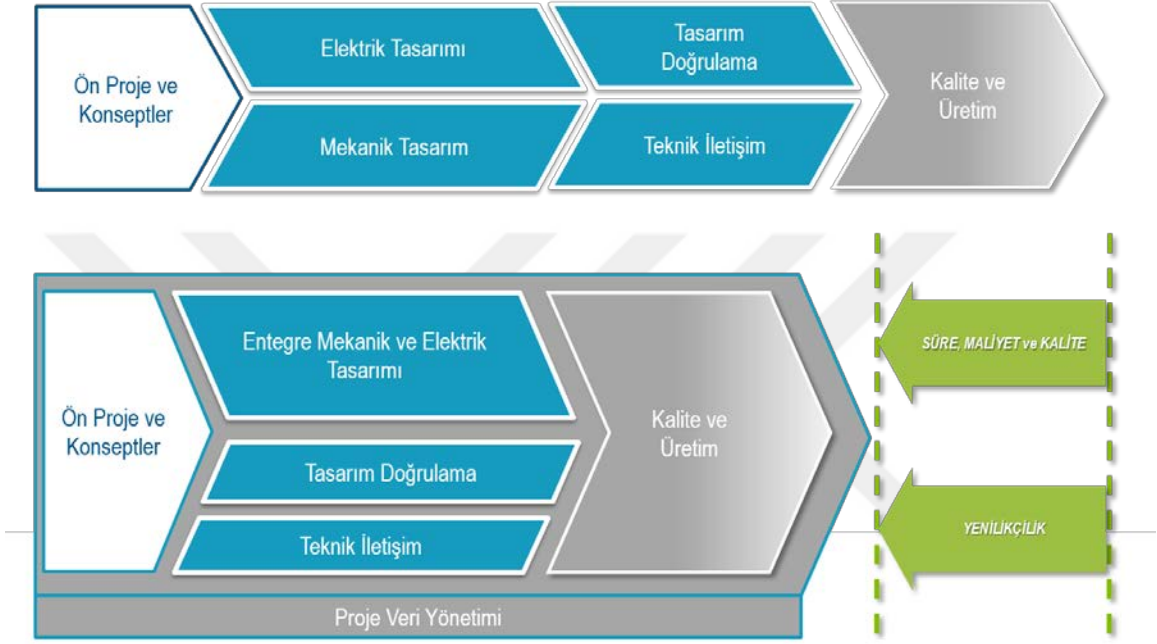
Mesihoviç ve ark. (2004) vurguladığı gibi firmada büyük projeler geliştirildiği için oluşturulan veri tabanı temelli tasarım yaklaşımı sayesinde faydaların gözlemlendiği ilk birim mekanik tasarım oldu. Şekil 2.3.'deki iş akışı sayesinde birbirine bağlı departmanlarda kontrol ve iletişim sağlandığı için tasarım süreçleri Şekil 3.2'de olduğu gibi yapı değiştirmiştir. Bu sayede aynı tasarımı yapan ekip elemanları aynı anda en güncel hali görüp; bir montajın farklı kısımlarında eşzamanlı çalışabildiler. Bu da özellikle imalata giden revizyonlarda hata sayısını Şekil 3.1.'de de belirtildiği gibi gözle görülür şekilde azaltmıştır.



Şekil 3.1. Yanlış revizyondan kaynaklı hatalı parça imalatının aylara göre değişimi

3.1. Ürün Veri Yönetimi Sistemi Entegrasyonu Karşılaştırmaları

Dolayısıyla süreç iyileştirmelerinin karşılığı ilk bu ekipte alındı. Philpotts (1996)'ın belirttiği gibi bu sayede yeni tasarımlar yaparken de var olan veriler ve tasarımlar yeniden kullanılarak süreçte hızlanma sağlandı. Bunun sebebi de hatalı veya mükerrer parça oranının giderek azalmasıdır.



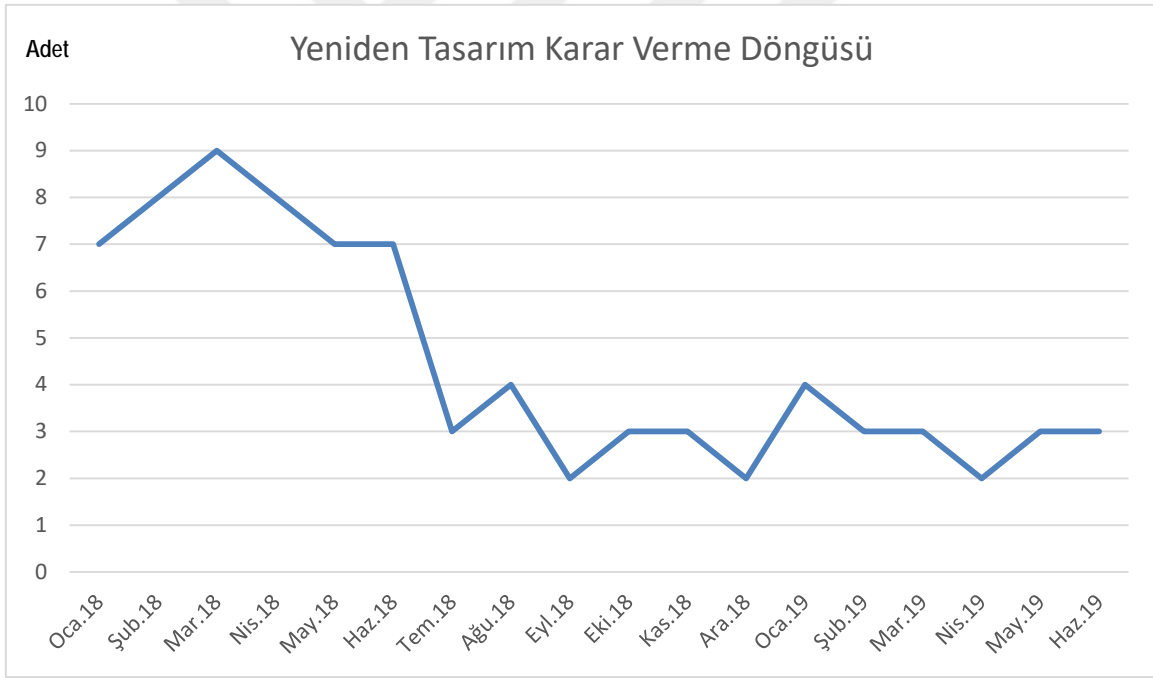
Şekil 3.2. Ürün veri yönetimi sistemi entegrasyonu öncesi ve sonrası tasarım yapısı

Haas ve ark. (2016)'nın da incelediği üzere sadece mekanik tasarım birimi değil aynı zamanda bir ürünü oluşturan ve katkı sağlayan tüm birimlerin anlık etkileşimi karar verme sistemini de hızlandırmıştır. Mekanik birimde yapılacak bir değişikliğin elektrik tasarım biriminde nasıl bir değişiklik gerektireceği anında tespit edilip gerekli düzenlemelerin firma açısından, ürün açısından ve karlılık açısından sonuçları incelenebilmiştir. Bu karar verme sürecinde tasarım yapmayan birimlerin de katılımı

sağlanabilmiştir. Gmelin ve Seuring (2014)'in yaptığı tespitte olduğu gibi sürekli ar-ge yapan bir firmada bu sistemin kullanılması hayati bir önem taşımaktadır.

3.2. Yeni Tasarım Süreçlerinde Karar Verme Döngüsü Sonuçları

Danjou ve ark. (2017)'nin gözlemlendiği gibi ürün veri yönetim sistemi “Materyal ve Yöntemler” kısmında anlatıldığı şekliyle ve imalat yönetim sistemi ile de entegre edilerek imalat hattının içerisine dâhil edilince imalat ekibi sadece ürünün onaylanmış son halini gördüğü için her zaman doğru parça ve doğru ölçülerle imalat gerçekleştirilmiştir. Sadece doğru parça ve ölçüler değil aynı zamanda doğru zamanda imalat yapılması da bu sistem üzerinden takip edilmiştir. Kalite kontrol biriminin yaptığı test ve ölçümlerle de Şekil 3.1.'deki verileri elde edilmiştir.



Şekil 3.3. Yeni tasarım süreçlerinde karar verme döngüsü

3.3. Mühendislik Verileri Yönetimi ile Maliyetlerin Çıkarılması

Ürün veri yönetimi kullanarak fayda sağlayan firmalar tablosunda tespit edilen faydaların hemen hepsi inceleme yaptığımız firma için de sağlanmıştır. Tao ve Qi (2019)'nin incelediği gibi bilgi teknolojileri tabanlı bir imalat hattı kurmak açısından oluşturulan veriler firmanın beklentilerini fazlasıyla karşılamıştır. Özellikle karar verme mekanizmasındaki birimlere gerekli veriler, gerekli formlarda sağlanmıştır. Sorulan sorular ve alınan cevaplar şu şekildedir:

- Herhangi bir iş için var olan bir tasarımı güncellemek veya revize etmek 1 iş/hafta zaman almakta olduğu belirtilmiştir. Bir proje için 30 personel ortalama ve ortalama maaşları 5700 TL brüt üzerinden çalışmaktadır. Aşağıda “İş Akışı 1” olarak isimlendirilecektir.
- Bu işin yanı sıra; tasarım verileri birden fazla bilgisayarda yedeklendiğinden ötürü uygun tasarımı bulmak için 25 dk/parça zaman 70 adet parça için harcanmıştır. Aşağıda “İş Akışı 2” olarak isimlendirilecektir.
- Herhangi bir modelde değişiklik yapıldığında etkilenen başka tasarımlardaki hataları bulup düzeltmek için 20 dk/parça harcanmıştır. 20 adet parçada bu gözlemlenmiştir. Aşağıda “İş Akışı 3” olarak isimlendirilecektir.
- İmalat ekibine güncel verinin gittiğini kontrol eden bir mekanizma olmadığı için hatalı veya yanlış ölçülerde üretilen 11 adet ürünün yaklaşık maliyeti 16500 TL olarak belirtilmiştir. Aşağıda “İş Akışı 4” olarak isimlendirilecektir.
- Elektrik ve mekanik tesisat birimleri arasındaki tasarım süreçlerinin ve elemanlarının onaylanması için geçen süre ortalama 3 gün olarak belirlenmiştir. Aşağıda “İş Akışı 5” olarak isimlendirilecektir.
- Bununla ilgili verilerin doğruluğunu ölçmek için kronometre ile bir adet ürün için işlemler tekrar edilmiştir.

Firmada entegre bir tasarım süreci olmadığı için tüm bu maliyetler alt alta eklenerek toplanarak ortalama bir maliyet hesabı yapılarak Tablo 3.1.'de ifade edilmiştir. Firmada geleneksel yöntemler ve oluşan maliyetler hesaplanırken yönetim biriminden maliyet muhasebesi veriler ve iş geliştirme biriminden işlem süreleri elde edildi. En son yapılan 10 yeni müşteri siparişi üzerinden inceleme yapılarak sınır sağlanmıştır.

Tablo 3.1. Geleneksel yöntemlerle yapılan mühendislik verileri yönetimi ile son 10 projenin ortalama tasarım maliyeti

İş Akışı 1 Maliyeti	İş Akışı 2 Maliyeti	İş Akışı 3 Maliyeti	İş Akışı 4 Maliyeti	İş Akışı 5 Maliyeti	TOPLAM MALİYET
39.900 TL	6888,50 TL	1543,75 TL	16.500 TL	17.100 TL	81.932,25 TL

Bu tespitlerden sonra ürün veri yönetimi sistemi uygulanıp, benzer bir proje için işlem adımları tekrarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- Herhangi bir iş için var olan bir tasarımı güncellemek veya revize etmek 3 gün/iş zaman almakta olduğu belirtilmiştir. Bir proje için 30 personel ortalama ve ortalama maaşları 5700 TL brüt üzerinden çalışmaktadır. Aşağıda “İş Akışı 1” olarak isimlendirilecektir.
- Buradan itibaren tasarım verileri tek bilgisayarda yedeklendiğinden dolayı uygun parçayı bulmak 2 dk/parça sürmektedir. Bir önceki senaryoda olduğu gibi 70 parça üzerinden hesaplama yapılacaktır. Aşağıda “İş Akışı 2” olarak isimlendirilecektir.

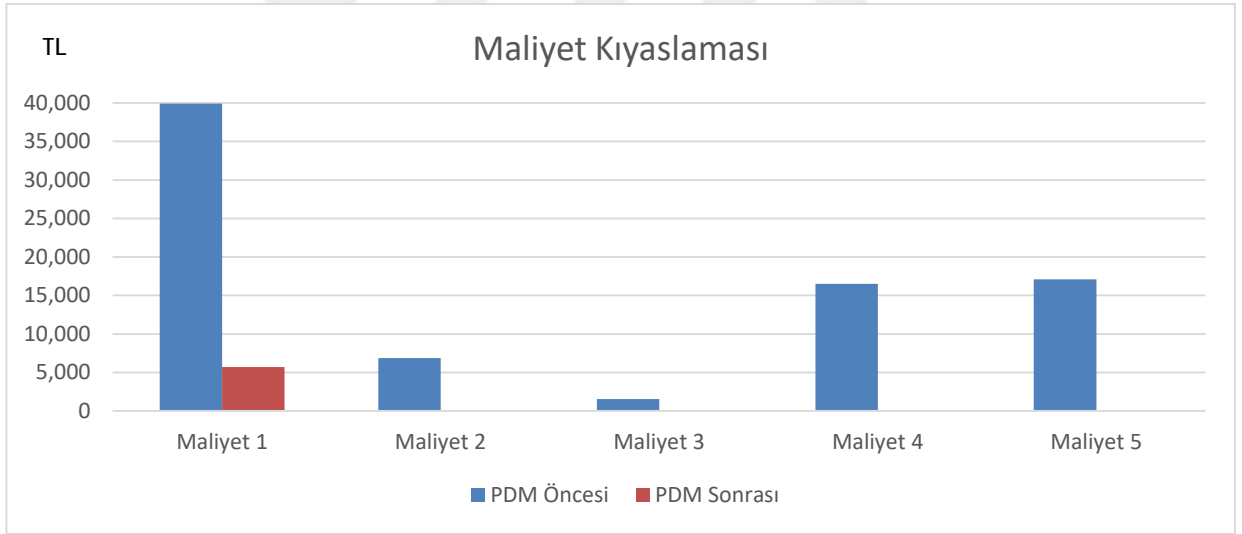
- Herhangi bir modelde değişiklik yapıldığında etkilenen başka tasarımlardaki hataları bulup düzeltmek için 1 dk/parça harcanmıştır. 20 adet parçada bu gözlemlenmiştir. Aşağıda “İş Akışı 3” olarak isimlendirilecektir.
- İmalat ekibine güncel verinin gittiğini kontrol eden bir mekanizma kurulduğu için hatalı veya yanlış ölçülerde üretilen ürünle karşılaşılmemiştir. Aşağıda “İş Akışı 4” olarak isimlendirilecektir.
- Elektrik ve mekanik tesisat birimleri arasındaki tasarım süreçleri artık eş zamanlı olarak yürütüldüğü için ayrı bir zaman dilimi oluşturmaya gerek duyulmamış ve Maliyet 1 içerisinde ele alınmıştır.
- Bununla ilgili verilerin doğruluğunu ölçmek için kronometre ile bir adet ürün için işlemler tekrar edilmiştir.

Genelde firmalarda entegre bir mühendislik veri yönetimi sistemi oluşturulduğu için pek çok iş birbiriyle aynı anda yapıldığı için süreçleri bir önceki tabloda olduğu gibi ayırmak oldukça güçtür.

Tablo 3.2. Ürün veri yönetimi entegrasyonu sonrası 10 projenin mühendislik verilerinin yönetilmesi ortalama maliyeti

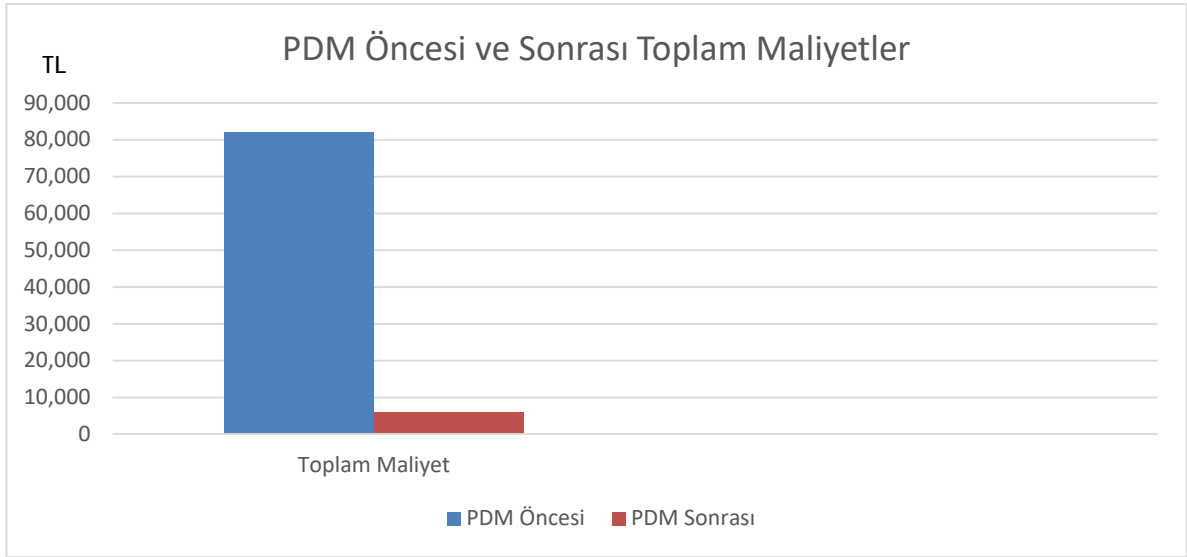
İş Akışı 1 Maliyeti	İş Akışı 2 Maliyeti	İş Akışı 3 Maliyeti	İş Akışı 4 Maliyeti	İş Akışı 5 Maliyeti	TOPLAM MALİYET
5.700 TL	55,41 TL	7,91 TL	0 TL	0 TL	5763 TL

Net bir kıyaslama yapılması için aşağıda Tablo 3.2 oluşturularak sistem entegrasyonu sonrası maliyetler hesaplanmıştır. İki tabloyu karşılaştırdığımızda ise sadece zaman tasarrufu yapılarak ve hatalı parça imal edilmeyerek doğrudan maliyetlerde %80 azalma yakalanmıştır.



Şekil 3.4. Ürün veri yönetimi sistemi öncesi ve sonrası kalem kalem maliyet kıyaslaması.

Şekil 3.4.'te de gözlemlenebileceği gibi ürün veri yönetimine geçmeden önce ve sonra arasında çok büyük farklar oluşmaktadır.



Şekil 3.5. Ürün veri yönetimi öncesi ve sonrası toplam maliyet kıyaslaması.

Buna ek olarak Şekil 3.5.'te toplam maliyetlerin kıyaslaması da belirtilmiştir.

4. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Ülkemizde her firmanın özellikle ekonomik olarak ayakta durmak için yakalamaya çalıştığı kalite Avrupa standartları olmaktadır. Bunun yanı sıra bu kalitede üretimi yapmak kadar rekabetçi alanda da Avrupa pazarında tutunmak için orada sunulan kaliteyi, teknolojiyi daha uygun fiyatlara sunmak gerekmektedir. Bunun için de uygulanabilecek en önemli yöntem otomatikleşme ve yazılımların verimli kullanılması ile elde edilen verilerin doğru işlenip değerlendirilmesidir.

Sistemin faydalarının somut olarak ortaya koyulması uygulama gerektirdiğinden ve bu faydanın doğru değerlendirilmesinin zaman almasından dolayı firmalar bu tür çözümlere çok kolaylıkla yatırım yapmamaktadırlar. Özellikle ürün veri yönetimi sistemleri daha uzun süreç ve daha kapsamlı bir katılım gerektirdiğinden dolayı bu etki daha da katlanmaktadır. Bu noktada karşımıza personelin sisteme entegrasyonu, kazanılmış yanlış alışkanlıkların terkedilmesi, eğitim vb. gibi süreçler karşımıza çıkmaktadır. Bu faktörlere gerekli önem ve zaman ayrıldıktan sonra sistemin faydasını ölçmek daha doğru bir karar olacaktır. Bulgular kısmındaki verilerde de fark edileceği gibi sistem kurulduktan sonra dahi eski hataların yukarıda sayılan sebeplerden dolayı tamamen yok edilmesi ve beklenen karlılığın sağlanması zaman almaktadır.

Ürün veri yönetimi sistemleriyle verilerin oluşturulması ve yönlendirilmesi firmaları daha iyi bir noktaya getirdiği gözlemlenmiştir. Gerek teknik dokümantasyon; gerek imalat resimleri; gerek satın alma talepleri artık kontrol altına alınmıştır. Bunun yanı sıra tezgâh başındaki ekiplerin işlemleri ne kadar sürede yaptığı veya kalite kontrol ile ilgili veriler de aynı ortamda tutulmuştur. Bu da firmaların bünyesindeki işlemlere hâkimiyeti arttırabilmektedir.

Bilindiği üzere hemen hemen tüm kalite yönetimi sistemlerinin olmazsa olmazı olan “Üst yönetimin katılımı” ürün veri yönetimi sistemleri entegrasyonunun başarıya ulaşması için de gereklidir. Yazılım sağlayıcısının markası fark etmeksizin tercih edilen tüm yazılımlarda her şeyden önce insan faktörünün göz önünde bulundurulması gerekmektedir. En büyük başarı başta üst yönetimin katılımı ve çalışanları motive etmesi ve çalışanların da sisteme adapte olmak için çaba göstermesi ile mümkündür.

Ürün veri yönetimi sisteminin kurulması ve uygulanması ile firmada daha önceden tespit edilen sorunların tamamı çözülebilmektedir. Firmalar, sürekli gelişen ve büyüyen bir yapıda olduğu için ihtiyaçlarında da farklılaşmaların meydana gelmesi beklenmektedir. Gelişen yeni ihtiyaçların da karşılanması için daha gelişmiş ürün yaşam döngüsü sistemi uygulaması gerekebilmektedir. Yapılan bu çalışma sayesinde firmanın ihtiyaç taleplerinin gündeme gelmesi durumunda, bu yönde atılacak adımlar bakımdan da alt yapı olarak hazır hale getirilmiştir. Yapılan alt yapı çalışması sayesinde firma gerektiği zaman pek çok farklı sisteme çıktı verebilmektedir. Bu da ilerde yapılması muhtemel tercihler açısından geniş bir esneklik sağlamaktadır. Oluşturulan sistem alt yapı dili ile pek çok yaygın diğer sistemlerle iletişim ve veri alışverişini oldukça kolay sağlayabilecektir.

Rekabetçilik için bu konular olmazsa olmazdır. Ancak bunun bir üst noktaya taşınması gerekmektedir. Bu sistemlerin Endüstri 4.0 kapsamına, ardından da Toplum 5.0 kapsamına geçirilmesi gereklidir. Bunun için de ilk yapılması gerekenlerden biri imalat uygulama sistemi yazılımlarının (MES) entegrasyonudur. Bu sayede üretim planlaması ve verimliliği de tasarım verimliliğine dâhil edilip kurumsal kaynak planlaması için daha kaliteli bilgiler oluşturulmaya başlanabilecektir. Ayrıca tüm bu veriler kurumsal kaynak planlaması içerisine alınca karar verme sürecinde otomatikleşme ve standardizasyon ile insan kaynaklı hatalar daha da azalacak ve maliyetlerin düşmesi ile firmaların rekabetçiliği artacaktır.

Günümüzde COVID-19 ile tüm bu ürün veri yönetimi ve geliştirilmesi süreçlerinin uzaktan yapılmasının gerekliliği ortaya çıktığı gibi; eğer sistem doğru kurgulanırsa kalitede bir düşüşe sebep olmayacağı üzerine araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. Özellikle bulut teknolojileri kullanılarak ürün verileri ve ürün yaşam döngüleri artık ülkemize de girmiş ve bunlarla ilgili araştırmaların yapılması ve bir sistematik geliştirilip hem akademik dünyada hem de reel sektörde kullanılması teşvik edilmesi zaruri hale gelmiştir.

Sürdürülebilirlik ile ilgili olarak 6XRE kavramı (yeniden düşün, tamir et, yerine koy, yeniden kullan, azalt, geri dönüştür) ve bulut üzerinde çalışmanın bu kavramlarla incelenmesi ve faydaları ortaya konulması gerekmektedir. Kaynakların daha az kullanılıp, doğaya fayda sağlama durumları ile işletme için maliyetleri arttıran veya azaltan durumların analizi, gelecek yıllarda Türk Sanayii'nin planlanması açısından hayati önemdedir.

KAYNAKLAR / REFERENCES

Abdissa, S., Worku, A., & Shekar, C. (2018). Design and Development of Product Data Management (PDM) For Textile Company. *J Textile Sci Eng*, 8(370), 2.

Barratt, M. (2004). Understanding the meaning of collaboration in the supply chain. *Supply Chain Management: an international journal*, 9(1), 30-42.

Blair, S., Watt, R., & Cull, T. (2010). Responsibility-driven architecture. *IEEE software*, 27(2), 26-32.

Borasi, A., & Nagaich, R. (2018). Product Development Process Using Tendering and Bidding.

Chen, I. J., & Paulraj, A. (2004). Towards a theory of supply chain management: the constructs and measurements. *Journal of operations management*, 22(2), 119-150.

Chirkin, A. M., & Kovalchuk, S. V. (2014). Towards better workflow execution time estimation. *IERI Procedia*, 10, 216-223.

Cooper, M. C., Lambert, D. M., & Pagh, J. D. (1997). Supply chain management: more than a new name for logistics. *The international journal of logistics management*, 8(1), 1-14.

Danjou, C., Le Duigou, J., & Eynard, B. (2017). Closed-loop manufacturing process based on STEP-NC. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 11(2), 233-245.

Dereli, T., & Filiz, I. H. (2002). A Design for Manufacturing's system for elimination of critical feature interactions on prismatic parts. *Journal of Engineering Design*, 13(2), 141-157.

Do, N. (2014). Developing a product data model using the STEP PDM schema for integrating specifications of technical services. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 27(4), 382-399.

Do, N. (2017). Integration of design and manufacturing data to support personal manufacturing based on 3D printing services. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 90(9-12), 3761-3773.

Glišović, S. (2018, June). Environmental Life Cycle Management as a Framework for a Successful Project Development. In Proceedings of 13th international conference Management and Safety (M&S 2018) Ohrid, North Macedonia, June 15th-16th (pp. 1-12).

Gmelin, H., & Seuring, S. (2014). Achieving sustainable new product development by integrating product life-cycle management capabilities. *International Journal of Production Economics*, 154, 166-177.

Golińska, P., & Kawa, A. (Eds.). (2015). Technology management for sustainable production and logistics. Springer.

Haas, K., Schuck, H., Mücke, T., & Ovtcharova, J. (2016). A holistic product lifecycle management approach to support design by machine data. *Procedia CIRP*, 50, 420-423.

Han, J., Lee, S. H., & Kim, J. K. (2017). A process integrated engineering knowledge acquisition and management model for a project based manufacturing. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 18(2), 175-185.

Hapuwatte, B. M., & Jawahir, I. S. (2019). A total life cycle approach for developing predictive design methodologies to optimize product performance. *Procedia Manufacturing*, 33, 11-18.

He, W., Ming, X. G., Ni, Q. F., Lu, W. F., & Lee, B. H. (2006). A unified product structure management for enterprise business process integration throughout the product lifecycle. *International Journal of Production Research*, 44(09), 1757-1776.

Heuer, M. (2011). Ecosystem cross-sector collaboration: conceptualizing an adaptive approach to sustainability governance. *Business Strategy and the Environment*, 20(4), 211-221.

Hoffman, C. M., & Joan-Arinyo, R. (1998). CAD and the product master model. *Computer-Aided Design*, 30(11), 905-918.

Hufnagel, J., & Vogel-Heuser, B. (2015, July). Data integration in manufacturing industry: Model-based integration of data distributed from ERP to PLC. In *Industrial Informatics (INDIN), 2015 IEEE 13th International Conference on* (pp. 275-281). IEEE.

Huhtala, M., Lohtander, M., & Varis, J. Confusing of terms PDM and PLM: examining issues from the PDM.

Jin, X. P., Zhang, T., & Song, Z. H. (2014). A Windchill-Based PDM Application to Enhance Agricultural Machinery Chassis Design. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 457, pp. 1653-1656). Trans Tech Publications.

Johnson, M. E. (2010). Product/Service Design Collaboration: Managing the Product Life Cycle. *Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science*.

Kaufmann, T. (2015). *Geschäftsmodelle in Industrie 4.0 und dem Internet der Dinge: der Weg vom Anspruch in die Wirklichkeit*. Springer-Verlag.

Kim, Y., Kang, S. H., Lee, S. H., & Yoo, S. B. (2001). A distributed, open, intelligent product data management system. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 14(2), 224-235.

Klassen, R. D., & Vachon, S. (2003). Collaboration and evaluation in the supply chain: The impact on plant-level environmental investment. *Production and Operations Management*, 12(3), 336-352.

Kropsu-Vehkaperä, H., Haapasalo, H., Harkonen, J., & Silvola, R. (2009). Product data management practices in high-tech companies. *Industrial Management & Data Systems*, 109(6), 758-774.

Kumar, R., & Midha, P. S. (2001). A QFD based methodology for evaluating a company's PDM requirements for collaborative product development. *Industrial Management & Data Systems*, 101(3), 126-132.

Kung, K. H., Ho, C. F., Hung, W. H., & Wu, C. C. (2015). Organizational adaptation for using PLM systems: Group dynamism and management involvement. *Industrial Marketing Management*, 44, 83-97.

Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1-10.

Lukač, D. (2015, November). The fourth ICT-based industrial revolution" Industry 4.0"—HMI and the case of CAE/CAD innovation with EPLAN P8. In 2015 23rd Telecommunications Forum Telfor (TELFOR) (pp. 835-838). IEEE.

Merja, P., & Harri, E. (2018). Challenges of manufacturability and product data management in bending. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 99(9-12), 2137-2148.

Mesihovic, S., Malmqvist, J., & Pikosz, P. (2004). Product data management system-based support for engineering project management. *Journal of Engineering Design*, 15(4), 389-403.

Montoya-Weiss, M. M., & Calantone, R. (1994). Determinants of new product performance: A review and meta-analysis. *Journal of product innovation management*, 11(5), 397-417.

Nallusamy, S., Balakannan, K., Suganthini Rekha, R., & Balasubramanian, K. (2015). A Review on Valuable Trends of Product Data Management (PDM) Occupied in New Product Development (NPD). In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 786, pp. 262-268). Trans Tech Publications.

Ovtcharova, J. G. (2010). Virtual engineering: principles, methods and applications. In *DS 60: Proceedings of DESIGN 2010, the 11th International Design Conference*, Dubrovnik, Croatia.

Papinniemi, J., Hannola, L., & Maletz, M. (2014). Challenges in integrating requirements management with PLM. *International Journal of Production Research*, 52(15), 4412-4423.

Philpotts, M. (1996). An introduction to the concepts, benefits and terminology of product data management. *Industrial Management & Data Systems*, 96(4), 11-17.

Rihar, L., & Kušar, J. (2021). Implementing Concurrent Engineering and QFD Method to Achieve Realization of Sustainable Project. *Sustainability*, 13(3), 1091.

Scheidel, W., Mozgova, I., & Lachmayer, R. (2017). Product Data Management in the Context of Industry 4.0. In *Engineering for a Changing World: Proceedings; 59th IWK, Ilmenau Scientific Colloquium, Technische Universität Ilmenau, September 11-15, 2017 (Vol. 59, No. 4.2. 05)*.

Scheidel, W., Mozgova, I., & Lachmayer, R. (2018). TEACHING INDUSTRY 4.0–PRODUCT DATA MANAGEMENT FOR SMALL AND MEDIUM-SIZED ENTERPRISES. In *DS 93: Proceedings of the 20th International Conference on Engineering and Product Design Education (E&PDE 2018), Dyson School of Engineering, Imperial College, London. 6th-7th September 2018 (pp. 151-156)*.

Schuh, G., Dölle, C., Schmitz, S., Koch, J., Höding, M., & Menges, A. (2018). Data-Based Determination of the Product-Oriented Complexity Degree. *Procedia CIRP*, 70, 144-149.

Schützer, K., Rodrigues, L. F., Bertazzi, J. A., Durão, L. F. C., & Zancul, E. (2017). Learning environment to support the product development process. *Procedia Manufacturing*, 9, 347-353.

Sheppard, S., Colby, A., Macatangay, K., & Sullivan, W. (2007). What is engineering practice?. *International Journal of Engineering Education*, 22(3), 429.

Staisch, A., Peters, G., Stueckl, T., & Seruga, J. (2012). Current trends in product lifecycle management.

Tao, F., & Qi, Q. (2017). New IT driven service-oriented smart manufacturing: framework and characteristics. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 49(1), 81-91.

Thames, L., & Schaefer, D. (2016). Software-defined cloud manufacturing for industry 4.0. *Procedia CIRP*, 52, 12-17.

Wellcome, H. S. (1950). *The Cinchona Forests of South America*.

Wilson, A. R., & Berquand, A. (2020, October). Concurrent engineering and social distancing 101: lessons learned during a global pandemic. In *9th International Systems & Concurrent Engineering for Space Applications Conference (SECESA 2020)*.

Zhang, D. Z. (2011). Towards theory building in agile manufacturing strategies—Case studies of an agility taxonomy. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 303-312.



ÖZGEÇMİŞ

Müfit ÇUN, Lise öğrenimini Sultanahmet AML Makine Bölümünde tamamlamıştır. Lisans eğitimini Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Talaşlı Üretim Öğretmenliği'nde görmüştür. Halen MetropolSoft Bilgi Teknolojileri firmasında Ürün Müdürü olarak çalışmaktadır.

