GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

ÜRETİM HATLARINDA DELMIA TABANLI DİJİTALLEŞMEDE DEĞİŞİKLİK UYGULAMA YÖNTEMİNİN MODELLENMESİ

Enes YİĞİT

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KASIM 2023

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Enes YİĞİT
13/11/2023

ÜRETİM HATLARINDA DELMIA TABANLI DİJİTALLEŞMEDE DEĞİŞİKLİK UYGULAMA YÖNTEMİNİN MODELLENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Enes YİĞİT

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kasım 2023

ÖZET

Günümüzde, teknolojik ilerlemeler ve yenilikler, üretim süreçlerinin ve operasyonlarının takibini ve akışını kurumsal şirketler özelinde daha da önemli hale getirmiştir. Bu gelişmeler, sürdürülebilirlik, izlenebilirlik, kalite ve verimlilik açısından büyük bir önem taşımaktadır. Özellikle yapay zeka gibi teknolojik gelişmeler ve bu alanla ilgili iyileştirme çalışmaları, dijital dönüşümün üretim alanında da ne kadar kritik olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışmanın amacı, üretim ve tasarım alanları arasında bağlantıları güçlendiren bir yapı oluşturmaktır. Üretim proseslerinin, üretim malzeme listesi detaylarının, ürün revizyonları ve operasyon detaylarının tasarım kurgusundan bağımsız olarak ilerlemesini engelleyerek, üretim mühendisliği ile tasarım mühendisliği arasındaki ilişkiyi güçlendirmek hedeflenmektedir. Bu amaçla, 3D Experience platformu içerisinde DELMIA modülü ve rolleri kullanılarak daha kontrollü ve kullanışlı bir üretim süreci oluşturulması planlanmıştır. Aynı zamanda, dijital dönüşüm ilkeleri çerçevesinde tasarım ürün ağacının ERP-PLM ile senkronize bir şekilde ilerlemesi, tasarım değişikliklerinin etkili bir şekilde yönetilmesi ve operasyonel akışın optimize edilmesi hedeflenmektedir. Çalışma sürecinde, mevcut üretim prosesleri ve talimatlandırma sistemi, tasarım değişikliklerini hızlıca yakalayabilecek özgün bir yöntemle güçlendirilmiştir. Program desteğiyle oluşturulan süreç akışları, MES platformuna etkileri ve operasyonel sonuçları göz önünde bulundurularak belirlenmiş ve test edilmiştir. Çalışma sonucunda, DELMIA V6 programı kullanılarak devreye alınan süreçlerin etkinliği ve mevcut sistemle uyumu değerlendirilmiş ve güncel süreçler oluşturulmuştur. Aynı süreçte, MES (Üretim Yürütme Sistemi) ile entegrasyon sağlanmıştır. Sonuç olarak, DELMIA revizyon senaryolarıyla anlık değişikliklerin disiplinli bir şekilde birbirine bağlı olduğu ve otomatize bir şekilde modellendiği bir yapı oluşturulmuştur.

Bilim Kodu	:	91438
Anahtar Kelimeler	:	DELMIA V6, PLM, Endüstri 4.0, MES, üretimde dijitalleşme, değişiklik uygulama süreçleri
Sayfa Adedi	:	77
Danışman	:	Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

MODELING OF THE CHANGE IMPLEMENTATION METHOD IN DELMIA-BASED DIGITALIZATION AT PRODUCTION LINES

(Msc. Thesis)

Enes YİĞİT

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

November 2023

ABSTRACT

In today's world, technological advancements and innovations have made the monitoring and flow of production processes and operations even more crucial for corporate companies. These developments are major importance in terms of sustainability, traceability, quality, and efficiency. Especially with technological advancements as artificial intelligence and related improvement efforts, it shows how critical digital transformation is in the field of production. The purpose of this study is to establish a structure that enhances the connections between the realms of production and design. On the other hand, the target is to strengthen the relationship between production engineering and design engineering by preventing production processes, material list details, product revisions, and operation specifics from advancing independently of the design framework. To achieve this, a more controlled and user-friendly production process is planned to be created using the DELMIA module and roles within the 3D Experience platform. Additionally, within the framework of digital transformation principles, the synchronization of the design product hierarchy with ERP-PLM is intended, along with the effective management of design changes and optimization of operational flows. During the course of the study, the existing production processes and instruction systems have been consolidated with an original method that swiftly captures design changes. Process flows created with program support have been determined and tested, considering their impact on the Manufacturing Execution System (MES) platform and operational outcomes. At the conclusion of the study, the efficiency of the processes implemented using the DELMIA V6 program and their compatibility with the existing system have been evaluated, leading to the establishment of updated processes. Simultaneously, integration with the Manufacturing Execution System (MES) has been accomplished. As a result, a structured system has been created where instant changes, guided by DELMIA revision scenarios, are interconnected in a disciplined manner and automated.

Science Code	:	91438
Key Words	:	DELMIA V6, Industry 4.0, MES, PLM, digitalization for manufacturing, change implementation process
Page Number	:	77
Supervisor	:	Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez çalışmam süresince vermiş oldukları her türlü destek ve katkılarıyla beni yönlendiren çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Ulvi ŞEKER' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez İzleme Kurulu üyesi hocalarım Prof. Dr. İhsan KORKUT' a ve Prof. Dr. Hakkı Özgür ÜNVER' e katkı ve yönlendirmelerinden dolayı teşekkür ederim. Manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan kıymetli eşim Kübra YİĞİT' e teşekkür ederim.

Tez çalışmam konusunda tüm imkanları sunan FNSS Savunma Sistemleri A.Ş. şirket yönetimine teşekkürlerimi sunarım. Bu çalışmada destek veren değerli yöneticilerim Hakan YILMAZ, Nafiz KURT ve Mustafa YURDAKUL' a teşekkürlerimi sunarım. Teşvik eden ve yönlendiren, her türlü desteği sunan Fatih ÜLGER' e özel teşekkürlerimi sunarım.

Birikim ve tecrübelerini esirgemeyen, her türlü teknik konuda destek veren Tuncer DİNÇ ve Tolga CANBEK' e teşekkür ederim.

Çalışmalar boyunca desteklerini esirgemeyen ekip arkadaşlarımdan Hasan ALTINTAŞ, Anıl SONUGÜR, Nuri Berk ATAY, Mehmed Akif PAKSOY, Leyla İLDAŞ KORKAZ, Mustafa GÜVENÇ, Ferit ALTAY, Tuna Çağlar GÜMÜŞ, Musa BİLGİN, Sinan YILDIRIM ve Erkut ŞAKAR' a destekleri için teşekkür ederim.

Ayrıca burada adını sayamadığım her zaman destekleri ile yanımda olan tüm dostlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ ix

ŞEKİLLERİN LİSTESİ x

SİMGELER VE KISALTMALAR xii

1. GİRİŞ 1

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 3

2.1. Literatür çalışmaları 3

2.2. Literatür değerlendirmesi 16

3. KURAMSAL TEMELLER 17

3.1. Dijital dönüşüm 17

3.1.1. Dijitalizasyon yapısı 17

3.1.1. Dijitalizasyon aşamaları 18

3.1.1. MES yapısı 20

3.1.1. MES-PLM 22

3.2. 3D Experience 23

3.2.1. PLM 24

3.2.2. DELMIA V6 25

4. YÖNTEM VE TASARIM 27

4.1. MBOM ve İş Talimatı Süreç Yöntemi 27

4.2. İş Talimatı Sistemi 29

Sayfa

4.3. DELMIA V6 Süreçleri 29

4.3.1. Rol ve modüller 29

4.3.2. Modül süreçleri ve akış oluşturma 32

4.4. DELMIA V6 ile Değişiklik Yöntem Modeli 43

4.4.1. Entegrasyon çalışmaları 43

4.4.2. Delmia üretim yapısı 50

4.4.3. Delmia değişiklik modeli 55

5. BULGULAR ve TARTIŞMA 64

6. SONUÇ VE ÖNERİLER 67

KAYNAKÇA 73

ÖZGEÇMİŞ 77

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 1.1. Endüstri 4.0 ile ilgili literatür özeti 4

Çizelge 2.1. Dijital dönüşüm ile ilgili literatür özeti 9

Çizelge 3.1. Dijitalizasyon ile ilgili literatür özeti 12

Çizelge 4.1. MES ile ilgili literatür özeti 14

Çizelge 5.1. Delmia ile ilgili literatür özeti 16

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.1. Dijital dönüşüm yapısı 17

Şekil 3.2. Endüstri 4.0 aşamaları 18

Şekil 3.3. Kurumsal dijitalleşme 19

Şekil 3.4. MES yapısı 21

Şekil 3.5. MES-PLM döngüsü 21

Şekil 3.6. MES-PLM entegrasyon 23

Şekil 3.7. PPR yapısı kapsamı 26

Şekil 4.1. Excel MBOM süreci 28

Şekil 4.2. Delmia MFG modülleri 30

Şekil 4.3. 3D Experience PPR Temel yapısı 31

Şekil 4.4. Delmia Tasarım-Üretim MBOM yapısı 34

Şekil 4.5. MBOM Raporu çalışma örneği 35

Şekil 4.6. MBOM Delmia objeleri 35

Şekil 4.7. MBOM 3D yapısı 36

Şekil 4.8. Delmia MBOM süreç yöntemi 37

Şekil 4.9. Process Plan temel yapı ve objeler 38

Şekil 4.10. Takım ekleme model arayüzü 39

Şekil 4.11. Takım ürün ağaç yapısı 40

Şekil 4.12. İş talimatı örnek operasyon 41

Şekil 4.13. MBOM obje arayüzü 42

Şekil 4.14. WI MBOM arayüz özellikleri 42

Şekil 4.15. Dijital süreklilik entegrasyon yapısı 44

Şekil 4.16. Delmia ile oluşturulan çalışma süreci 46

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.17. İş talimatı MES transfer yapısı 48

Şekil 4.18. İş talimatı arayüzü yapısı 49

Şekil 4.19. Ürün ağacı yapısı disiplin bazlı gösterim 51

Şekil 4.20. Yap-Al yapısının 3D model süreci 53

Şekil 4.21. Delmia Genel PPR süreç yöntemi 54

Şekil 4.22. Montaj Komplesi PPR süreci 55

Şekil 4.23. Kontrol komutu gösterimi 57

Şekil 4.24. Revizyon karşılaştırma gösterimi 58

Şekil 4.25. Revizyon ürün ağacı gösterimi 59

Şekil 4.26. Proses plan revizyon gösterimi 59

Şekil 4.27. Link sağlama platformu 61

Şekil 4.28. MBOM objeleri kapsam gösterimi 61

Şekil 4.29. Operasyon revizyon kontrol gösterimi 62

Şekil 4.30. Görsel revizyon kontrol 63

Şekil 5.1. Değişiklik yöntem modeli 64

Şekil 5.2. İş talimatı örnek gösterimi 66

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklamalar
3D / 3B	Three Dimensional (Üç Boyut)
AM	Additive Manufacturing (Eklemeli İmalat)
BI	Business Intelligence (Kontrol Zekâsı)
BIW	Body In White (Beyaz Gövde)
BOM	Bill of Materials (Parça Listesi)
CAD	Computer Aided Drawing (Tasarım Destekli Çizim)
DELMIA	Digital Enterprise Lean Manufacturing Interactive Application (Dijital Kurumsal İnteraktif Üretim Yazılımı)
EBOM	Engineering Bill of Materials (Tasarım Parça Listesi)
ERP	Enterprise Resource Planning (Kurumsal Planlama)
IoRT	Internet of Robotic Things (Robotic Nesne İnterneti)
IoT	Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)
M/B	Make /Buy (Yap/Al)
MBOM	Manufacturing Bill of Materials (Üretim Parça Listesi)
MES	Manufacturing Execution System (Üretim Yürütme Sistemi)
MRP	Material Resource Planning(Malzeme Kaynak Planlama)
OEE	Overall Equipment Effectiveness(Genel Ekipman Etkinliği)
PDM	Product Data Management (Ürün Veri Yönetimi)
PLM	Product Lifecycle Management (Ürün Yaşam Döngüsü)
PPL	Process Planner (Süreç Planlamacısı)
PPR	Product Process Resource (Ürün Süreç Kaynak)
ÜVP	Üretim veri paketi
WI	Work Instruction (İş Talimatı)
WPL	Workplan (İş planlama)
TVP	Teknik veri paketi

1. GİRİŞ

Üretim sektörü, küresel rekabetin artması, müşteri beklentilerinin çeşitlenmesi, ürün yaşam döngülerinin kısalması ve teknolojik gelişmelerin hızlanması gibi faktörler nedeniyle sürekli değişim ve dönüşüm içindedir. Üretim sektöründe faaliyet gösteren işletmeler, bu dinamik ortamda ayakta kalabilmek ve rekabet avantajı sağlayabilmek için üretim süreçlerini optimize etmek, verimlilik ve kaliteyi artırmak, maliyetleri azaltmak ve müşteri memnuniyetini yükseltmek zorundadır. Bu amaçla işletmeler, dijital dönüşüm kavramını benimseyerek üretim süreçlerini dijitalleştirmeye yönelmektedir. Dijital dönüşüm, işletmelerin ürün ve hizmetlerini dijital teknolojilerle destekleyerek veya yeniden tasarlayarak iş modellerini ve değer zincirlerini değiştirmesi olarak tanımlanır [1].

Dijital dönüşüm sayesinde işletmeler, üretim süreçlerinde daha fazla esneklik, veri akışı, görünürlük, kontrol ve iş birliği sağlar; karar verme süreçlerini hızlandırır; yenilikçilik kapasitelerini artırır; müşteri ihtiyaçlarına daha iyi cevap verir [2]. Bu dönüşüm sürecinde MES, ERP ve PLM sistemleri arasında entegrasyon sağlamak, üretim süreçlerinin verimliliğini ve kalitesini artırmak için önemli bir adımdır. Bu sistemler arasında entegrasyon sağlandığında, üretim sürecindeki veri akışı ve iş birliği artar; karar verme süreçleri hızlanır, mühendislik değişiklikleri kolayca yönetilir; ürün tasarımı ve üretimi arasında geri bildirim döngüsü kurulur; ürün bilgileri ve kaynak planlaması entegre edilir; ürün kalitesi ve uyumluluğu sağlanır [1,3]. Bu sayede işletmeler, dijital dönüşümde rekabet avantajı elde eder ve müşteri memnuniyetini yükseltir.

Günümüzde üretim sektörü, Endüstri 4.0 olarak adlandırılan dördüncü sanayi devriminin etkisi altındadır. Endüstri 4.0, üretim süreçlerinin dijital teknolojilerle desteklenmesi ve akıllı sistemlerle yönetilmesi anlamına gelmektedir [3]. Endüstri 4.0, üretim sektöründe dijital dönüşümün de ana itici gücüdür. Dijital dönüşüm ise, işletmelerin ürün ve hizmetlerini dijital teknolojilerle yeniden tasarlayarak veya geliştirerek iş modellerini ve değer zincirlerini değiştirmesi olarak tanımlanabilir [4]. Hem endüstri 4.0 uygulamalarına evrilme hem entegrasyon ihtiyacı olarak incelediğimizde DELMIA programı MES, ERP ve PLM sistemlerini entegre etmek için kullanılabilecek bir platformdur. DELMIA, bu sistemler arasında veri alışverişini kolaylaştırarak üretim süreçlerinin dijitalleştirilmesine katkı sağlar. Dijital dönüşümün gerçekleştirilmesinde önemli rol oynayan teknolojilerden

biri de DELMIA'dır. DELMIA, Dassault Systèmes tarafından geliştirilen bir dijital üretim ve üretim simülasyonu yazılımıdır [5]. DELMIA, üretim ve hizmet sağlayıcıların, tasarım etkisinden küresel talebin nasıl karşılanacağını belirlemeye kadar tüm operasyonlarını sanal olarak deneyimlemelerini sağlar [5]. DELMIA'nın öne çıkan özelliklerinden bazıları şunlardır; diğer üretim sistemleriyle entegre çalışarak veri akışını ve iş birliğini artırır, üretim süreçlerini optimize eder, verimlilik ve kaliteyi yükseltir, maliyetleri azaltır, müşteri memnuniyetini sağlar. Aynı zamanda diğer üretim sistemleriyle entegre çalışarak veri akışını ve iş birliğini artırır ve üretim süreçlerini optimize etmek için gelişmiş simülasyon ve modelleme araçları sunar. DELMIA ile üretim hattı tasarımı ve simülasyonu, iş akışı analizi, kaynak planlaması ve optimizasyonu, ergonomi analizi, robotik programlama ve simülasyonu gibi işlevler gerçekleştirilebilir. Üretim süreçlerinin kalitesini ve uyumluluğunu sağlamak için kapsamlı bir çözüm sunarak ürün kalite kontrolü, malzeme izlenmesi, ekipman duruş süresi yönetimi, üretim performansı raporlama gibi işlevler gerçekleştirir [3].

Bu tez çalışmasında kurumsal mevcut alt yapı dikkate alınarak değişiklik yöntem modelinin belirlenmesi ve oluşturulması kapsamında literatür taraması , süreç tasarımları , vaka analizleri adımları kullanılmıştır. Tez çalışması beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde DELMIA'nın avantajları ve ERP,MES sistemleri ile entegre edilebilirliği konusunda tanımlara giriş kısmında yer verilmiştir. İkinci bölümde Endüstri 4.0, dijital dönüşüm , dijitalizasyon, MES, DELMIA konularında kapsamlı literatür incelemeleri yapılmıştır. Üçüncü bölümde Dijitalizasyon akışı referans alınarak yapı ve aşamalar belirtilmiş aynı zamanda PLM-MES yapılarının Dijitalizasyon ile ilgili etkileri belirtilmiştir. Dördüncü bölümde DELMIA yazılımına bağlı süreçler ortaya koyulmuş ve MES-ERP-PLM ilişkisi göz önünde bulundurulup yöntem modeli için test ve denemeler ile süreç tasarımı ortaya koyulmuştur. Dördüncü bölümde çalışma bulguları model tasarım denemeleri ile elde edilen akış şeması sunulmuştur. Beşinci bölümde ise kazanımlar ve karşılaşılan durumları özetleyen sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Literatür Çalışmaları

Çalışmalara referans olması ve örneklemlerin incelenmesi açısından konuyla ilgili araştırmalar içeriklerine bağlı olarak; Endüstri 4.0, MES, Dijital dönüşüm, Dijitalizasyon, DELMIA başlıkları altında özetlenmiştir.

Endüstri 4.0 ile ilgili yapılan çalışmalar

Bu bölümde Endüstri 4.0 kapsamında yapılmış çalışmalar dikkate alınmış ve bazı çalışmalar incelenerek Çizelge 1.1' de özet bir tablo halinde sunulmuştur.

Helming ve diğerleri, üretim ortamlarında endüstri 4.0 için bir eğitim kavramının geliştirilmesini araştırmışlardır. Bu amaç doğrultusunda yapılan literatür araştırması, liderlik 4.0 kavramı, üretim ortamlarındaki liderlik ve eğitim yöntemleri hakkında geniş bir bilgi birikimini ortaya koymuşlardır. Üretim ortamlarındaki liderlik, yöneticilerin üretim sürecinin yönetimi, takım yönetimi ve performans yönetimi gibi alanlarda becerilerini kullanarak etkin bir liderlik sağlamasıdır. Bu bağlamda, liderlik 4.0 kavramı, dijital teknolojilerin kullanımı, veri analizi ve yapay zeka gibi alanlarda liderlerin becerilerini geliştirmesi gerektiğini belirtmişlerdir [6].

Sert, otomotiv sektöründe endüstri 4.0 uygulamalarının değer zinciri temel faaliyetleri analizi yapılarak bir model önerisi sunmuştur. Otomotiv sektöründeki şirketlerin dijital dönüşüm sürecini daha etkili bir şekilde yönetmelerine yardımcı olabilecek bir rehber olarak oluşturulmuştur. Bu bağlamda, otomotiv sektörü de dijital dönüşüme ayak uydurmakta ve endüstri 4.0 teknolojilerini benimsemektedir. Endüstri 4.0'ın temel prensiplerinden biri olan "değer zinciri" kavramı, otomotiv sektöründe dijital dönüşüm için önemli bir rol oynadığı belirtilmiştir [7].

Tumbajoy ve diğerleri, Endüstri 4.0 etkilerinin değerlendirilmesi için birçok ölçüt ve metrik geliştirmişlerdir. OEE gibi performans ölçütleri, üretim verimliliğinin değerlendirilmesinde sıkça kullanılmaktadır. İmalat sistemleri simülasyonunun kullanıldığı bir OEE tabanlı

metodoloji sunulmuştur. Bu metodoloji, gerçek zamanlı verilerin simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırılmasını sağlar ve Endüstri 4.0 etkilerinin analiz edilmesinde ve değerlendirilmesinde bir yöntem olarak kullanılmıştır. Ayrıca, bildiride sunulan metodolojinin, otomasyon, robotik ve nesnelerin interneti gibi Endüstri 4.0 teknolojilerinin etkilerinin değerlendirilmesinde de kullanılabileceği belirtilmiştir [8].

Dossoua ve diğerleri, şirket lojistik akışlarının optimize edilmesi için Endüstri 4.0 kavramlarının ve yalın üretim uygulamalarının kullanılmasını araştırmışlardır. Ayrıca, bu yaklaşımın şirketlerin lojistik süreçlerini nasıl geliştirebileceğini, verimliliği artırabileceğini ve rekabet avantajı sağlayabileceğini incelemiştir. Endüstri 4.0 kavramları, şirketlerin lojistik süreçlerinde veri entegrasyonunu sağlayarak daha iyi bir görünürlük ve kontrol elde etmelerine olanak tanıdığı aktarılmıştır. Akıllı sensörler, nesnelerin interneti (IoT) ve büyük veri analitiği gibi teknolojilerin, lojistik akışlarını izlemek, analiz etmek ve optimize etmek için kullanılabildiğini belirtmişlerdir [9].

Ntamo ve diğerleri, dijitalleşmenin sürekli işlem yapan formüle ürünlerin imalatında nasıl uygulandığını incelemişlerdir. Endüstri 4.0 kavramlarının pratikteki uygulamalarını araştırırken, formüle ürünlerin imalatında dijitalleşmenin getirdiği dönüşümü vurgulanmıştır. Sürekli işlem yapan formüle ürünlerin imalat süreçlerindeki dijitalleşmenin öncelikli avantajlarını ortaya koymuşlardır. Ayrıca otomasyon ve robotik sistemlerin entegrasyonunun, sürekli işlem yapan imalat süreçlerinde işgücü verimliliğini artırırken, hataları ve atıkları azaltacağını öne sürmüşlerdir [10].

Türk, Endüstri 4.0'ın tanımını ve temel unsurlarını araştırarak, yeni sanayi devriminin işletmeler ve toplumlar üzerindeki etkilerini incelemiştir. Makale dijitalleşme, otomasyon, büyük veri analitiği, yapay zekâ ve nesnelerin interneti gibi teknolojilerin nasıl birleştiğini ve üretim süreçlerinde dönüştürücü etkiler yarattığını açıklamıştır. Ayrıca, Endüstri 4.0'ın işletmelerin rekabet avantajını nasıl artırabileceğini ve ekonomik, sosyal ve çevresel boyutlarda nasıl faydalar sağlayabileceğini vurgulamıştır [11].

Çizelge 1.1. Endüstri 4.0 ile ilgili literatür özeti

Kaynak No	İncelenen kriterler
[6]	Üretim ortamlarındaki liderlik, yöneticilerin üretim sürecinin yönetimi, takım yönetimi ve performans yönetimi
[7]	Otomotiv sektöründeki şirketlerin dijital dönüşüm süreci
[8]	OEE (Overall Equipment Effectiveness) gibi performans ölçütleri, üretim verimliliğinin değerlendirilmesi
[9]	Lojistik akışlarının optimize edilmesi için Endüstri 4.0 kavramlarının ve yalın üretim uygulamaları
[10]	Dijitalleşme, otomatik veri toplama ve analiz yetenekleri sayesinde imalat süreçlerinin daha iyi kontrol edilmesine ve izlenmesi
[11]	Endüstri 4.0'ın tanımını ve temel unsurlarını araştırarak, sanayi devriminin işletmeler ve toplumda etkileri

Dijital dönüşüm ile ilgili yapılan çalışmalar

Bu bölümde Dijital Dönüşüm kapsamında yapılmış çalışmalar dikkate alınmış ve bazı çalışmalar incelenerek Çizelge 2.1’ de özet bir tablo halinde sunulmuştur.

İleri ve Furat, endüstriyel süreçlerin dijitalleşmesi için bir yol haritası sunarak, bu dönüşümün başarıyla gerçekleştirilmesi için öneriler ve stratejiler sunmuşlardır. Dijital teknolojilerin endüstriyel süreçlerde nasıl entegre edileceğini, bu sürecin nasıl yönetileceğini ve işletmelere nasıl fayda sağlayabileceğini araştırmışlardır. Dijitalleşmenin potansiyel zorluklarını ele almakta ve başarılı bir dijital dönüşüm için gereken önemli adımları sunmaktadır. Endüstriyel süreçlerin dijitalleşmesine yönelik bir yol haritasının önemini ve bu sürecin nasıl yönetilebileceğini özetlemektedir. İşletmelere sağlayabileceği faydalar ve karşılaşılacak zorluklar da vurgulamışlardır [12].

Aghamiri ve diğerleri, işletmeler için dijital dönüşüm modelleri ve çerçevelerinin sağladığı avantajları araştırmak amacıyla yapılan bir sistematik literatür incelemesine dayandırmışlardır. Farklı dijital dönüşüm modellerinin ve çerçevelerinin işletmelere nasıl fayda sağladığını, bu modellerin uygulanmasının iş süreçleri üzerindeki etkilerini ve işletmelerin rekabet avantajlarını nasıl artırabileceğini analiz etmişlerdir. İşletmelerin dijital dönüşüm modelleri ve çerçeveleri kullanarak nasıl rekabet avantajı elde edebileceğini ve iş süreçlerini nasıl iyileştirebileceğini ortaya koymuşlardır [13].

Badasjane ve diğerleri, uluslararası üretim ağlarında dijital dönüşümün koordinasyonunu araştırarak, organizasyonel perspektiften karşılaşılan zorlukları ve başa çıkma mekanizmalarını incelemişlerdir. Dijital dönüşüm sürecinde farklı yerlerde bulunan işletmeler arasındaki koordinasyon zorluklarını ele alırken, bu zorlukların üstesinden gelmek için kullanılan çözüm mekanizmalarını ve organizasyonel yaklaşımları araştırmışlardır. Uluslararası üretim ağlarında dijital dönüşümün koordinasyonunu ele almakta ve bu sürecin organizasyonel perspektiften karşılaşılan zorlukları ve başa çıkma mekanizmalarını vurgulamışlardır. İşletmelerin farklı coğrafi konumlarda bulunmaları nedeniyle ortaya çıkan koordinasyon zorluklarını anlamak ve bu zorlukların üstesinden gelmek için etkili organizasyonel yaklaşımları belirlemek amacıyla yapılan bir araştırmayı sunmuşlardır [14].

Mihardjoa ve diğerleri, Endüstri 4.0'da iş modeli yeniliği ve müşteri deneyimi odaklılığının geliştirilmesinde dijital liderliğin rolünü araştırmak amacıyla yapılan bir çalışmaya dayandırmışlardır. Dijital liderliğin işletmelerin iş modeli inovasyonu ve müşteri deneyimi yönelimini nasıl etkileyebileceğini ve Endüstri 4.0 çerçevesinde bu süreçlerde nasıl bir rol oynadığını analiz etmişlerdir. Dijital liderliğin Endüstri 4.0'da işletmelerin iş modeli inovasyonu ve müşteri deneyimi odaklılığını nasıl etkileyebileceğini vurgulamışlardır. Literatürdeki çalışmaları inceleyerek, dijital liderliğin işletmelerin dijital dönüşüm sürecinde iş modeli yeniliğini teşvik etmedeki rolünü ve müşteri deneyimi odaklılığını nasıl geliştirebileceklerini açıklamışlardır [15].

Kraus ve diğerleri, işletme ve yönetim araştırmalarında dijital dönüşümün mevcut durumunu inceleyerek, bu alandaki güncel durum hakkında bir genel bakış sunmuşlardır. Çalışmada ayrıca dijital dönüşümün işletme ve yönetim araştırmalarında nasıl ele alındığını, hangi konuların öne çıktığını ve hangi araştırma yöntemlerinin kullanıldığını analiz etmişlerdir. İşletme ve yönetim araştırmalarında dijital dönüşümün mevcut durumunu özetlenmesine ek olarak, ilgili dijital dönüşümün hangi konular üzerinde odaklandığını ve bu alanda hangi araştırma yöntemlerinin kullanıldığını belirlemişlerdir. Bu genel bakışla, dijital dönüşüm alanında yapılan araştırmaların gelişiminin ve gelecekteki araştırma yönelimlerinin anlaşılmasına katkı sağlamışlardır [16].

Basu ve Paritosh, akıllı fabrikalar için Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (IoT) ve İnternetin Nesneleri Gerçek Zamanlılık (IoRT) teknolojilerinin rolünü araştırarak, imalat

operasyonlarının dijital dönüşümü ele almışlardır. IIoT ve IoRT teknolojilerinin nasıl kullanıldığını, akıllı fabrikaların geliştirilmesindeki etkilerini ve imalat operasyonlarının dijitalleşmesi sürecindeki rollerini analiz etmişlerdir. Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (IoT) ve İnternetin Nesneleri Gerçek Zamanlılık (IoRT) teknolojilerinin akıllı fabrikalar için nasıl bir rol oynadığını vurgulamışlardır. Bu çalışmalarında, imalat sektöründeki dijital dönüşümün anlaşılmasına ve akıllı fabrikaların geleceği hakkında bilgi sağlamışlardır [17].

Osti, Dijital teknolojilerinin yalın üretim üzerindeki etkisi ve bu teknolojilerin yalın üretim yapan ülkeleri nasıl desteklediğini araştırmıştır. Endüstri 4.0 teknolojilerinin yalın üretim uygulamalarını nasıl geliştirdiğini ve israfını azalttığını göstermiştir. Dijital dönüşüm teknolojisinin yalın üretim ile uyumlu olması için bir çerçeve önerilmiş ve bu çerçevenin sürdürülebilir üretim ürünü oluşturmak için nasıl kullanılacağı açıklanmıştır. Sonuç olarak dijital dönüşüme bağlı yalın üretimin bütünleştirilmesi hem ekonomik hem de çevresel faydalar sağladığı ortaya konulmuştur [18].

Buchi ve diğerleri, Endüstri 4.0'ın küresel rekabet ortamında işletmeler için yarattığı fırsatlar ve zorluklar incelemiştir. Endüstri 4.0 dijital teknolojilerin üretim süreçlerine ve iş modellerine entegrasyonunu ifade eden bir kavram olup, dördüncü sanayi devrimi olarak da adlandırılmaktadır. Endüstri 4.0'ın getirdiği yenilikler, işletmelerin verimlilik, kalite, esneklik ve müşteri odaklılık gibi alanlarda performansların artırmada olanak sağlamaktadır. Ancak bu yenilikler aynı zamanda işletmelerin karşılaştığı zorlukları da artırmaktadır. Endüstri 4.0'ın fırsatları ve zorluklarını, bilgi yönetimi, rekabet avantajı ve sürdürülebilirlik gibi inovasyon boyutlarında analizleri yapılmıştır [19].

Nakicenovic ve diğerleri, dijital devrimin sürdürülebilir kalkınma için hem fırsatlar hem de zorlukları savunmuşlardır. Dijital devrimin tamamen yeni ve gelişmiş kapasiteler sağladığı ve dönüştürücü değişimin sistemik bağlamını ve gelecekteki çözümleri şekillendirmede önemli bir güç olduğunu belirtmişlerdir. Aynı zamanda, dikkatli bir şekilde ele alınmadığı takdirde güçlü bir toplumsal yıkıcı güç taşıdığı da vurgulamışlardır. 2030 gündeminin 17 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi (SKH) ve bunlarla ilişkili Altı Dönüşüm ile uyumlu olarak dijital devrimi şekillendirmek için acil olarak yönetişim ihtiyacı olduğu ifade etmişlerdir [20].

Silva ve diğerleri, dijital üretim araçlarının ve ileri üretim teknolojilerinin ortak uygulamalarını çerçevelemiş ve teknolojik eğilimleri belirlemişlerdir. Dijital üretimin uygulama alanını tanımlayan ve dijital dönüşümün Endüstri 4.0 içinde nasıl işlediğini gösteren yeni kapsamlı bir çerçeve ortaya koymuşlardır. Sunulan çerçeve, üretim yaşam döngüsü aşamalarını, her aşamada kullanılan dijital üretim araçlarını ve ilgili araçlarla birlikte kullanılan Endüstri 4.0 teknolojilerini kapsamaktadır. Çalışmada dijital üretimi kavramsal olarak konumlandırmış ve uygulama alanını sınırlandırarak katkı sağlamışlardır [21].

Albukhitan, firmaların rekabet avantajını artırmak, operasyonel verimliliği yükseltmek ve müşteri deneyimini iyileştirmek için dijital teknolojileri nasıl kullanabileceğini incelemiştir. Araştırma, güncel literatürü derinlemesine analiz ederek, dijital dönüşüm stratejilerinin faydalarını ve uygulanabilirliklerini ortaya koymuştur. Bu bağlamda, çalışma kapsamında dijital dönüşümün tanımı, özellikleri ve potansiyel etkileri ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Ayrıca, dijital dönüşüm stratejilerinin belirlenmesi ve uygulanması için kullanılabilecek çeşitli yöntemler ve araçlar incelenmiştir [22].

Pihlajamaa, dijital dönüşüm sürecinde yetkinlik kombinasyonunun rolünü inceleyerek, Finlandiya'daki üretim şirketlerindeki deneyimleri araştırmışlardır. Araştırma, dijital dönüşümün başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi için gerekli olan yetkinliklerin neler olduğunu ve bu yetkinliklerin nasıl bir araya getirilerek değer yaratma potansiyelini artırdığını ele almaktadır. Bu yetkinliklerin birleşimiyle ortaya çıkan sinerji ve iş birliğinin, dijital dönüşümün başarısını destekleyen kritik faktörler olduğunu vurgulamaktadır [23].

Eylem, Trakya Bölgesi'ndeki imalat sektöründe dijital dönüşümünün nasıl gerçekleştiğini ve bu sürecin şirketlerin performansına olan etkilerini incelemiştir. Saha araştırması, Trakya Bölgesi'ndeki çeşitli imalat şirketlerinde gerçekleştirilmiş ve şirketlerin dijital teknolojilere olan benimsenme düzeyini, kullanılan dijital araçları, dönüşüm sürecinin getirdiği zorlukları ve kazanımları gözlemlemeyi amaçlamıştır. Araştırmanın bulguları, dijital dönüşümün imalat sektöründe rekabetçilik, verimlilik ve sürdürülebilir büyüme için önemli bir fırsat olduğunu ve Trakya Bölgesi'ndeki şirketlerin bu fırsatı değerlendirmeleri gerektiğini vurgulamaktadır [24].

Yavuz, Türk savunma sanayiindeki dijitalleşme sürecinin kriterlerinin belirlenmesi ve

ölçülmesine odaklanmıştır. Türk savunma sanayiinde dijitalleşme sürecinin önemini vurgulamakta ve şirketlerin bu sürece yönelik adımlarını atarken dikkate almaları gereken kriterleri belirlemiştir. Araştırmanın bulguları, savunma sanayiinde dijital dönüşümün başarısı için stratejik planlama, teknoloji altyapısı, yetenek geliştirme ve iş birliği gibi kritik faktörlerin dikkate alınması gerektiğini göstermiştir [25].

Çizelge 2.1. Dijital dönüşüm ile ilgili literatür özeti

Kaynak No	İncelenen kriterler
[12]	Dijital teknolojilerin endüstriyel süreçlerde nasıl entegre edileceği konusundaki çalışmalar
[13]	Dijital dönüşüm modelleri ve işletmelere etkileri
[14]	Uluslararası işletmelerin dijital dönüşüm kapsamında yaşadığı zorluklar ve koordinasyonu
[15]	Dijital liderliğin dönüşüme etkisi ve motivasyonu araştırılmıştır
[16]	Dijital dönüşüm kapsamında firmaların gelişimi ve geleceği konusundaki konuları
[17]	Akıllı fabrikalar için Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (IIoT) ve İnternetin Nesneleri Gerçek Zamanlılık (IoRT) teknolojilerinin rolünü araştırarak, imalat operasyonlarının dijital dönüşümü
[18]	Endüstri 4.0 teknolojilerinin yalan üretim üzerindeki etkisi ve bu teknolojilerin yalın üretim ülkelerini nasıl desteklediği
[19]	Dijital dönüşüm kapsamında küresel rekabet ortamında işletmeler için yarattığı fırsatlar ve zorluklar
[20]	Dijital devrimin sürdürülebilir kalkınma için hem fırsatlar hem de zorluklar
[21]	Endüstri 4.0 teknolojilerinin dijital üretim üzerindeki etkisini ve bu teknolojik değişimlerin uygulama alanını nasıl değiştirdiğini ve yeni olanaklar
[22]	Operasyonel verimliliği yükseltmek ve müşteri deneyimini iyileştirmek için dijital teknolojileri nasıl kullanılacağı
[23]	Dijital dönüşüm sürecinde yetkinlik kombinasyonunun rolünü inceleyerek, Finlandiya'daki üretim şirketlerindeki deneyimler
[24]	Trakya Bölgesi'ndeki imalat sektöründe dijital dönüşümünün nasıl gerçekleştiğini ve bu sürecin şirketlerin performansına olan etkiler
[25]	Türk savunma sanayiindeki dijitalleşme sürecinin kriterlerinin belirlenmesi ve ölçülmesi

Dijitalizasyon ile ilgili çalışmalar

Bu bölümde Dijitalizasyon kapsamında yapılmış çalışmalar dikkate alınmış ve bazı çalışmalar incelenerek Çizelge 3.1’ de özet bir tablo halinde sunulmuştur.

Tetiana ve Mariana, yaratıcı endüstride dijitalleşmenin beceri geliştirme üzerindeki etkisini incelemişler ve bu alanda daha önce tartışılmamış bir perspektif sunmuşlardır. Yaratıcı endüstri çalışanlarının dijitalleşme sürecine adaptasyonunu ve dijital teknolojileri etkin bir şekilde kullanarak beceri geliştirme potansiyellerini nasıl artırabileceklerini vurgulamışlardır. Yaratıcı endüstride dijitalleşmenin beceri geliştirme için önemli bir araç olduğunu ve bireylerin bu sürece aktif olarak dahil olmalarının önemini vurgulamaktadır [26].

Gezici ve diğerleri, uluslararası ve kitle eğitiminde dijitalleşmenin rolünü incelemekte ve Türkiye için bir model önermişlerdir. Bu araştırma, uluslararası ve kitle eğitiminde dijitalleşmenin potansiyellerini ve bu alanda Türkiye için bir model önerisini ele almışlardır. Dijital teknolojilerin eğitim süreçlerine nasıl entegre edilebileceğini ve öğrencilerin öğrenme deneyimlerini nasıl zenginleştirebileceğini incelemişlerdir [27].

Forgo ve diğerleri, üretimin dijitalleşmesini ve bu durumun endüstri ve eğitim için bir meydan okuma olduğunu incelemişlerdir. Günümüzde dijital teknolojilerin hızla gelişmesiyle birlikte, üretim süreçleri de önemli ölçüde değişmektedir. Dijitalleşme, üretim sektöründe otomasyon, veri analitiği ve yapay zeka gibi teknolojilerin kullanımını içermektedir. Üretimin dijitalleşmesinin endüstri ve eğitim açısından ortaya çıkardığı zorlukları ve fırsatları ele almışlardır [28].

Ormuz, Volkswagen'in üretim sisteminin dijitalleştirilmesi konusunu ele almışlardır ve bu dönüşümün şirketin üretim süreçlerine olan etkisini araştırmıştır. Bu çalışma, Volkswagen'in üretim sistemindeki dijitalleşme stratejilerini ve bu stratejilerin şirketin üretim süreçlerine olan etkisini analiz etmişlerdir. Dijitalleşme, otomasyon, robotik sistemler, büyük veri analitiği ve yapay zekâ gibi teknolojilerin kullanımını içermektedir. Çalışmada üretim süreçlerini optimize etmek, hataları azaltmak, verimliliği artırmak ve karar verme süreçlerini iyileştirmek için bu yapılar kullanılmıştır [29].

Saqlain ve diğerleri, IoT tabanlı endüstriyel veri yönetimi için bir çerçeve sunmuşlardır ve akıllı üretim süreçlerindeki uygulamalarını incelemişlerdir. Bu teknolojiler, üretim hatlarını izlemek, sensörlerden gelen verileri toplamak, büyük veri analitiği yapmak ve gerçek zamanlı kararlar vermek için kullanılmaktadır. Bu çalışmada, IoT tabanlı endüstriyel veri yönetimi için bir çerçeve sunulmuş, üretim süreçlerinde veri toplama, iletişim, depolama,

analiz ve güvenlik gibi konuları ele alınmıştır. Çerçeve, endüstriyel işletmelere veri yönetim süreçlerini optimize etmek ve akıllı üretim sistemlerini daha etkin bir şekilde kullanılması için rehberlik etmişlerdir [30].

Thun ve diğerleri, endüstriyel iş süreçlerinin dijitalleşmesiyle ilgili olarak Endüstri 4.0 konseptini incelemiş ve bu dönüşümün işçi çalışma süreçleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Dijitalleşme, üretim süreçlerinde daha yüksek verimlilik, esneklik ve kalite sağlayabilirken, aynı zamanda işçilerin beceri gereksinimlerini ve iş rollerini değiştirebileceği aktarılmıştır. Çalışmada, endüstriyel işçilerin dijitalleşme sürecinde karşılaşabileceği zorluklar, eğitim ihtiyaçları ve uyum süreci gibi konular ele alınmaktadır. Ayrıca, çalışanların dijital teknolojilere uyum sağlama ve dijital becerilerini geliştirme konusundaki deneyimleri ve görüşlerini de incelemişlerdir [31].

Bištáková ve diğerleri, dijitalleşmenin iş değerlerine yansımasını inceleyerek dijital çağda insan yönetimi değerlerini araştırma sonuçlarına odaklanmışlardır. Dijitalleşmenin iş dünyasındaki etkileri ve değişen iş değerleri üzerine yapılan bir araştırma yer almaktadır. İnsan yönetimi değerlerinin, dijitalleşme sürecinde nasıl değiştiği, dijital teknolojilerin insan kaynakları yönetimi uygulamalarına nasıl etki ettiği ve dijitalleşme sürecindeki çalışan deneyimleri gibi konular ele almışlardır [32].

Shintre ve diğerleri, dijital imalat yaklaşımının üretkenlik iyileştirmesindeki rolünü inceleyerek, üretkenlik üzerindeki etkisini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Bu çalışmada, dijital imalatın üretkenlik üzerindeki potansiyelini ve işletmelerin dijital dönüşüm sürecindeki deneyimlerini analiz etmeyi hedeflenmişlerdir. Araştırmada, dijital imalat yaklaşımının üretkenlik üzerindeki etkileri ve bu yaklaşımın işletmelere sağladığı faydaları ele almışlardır. Dijital imalatın, üretim süreçlerinde otomasyon, veri analitiği, yapay zekâ gibi teknolojileri kullanarak verimliliği artırmada nasıl etkili olduğu incelemişlerdir. Ayrıca, dijital imalatın işletmelerin rekabet gücünü nasıl artırdığı ve operasyonel maliyetleri nasıl düşürdüğü gibi konular da araştırmışlardır [33].

Çizelge 3.1. Dijitalizasyon ile ilgili literatür özeti

Kaynak No	İncelenen kriterler
[26]	Yaratıcı endüstride dijitalleşmenin beceri geliştirme üzerindeki etkisi
[27]	Dijitalleşmenin, eğitim süreçlerinde önemli değişimleri
[28]	Dijitalleşmenin, üretim sektöründe otomasyon, veri analitiği ve yapay zekâ gibi teknolojilerin kullanımı
[29]	Volkswagen'in üretim sisteminin dijitalleştirilmesi konusunu ele almakta ve bu dönüşümün şirketin üretim süreçlerine olan etkisi
[30]	Dijitalleşmede IoT tabanlı endüstriyel veri yönetimi ve akıllı üretim süreçlerindeki uygulamaları
[31]	İş süreçlerinin dijitalleşmesiyle ilgili olarak Endüstri 4.0 konsepti
[32]	Dijitalleşmenin iş dünyasındaki etkileri ve değişen iş değerleri
[33]	Dijital imalat yaklaşımının üretkenlik üzerindeki etkileri ve bu yaklaşımın işletmelere sağladığı faydalar

MES ile ilgili yapılan çalışmalar

Bu bölümde MES kapsamında yapılmış çalışmalar dikkate alınmış ve bazı çalışmalar incelenerek Çizelge 4.1’ de özet bir tablo halinde sunulmuştur.

HAIN ve diğerleri, MES sistemi dağıtımında yeni bir yaklaşımı inceleyerek, işletmelerin üretim süreçlerini optimize etmelerine yardımcı olmayı amaçlamışlardır. Geleneksel MES sistemi dağıtım süreçlerinde yaşanan zorluklar ve eksiklikler göz önünde bulundurularak yeni bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntem ile işletmelerin daha hızlı, esnek ve etkili bir şekilde MES sistemi kurmalarını sağlayarak, üretim verimliliği ve operasyonel performanslarını artırmayı hedeflemişlerdir. Çalışmada, yeni yaklaşımın temel prensipleri ve yöntemleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. MES sistemi dağıtımının planlama aşamaları, yazılım seçimi, uygulama süreci ve entegrasyon adımları gibi konular ele alınmıştır. Ayrıca, bu yeni yaklaşımın işletmelere sağladığı avantajlar ve beklenen sonuçları da araştırmışlardır [34].

Antonio ve diğerleri, AM için Tasarımda Üretim Yönetim Sistemi MES entegrasyonu konusunda bir öneri sunmuşlardır ve AM süreçlerinde verimlilik ve kalite artışı sağlamayı amaçlamışlardır. Çalışmada, AM sürecinin her aşamasında MES entegrasyonunun nasıl gerçekleştirilebileceği detaylı bir şekilde incelenmişlerdir. Ayrıca, AM süreçlerindeki veri

paylaşımının ve iletişiminin nasıl iyileştirilebileceğini de araştırmışlardır. AM süreçlerinin daha etkin yönetimi için MES entegrasyonunun önemli bir adım olduğunu göstermişlerdir [35].

Neves ve diğerleri, üretim süreçlerinde verimliliği ve işlevselliği artırmayı hedefleyen bir MES'in nasıl uygulanacağına dair bir kılavuz sağlamışlardır. MES teknolojilerinin fabrika verimliliğini, üretim hızını ve ürün kalitesini nasıl etkileyebileceğini ayrıntılı bir şekilde incelemişlerdir. Ayrıca, MES uygulamalarının başarıyla uygulanabilmesi için gereken stratejik ve teknik kıstasları da ele almışlardır. Mevcut ve gelecekteki üretim stratejilerinde MES teknolojilerinin nasıl kullanılabileceğine dair bir anlayış ortaya koymuşlardır [36]. Soni ve diğerleri çalışmalarında, üretim endüstrisindeki iş süreçlerini optimize etmek için MES-ERP yazılımının nasıl kullanılabileceğini detaylı bir şekilde ele almışlardır. ERP sistemlerinin, veri bütünlüğünü sağlama, karar verme süreçlerini hızlandırma ve iş süreçlerini daha verimli hale getirme konusunda üretim endüstrisine sunduğu önemli avantajları incelemişlerdir [37].

Traini ve diğerleri, ürün yaşam döngüsü ve üretim işlemi sistemlerinin eşsiz üretim ortamlarında nasıl entegre edilebileceğini ele almışlardır. PLM ve MES teknolojilerinin birlikte kullanılmasının, ürün tasarımından üretimine kadar süreçlerin daha verimli ve hatasız hale getirilmesinde kritik bir rol oynadığını detaylandırmışlardır. Bu entegrasyonun başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi için gereken stratejik ve teknolojik adımları da tartışmışlardır. Bu çalışma, üretimde PLM ve MES teknolojilerinin etkin entegrasyonuna dair değerli bir kılavuz sağlamak için ve bu konudaki bilgi birikimimizi genişletmek amacıyla ortaya koyulmuştur [38]. Mantravardi ve diğerleri bu bildirilerinde, MES'in çoklu ajan teknolojileri ile nasıl geliştirilebileceğini incelemişlerdir. Çalışmada, MES çerçevesinde dinamik ve karmaşık üretim süreçlerinin yönetimini iyileştirmek için nasıl kullanılabileceğini ayrıntılı bir şekilde ele almışlardır. Ayrıca, çoklu disiplin teknolojilerinin etkin bir şekilde entegrasyonu için gereken teknik ve stratejik adımları tartışmışlardır. MES kapsamında nasıl uygulanabileceğine dair kapsamlı bir anlayış sağlamışlardır [39].

Vukadinovic ve diğerleri, dijital üretimde tek bir üretim yönetim sistemi MES modelinin nasıl uygulanabileceğini derinlemesine incelemişlerdir. Tek bir MES modeli ile iş süreçlerinin standardizasyonuna yardımcı olarak operasyonel verimliliği ve kalite kontrolünü nasıl iyileştirebileceğini ayrıntılı bir şekilde ele almışlardır. Ayrıca, bu modelin

başarılı bir şekilde uygulanması için gereken teknik ve stratejik adımları belirlemişlerdir. Dijital üretimde MES teknolojilerinin efektif kullanımına dair geniş bir anlayış sağlamışlardır [40]. Rozs ve diğerleri çalışmalarında, 21. yüzyıl endüstrisinde MES işlevlerini ve işlemlerini, özellikle iş birliği sistemleri çerçevesinde incelemişlerdir. Çalışmada, işbirlikçi sistemlerin, daha fazla süreç verimliliği, artırılmış üretim hızı ve daha iyi kalite kontrolü sağlama potansiyelini vurgulamışlardır. MES ve işbirlikçi sistemlerin etkin bir şekilde entegrasyonu için gereken teknolojik ve stratejik adımları belirlemişlerdir. 21. yüzyıl endüstrisinde MES ve iş birliği sistemlerinin etkin kullanımına dair kapsamlı bir anlayış sağlamışlardır [41].

Çizelge 4.1. MES ile ilgili literatür özeti

Kaynak No	İncelenen kriterler
[34]	Geleneksel MES sistemi dağıtım süreçlerinde yaşanan zorluklar ve eksiklikler göz önünde bulundurularak, yeni bir yöntem önerisi
[35]	Additive Manufacturing (AM) için Tasarımda Üretim Yönetim Sistemi (Manufacturing Execution System-MES) entegrasyonu
[36]	ERP sistemlerinin, veri bütünlüğünü sağlama, karar verme süreçlerini hızlandırma ve iş süreçlerini daha verimli hale getirme konusunda üretim endüstrisine sunduğu önemli avantajlar
[37]	Ürün yaşam döngüsü yönetimi (PLM) ve üretim işlemi sistemlerinin (MES) eşsiz üretim ortamlarında nasıl entegre edilebileceği
[38]	Üretim işlem sistemlerinin (MES) çoklu disiplin teknolojileri ile nasıl geliştirilebileceği
[39]	Üretim Yönetim Sistemi (MES) modelinin nasıl uygulanabileceği
[40]	MES' in modern üretim süreçlerindeki rolünün nasıl evrildiğini ve iş birliğine dayalı çözümler
[41]	MES ve işbirlikçi sistemlerin etkin bir şekilde entegrasyonuna sahip çalışmalar

DELMIA ile ilgili yapılan çalışmalar

Bu bölümde DELMIA kapsamında yapılmış çalışmalar dikkate alınmış ve bazı çalışmalar incelenerek Çizelge 5.1’ de özet bir tablo halinde sunulmuştur.

Oğulcan, koltuk üretim süreçlerinin optimize edilmesi için DELMIA V6 programının nasıl kullanılabileceğini incelemiştir. Bu çalışmada, DELMIA V6'nın koltuk üretimi süreçlerinin sanal simülasyonunu gerçekleştirmede ve üretim yönetiminde nasıl etkin bir rol oynadığını

detaylandırmıştır. DELMIA V6'nın koltuk üretiminde verimliliği artırıcı, maliyetleri azaltıcı ve kaliteyi iyileştirici potansiyeli vurgulamıştır. Ayrıca, programın süreç optimizasyonu ve kapasite planlaması gibi alanlarda nasıl kullanılabileceğine dair uygulama örneklerini sunmuştur. DELMIA V6 programının koltuk üretimi süreçlerinin yönetimindeki etkinliğine dair bu alandaki çalışmaları ortaya koymuştur [42].

Sahu, otomotiv BIW imalatında çoklu CAD ortamında EBOM' dan MBOM' a dönüşüm için bir yöntem sunmuştur. Bu çalışma, otomotiv sektöründe ürün yapılandırma bilgisi EBOM ile imalat yapılandırma bilgisi MBOM arasındaki tutarlılığı ve uygunluğu sağlamak için geliştirilen yöntemleri ayrıntılı bir şekilde ele almıştır. Bu çalışma, otomotiv BIW imalatında EBOM' dan MBOM' a dönüşümün etkin bir şekilde yapılabilmesi için bir rehber sunmuştur [43].

Yongsheng, uçakların bakım kolaylığı tasarımında DELMIA' nın etkin bir şekilde kullanılmasını ele almıştır. Bu çalışma, uçak bakım süreçlerinin optimize edilmesi ve bakım işlemlerinin daha verimli hale getirilmesi için DELMIA' nın nasıl kullanılabileceğini ayrıntılı bir şekilde incelemiştir. DELMIA' nın uçak yapı ve sistemlerinin simülasyonunu gerçekleştirerek, bakım ekiplerinin bakım işlemlerini sanal olarak deneyimlemesine imkân sağlayan yeteneklerini vurgulamıştır. Ayrıca, DELMIA' nın uçak bakımında erişim kolaylığı, hata teşhisi ve onarım süreçlerinde nasıl yardımcı olduğuna dair uygulama örneklerini sunmuştur. DELMIA' nın uçak bakım tasarımında etkin bir araç olarak kullanılmasına dair değerli bir anlayış sağlamıştır [44].

Wei ve diğerleri, akıllı üretim süreçlerinin otomatik planlanması için yeni bir yöntem sunmuşlardır. Bu çalışma, üretim süreçlerinin otomatik olarak planlanmasının önemini ve potansiyel avantajlarını ele almaktadır. Akıllı üretim sistemlerinde kullanılan DELMIA gibi dijital simülasyon araçlarının, üretim süreçlerinin otomatik planlamasında nasıl etkin bir rol oynayabileceğini ayrıntılı bir şekilde incelemişlerdir. DELMIA' nın üretim hücreleri, üretim hatları ve üretim süreçleri simülasyonu gibi yeteneklerinin, akıllı üretimde süreç otomasyonu ve optimize edilmiş üretim akışları oluşturmada nasıl kullanılabileceğine dair uygulama örneklerini sunmuşlardır. Bu çalışmalarında, akıllı üretimde DELMIA ve benzeri dijital simülasyon araçlarının kullanımının, üretim süreçlerinin verimliliğini artırmak ve zaman ve maliyet tasarrufu sağlamak için önemli bir fırsat sunduğuna dair anlayışı ortaya koymuşlardır [45].

Çizelge 5.1. Delmia ile ilgili literatür özeti

Kaynak No	İncelenen kriterler
[42]	Koltuk üretim süreçlerinin DELMIA V6 programı ile optimize edilmesi ve üretim yöntemlerinin sanal simülasyonu
[43]	Otomotiv BIW imalatında çoklu CAD ortamı
[44]	Uçakların bakım kolaylığı tasarımında DELMIA' nın etkin bir şekilde kullanılmasını araştırmış ve uçak bakım süreçlerinin optimize edilmesi
[45]	Üretim süreçlerinin otomatik olarak planlanmasının önemini ve potansiyel avantajlarını ele alarak Akıllı üretim sistemlerinde kullanılan DELMIA gibi dijital simülasyon araçlarının, üretim süreçlerinin otomatik planlaması

2.2. Literatür Değerlendirmesi

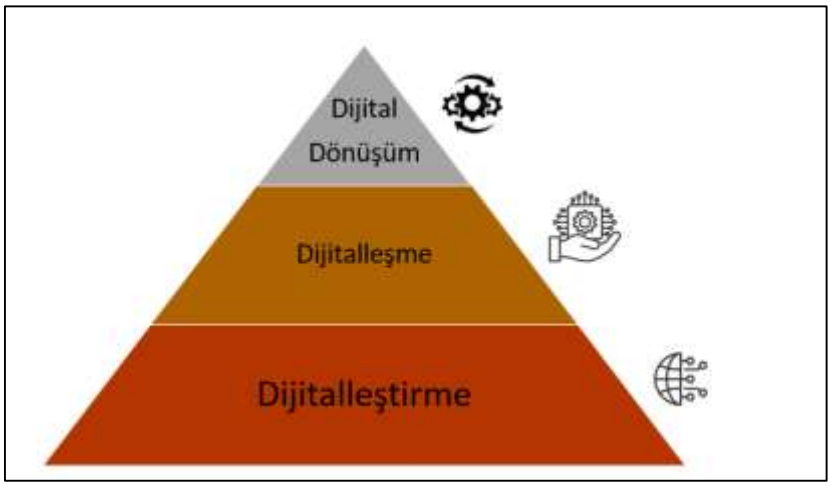
Tanımlanan konu başlıkları göz önünde bulundurulup literatür araştırmaları dikkate alındığında Endüstri 4.0 ve dijital dönüşüm kapsamındaki akademik çalışmaların günümüzde ve gelecekte etkili olmaya yoğun olarak devam edeceği gözlemlenmiştir. DELMIA konusunda yapılan çalışmaların üretim süreç ve yöntemlere dijital üretim mantığında önemli katkı sunduğu görülmüştür. Daha önce literatürde yer almayan dijital üretim değişiklik yöntemi konusunda yapılan bu çalışmanın önemli bir adım olduğu öngörülmüştür . Literatürden faydalanılan bilgiler sürecin tasarlanması, test edilen verilerin verimliliği, dijitalizasyon sürecine bağlı olarak yöntem ve model tasarımında katkı sağlamıştır.

3. KURAMSAL TEMELLER

3.1. Dijital Dönüşüm

3.1.1. Dijitalizasyon yapısı

Dijital Dönüşüm, Dijitalleşme ve Dijitalleştirme arasındaki farklar çoğu zaman karıştırılır. Bu kavramlar birbiriyle yakından ilişkilidir ancak farklı anlamlara gelirler. Dijital Dönüşüm, bir organizasyonun iş süreçlerini, kültürünü ve müşteri deneyimlerini dijital teknolojileri kullanarak temelden dönüştürme sürecini ifade eder. Bu, bir şirketin iş modelini ve operasyonlarını dijital teknolojilere dayalı olarak yeniden tasarlamasını içerir. Dijitalleşme, dijital teknolojilerin ve verilerin iş süreçlerine, hizmetlere ve ürünlere entegrasyonunu ifade eder. Dijital teknolojilerin kullanımını ve dijital verilerin analizini içerir. Dijitalleşme, iş süreçlerini ve hizmetleri daha verimli ve etkili hale getirir. Dijitalleştirme ise, analog bilgilerin dijital formata dönüştürülmesi sürecini ifade eder. Bu, belgelerin, görüntülerin veya seslerin dijital formata dönüştürülmesini içerir. Şekil 3.1'de dönüşüm yapısı sıralama olarak belirtilmiştir [46].



Şekil 3.1. Dijital dönüşüm Yapısı [46]

Dijitalleşme, dijital teknolojilerin ve verilerin iş süreçlerine entegrasyonunu ifade eder. Bu, iş süreçlerini ve hizmetleri daha verimli ve etkili hale getirir. Dijitalleşme, iş süreçlerini ve hizmetleri daha verimli ve etkili hale getirir. Dijitalleşme, iş süreçlerini ve hizmetleri daha verimli ve etkili hale getirir. Dijitalleşme, üretim süreçlerini dönüştürme ve geliştirme

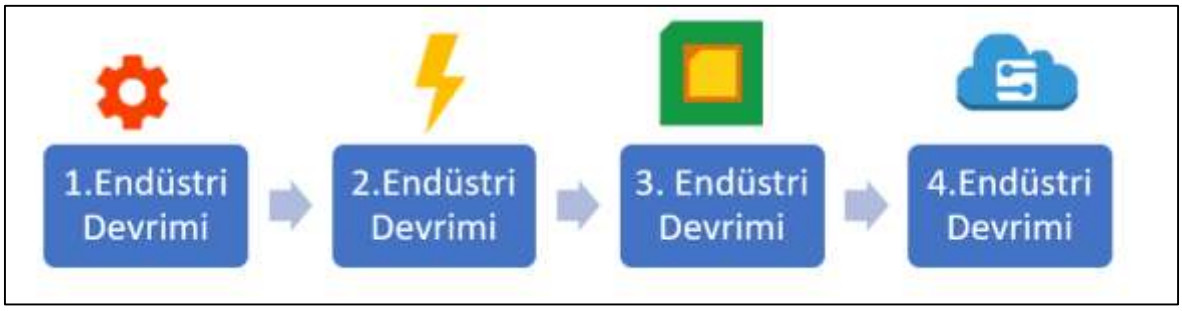
potansiyeline sahip bir kavramdır. Dijitalleşme, üretim süreçlerini dönüştürme ve geliştirme potansiyeline sahip bir kavramdır [26].

Dijitalleşmenin avantajları, dijitalleşme, üretim süreçlerini otomatikleştirir ve optimize eder, bu da işgücü maliyetlerini düşürür ve verimliliği artırır. Ayrıca, daha iyi veri toplama ve analiz yetenekleri sağlar, bu da üretim süreçlerinin sürekli iyileştirilmesine yardımcı olabilir. Dijitalleşme ayrıca, ürünlerin daha hızlı piyasaya sürülmesine ve müşteri ihtiyaçlarına daha hızlı yanıt verilmesine olanak sağlar [32]. Dijitalleşmenin dezavantajları, dijitalleşme, önemli bir başlangıç yatırımı gerektirebilir ve teknolojiyi uygulamak ve yönetmek için gerekli becerilere sahip personel gerektirebilir. Ayrıca, dijital teknolojilerin güvenliğini sağlamak için ek önlemler alınması gerekebilir. Dijitalleşme ayrıca, iş süreçlerinde ve organizasyon yapısında önemli değişiklikler gerektirir, bu da dirençle karşılaşabilir [33].

3.1.2. Dijitalizasyon aşamaları

Üretimde dijitalizasyon sürecini entegre etmek, bir dizi aşamadan oluşur. İlk aşama, bir organizasyonun mevcut iş süreçlerini ve teknolojilerini değerlendirmesi ve hangi alanların dijitalleşmeye en uygun olduğunu belirlemesidir. Bu aşama, dijitalleşme yolculuğunun başlangıç noktasını belirler ve hangi alanların öncelikli olarak ele alınması gerektiğine karar verilir. Daha sonra, uygun dijital teknolojilerin seçilmesi ve uygulanması gereklidir. Bu genellikle bir pilot proje ile başlar ve daha sonra tüm organizasyona genişletilir. Bu aşama, dijitalleşme sürecinin gerçek dünya koşullarında nasıl işlediğini görmek için önemlidir [47].

Son olarak, dijitalleşme sürecinin etkinliğini ve etkisini ölçmek için sürekli izleme ve değerlendirme gereklidir. Bu aşama, dijitalleşme sürecinin başarısını ölçmek ve gerektiğinde iyileştirmeler yapmak için kritiktir. Son olarak, bu sürecin etkinliğini ve etkisini ölçmek için sürekli izleme ve değerlendirme gereklidir. Şekil 3.2'de verilen aşamalar dijitalleşme sürecinin başarısını ölçmek ve gerektiğinde iyileştirmeler yapmak için kritiktir.

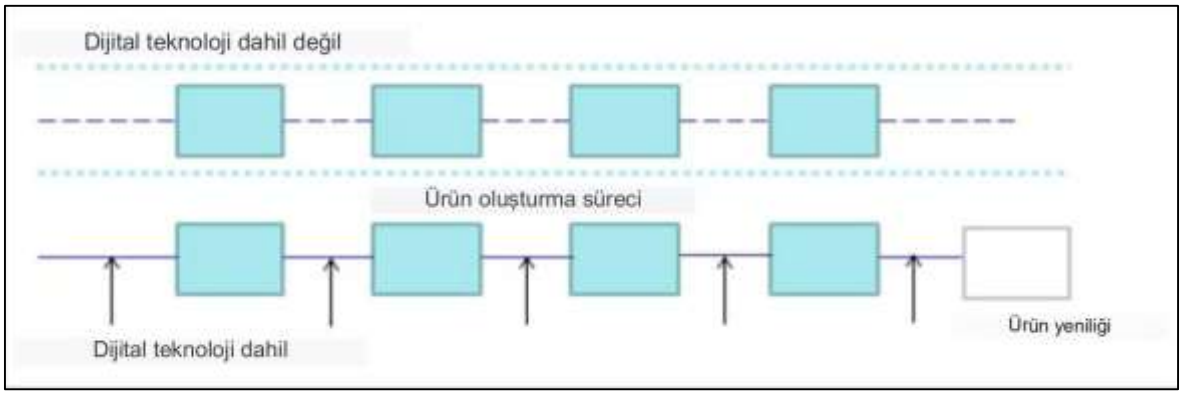


Şekil 3.2. Endüstri 4.0 aşamaları [12]

Endüstri 4.0 kapsamında süreçleri dikkate aldığımızda dijitalizasyon aşamasına geçebilmek adına öncelikli olarak dijitalleşme sürecini entegre edip yol almak gerekmektedir. Bu süreç özelinde incelediğimizde, dijital teknolojilerin benimsenmesi, geleneksel iş modellerindeki bilgi asimetrisini ele alarak işletmelerin iş modellerini dönüştürmelerine yardımcı olur [28].

Dijitalizasyon, aynı zamanda işletmelerin ürün ve hizmetlerini iyileştirmelerine ve daha müşteri odaklı bir iş modeline geçmelerine yardımcı olur. Ayrıca dijital teknolojinin iş modeli dönüşümüne en büyük katkısı, en son bilgi teknolojisinin benimsenmesiyle geleneksel iş modelindeki bilgi asimetrisini ele almasıdır. Yeterli bilgi olduğunda, dijital inovasyon derinleştirilip, bağımsız inovasyon teşvik edilir ve ürün ve hizmetleri iyileştirilir. Bu, önceki ürün satma ve fayda yaratma iş modelini ürün yaratma, talepleri karşılama ve fayda yaratma iş modeline dönüştürmeye yardımcı olur [5].

İşletme yönetim aktiviteleri açısından, dijitalleşme, personelin tüm çalışma süreci hakkında veri sağlayarak iletim sürecindeki bilgi bozulmasını önler ve personelin etkin denetimini sağlar. Geleneksel iş modelinde, yönetim aktiviteleri sadece işletmelerin temel operasyonlarının yönetimini değil, aynı zamanda ürün bilgilerinin sıralanması, kaydedilmesi ve manuel çalışma ile yansıma ve özetlemeyi de içerir. Şekil 3.3'te gösterilen akış doğrultusunda dijitalleşme tanıtıldıktan sonra, yardımcı aktiviteler, ürün tasarımı, iyileştirme ve yeniden yaratma gibi, artık işletme yönetim aktiviteleri kategorisine girmez, ancak daha önemlisi, ürün inovasyon sürecini ürün aktivitelerinin kapsamına dahil eder [48].



Şekil 3.3. Kurumsal dijitalleşme [48]

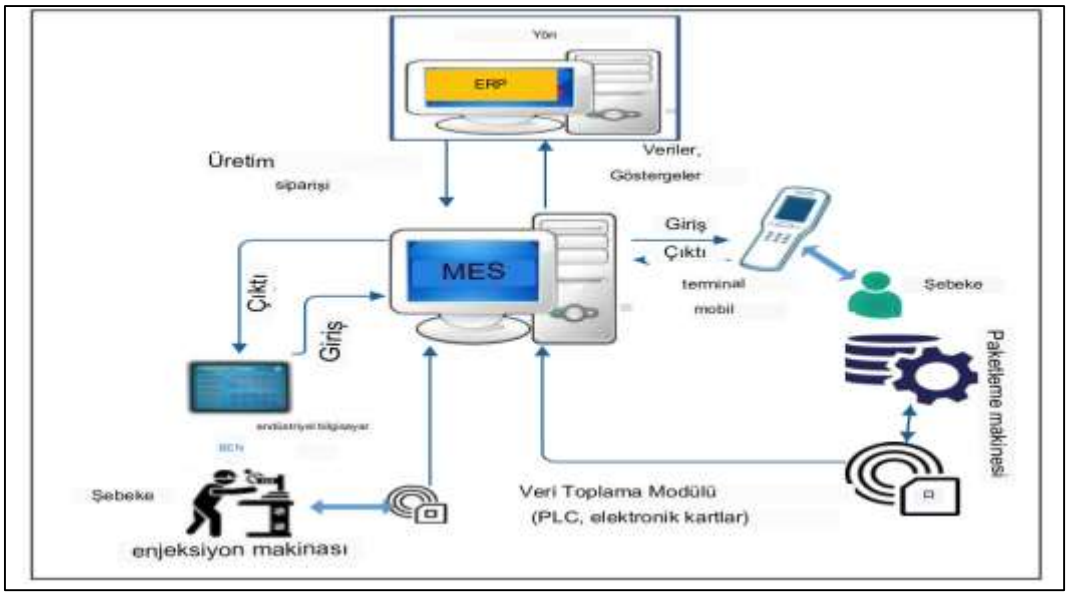
Değerlendirmeler ve literatür araştırmaları dikkate alındığında aslında dijitalizasyon aşamasında terimsel olarak bilgi sahibi ve farkındalık olması önemli hale gelmektedir. Dijitalizasyon sürecinin tam anlamıyla anlaşılması için terimsel kavramların üretim süreçleri dikkate alınarak irdelenmesi gerekmektedir. Bu durumda kalitenin, verimliğinin ve maliyetlerin azaltılması konusunda izlenmesi gereken adımların öncesinde planlı ve şirket bünyesindeki organizasyon dikkate alınarak yapılması gerekmektedir. Bu analiz ve fizibilite çalışmaları hem süreçlerin optimizasyonu hem de entegrasyonu konusunda şirketlere önemli katkılar sağlayacak ve bununla beraber IoT ve dijital ikiz uygulamalarının hızlı adaptasyonu için öncülük eder [30].

3.1.3. MES yapısı

Üretim Yönetim Sistemi (MES), bir üretim operasyonunun tüm yönlerini izlemek ve kontrol etmek için tasarlanmış bir kontrol sistemi türüdür. MES, üretim sürecinin her aşamasını, hammadde alımından bitmiş ürünün sevkiyatına kadar yönetir ve izler. Bu sistemler, üretim sürecinin verimliliğini ve etkinliğini artırmak için tasarlanmıştır. MES, genellikle bir kuruluşun ERP sistemi ile entegre bir şekilde çalışır ve üretim sürecinin her aşamasında gerçek zamanlı veri sağlar. Bu veriler, üretim sürecinin genel performansını izlemek, üretim hedeflerine ulaşmak için gereken kaynakları belirlemek ve üretim sürecindeki herhangi bir sorunu hızlı bir şekilde belirlemek ve çözmek için kullanılır [39].

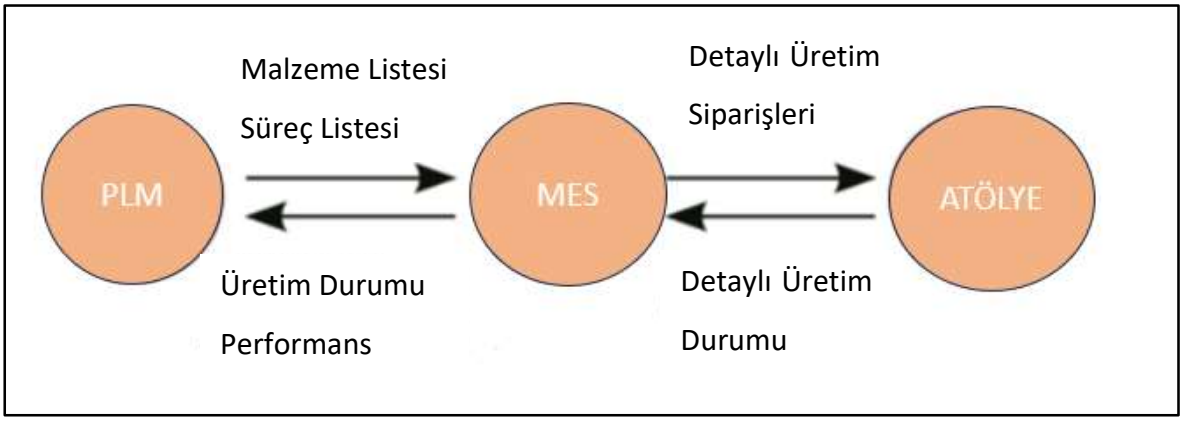
MES sistemleri ayrıca, Şekil 3.4'te gösterildiği gibi üretim sürecindeki verileri toplar ve analiz eder, böylece üretim sürecinin genel verimliliğini ve etkinliğini artırmak için fırsatları belirlemek ve iyileştirmeleri uygulamak mümkün olur. Bu analizler, üretim sürecinin her

aşamasında maliyetleri, zamanı, kaliteyi ve diğer önemli metrikleri izlemek için kullanılır. Bunun yanı sıra Üretim durumundaki değişikliklere hızlı bir şekilde yanıt verir ve düşük katma değerli faaliyetleri kesmeyi hedefler. İki yönlü bilgi akışı sağlayarak, MES, şirkete ve tedarik zincirine, gerçek zamanlı olarak, kritik veriler sağlar [34] .



Şekil 3.4. MES yapısı [34]

Dijitalizasyon kapsamında MES sisteminin entegrasyonu ve sürecin yürütülmesi her ne kadar ERP sistemi ile bağıntılı görünse de PLM sistemi ile etkileşimi de göz önünde bulundurulmalıdır. Yapılan çalışmalar neticesinde bu sistemin nasıl entegre edileceği konusunda genel süreç Şekil 3.5'deki gibi takip edildiğinde verimli bir hal alır.



Şekil 3.5. MES- PLM döngüsü [35]

Şekil 3.5'de iki bilgi sistemi arasındaki bilgi alışverişinin bir şeması gösterilmiştir. PLM-MES entegrasyonu, ürün ve süreç anlık durumları gelecek durumlarına göre karşılaştırmayı sağlar. Bu iş birliği, tüm ürün yaşam döngüsünü kapsayan bir bilgi tabanlı sistem oluşturabilir ve hızlı bir geri bildirim bilgi mekanizması oluşturabilir, bu da sürekli iyileştirme uygulamalarının uygulanması için kritiktir. İyileştirilmiş veri alışverişi, yenilikçi stratejiler planlamaya ve piyasa değişikliklerine daha iyi ve daha hızlı tepkiler vermek için önemli bir role sahiptir [49].

MES sistemi üzerinde yapılan çalışmalar incelediğinde şirket ihtiyaçlarına uygun olan birçok sağlayıcı tarafından MES sistemleri sunulmaktadır. Bu sistemler, halihazırda ERP sistemlerine sahip olan ve fabrika zemininde entegre edilecek önemli otomatik süreçlere sahip olan işletmelerde kullanılır.

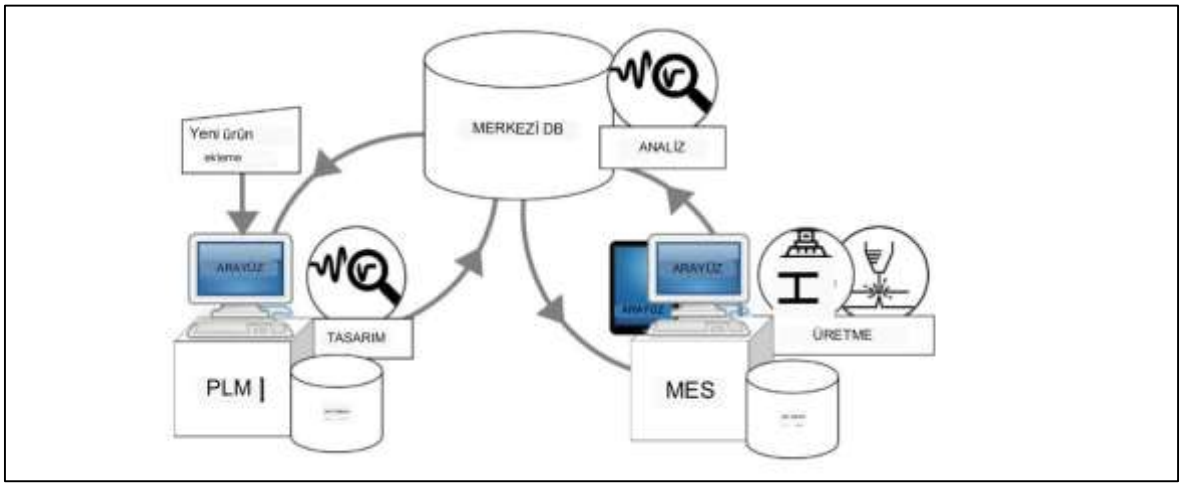
MES sistemi, karar verme sürecini ilgili, güncel ve güvenilir bilgilere dayanarak daha verimli bir yönetim sağlar, böylece üretim şirketinde ne olduğunu kontrol etmenizi sağlar. MES ayrıca, planlamayı ve tüm üretim aşamalarının uygulanmasını haritalandırır, üretim sistemlerinin kontrolüne bağlı işleme uygulamalarını işler, üretim süreçlerini optimize eder, bilgiyi demokratikleştirir ve entegre eder ve bu şekilde MES, üretim alanına ve gerçek zamanlı olarak global bir görünüm sağlar [40].

3.1.4. MES-PLM

MES sisteminin entegrasyon süreçlerinde hem ERP hem PLM sisteminin temel yapı taşları olarak büyük bir rolü vardır. Çoğu durumda her 2 platform sisteminin tam olarak devreye alınmaması nedeniyle bütünsel bir veri toplama işlemi tam anlamıyla gerçekleşmemektedir. Günümüz firmaların çoğunda MES sisteminin geliştirilmesi açısından hem ERP hem PLM destekli alt yapı çalışmaları oluşturmaktadırlar. Dijitalizasyon kapsamında özellikle verilen CAD (Computer Aided Design) ortamından transfer edileceğinden PLM ve ERP sistemlerinin birbiri ile çalışması kritik öneme sahip olmaktadır [38].

MES ve PLM arasında bu tez kapsamında yapılan araştırmalar doğrultusunda aşağıdaki Şekil 3.6'da belirtildiği üzere veri alışverişi ve bu duruma bağlı olarak verilerin aktarılması için gerekli süreçlerin tasarlanması özelinde takip edilmiştir. Oluşturulan vaka özelinde deneme ve yanılma yöntemine bağlı olarak IoT üzerinden aslında bir nevi ileriye yönelik alt

yapı oluşturulması gündeme gelmiştir. Ek olarak verinin çekilmesi ve görüntülenmesi hem MES hem PLM sistemi üzerinden incelenerek oluşturulmuştur [37].



Şekil 3.6. MES-PLM entegrasyon [38]

Önerilen süreçte, yeni bileşenlerin kritik gerçekleştirmeleriyle ilgili tüm bilgilerin yapılandırılmış bir şekilde toplanmasına olanak tanıyacak, böylece deneyim kazanımlarının eklenen değerlerinin yanı sıra diğer yararlı ipuçlarının da kullanıcıya sunulmasını sağlayacaktır ve bilginin yeniden kullanımını sağlayacak, yani tasarımcılara yeni ürünler için daha güvenilir süreçlerin tanımlanmasına yardımcı olarak, şekillendirme süreçlerinin geliştirilmesinde "deneme-yanılma" döngülerini azaltacaktır [38].

Seçilen ürün daha sonra PLM platformunda bulunur ve gerekli değişiklikler yapılır. Yeni ürüne ilişkin bilgiler merkezi veri tabanına gönderilir ve MES tarafından erişilebilir hale getirilir. MES, üretimi yönetmek için ürün bilgisini kullanır ve üretim tamamlandığında her faaliyetin gerçekleştirilmesiyle ilgili bilgileri ve ürünün başarı veya başarısızlığını merkezi veri tabanına rapor eder. Başarısızlık durumunda, şirket her faaliyet için rapor edilen ara sonuçları kontrol edebilir ve daha iyi bir çözüm elde etmek için nasıl ilerleyeceğine karar verebilir [49].

3.2. 3D Experience

3D Experience platformu, geniş bir yelpazedeki endüstrilerde faaliyet gösteren şirketlere katma değer sağlamak için tasarlanmıştır. Otomotiv, havacılık, savunma, enerji, sağlık,

tüketici ürünleri ve daha pek çok sektörde, yenilikçi ürünlerin tasarımından üretimine kadar tüm süreçlerin entegrasyonunu sağlar. Bu platform, sanal deneyimler aracılığıyla ürünlerin gerçekçi simülasyonlarını sunarak, hızlı prototipleme ve üretim süreçlerini optimize eder. Ayrıca, veri analitiği ve yapay zekâ gibi teknolojileri kullanarak, daha iyi kararlar almak için kritik bilgilere erişim sağlar. Dassault Systèmes'in müşterilerinin gerçek dünyadaki sorunlarına çözüm sunan 3D Experience platformu, endüstriyel süreçleri dönüştürerek şirketlerin rekabet gücünü artırırken, hızlı ve sürdürülebilir yenilikçilik sağlamaktadır [3].

3.2.1. PLM

PLM, ürün yaşam döngüsü yönetimi için kullanılan bir bilişim sistemidir. Bu sistem, bir ürünün tasarımından başlayarak üretim, dağıtım, kullanım ve sonlandırma aşamalarına kadar olan süreçlerin tümünü kapsar. PLM, bir organizasyonun ürün verilerini, belgelerini, süreçlerini ve diğer ilgili bilgileri bir araya getirerek bu bilgilerin etkin bir şekilde yönetilmesini sağlar [1]. Ürünün tam yaşam döngüsü birçok karmaşık süreci içerir ve çok sayıda bilgisayar tabanlı uygulama/sistem kullanır. Yönetim paradigması olarak, PLM bir şirketin ürünle ilgili entelektüel sermayesini ürünün ilk tasarımından tamamlanana kadar yaratma ve yönetme kavramları içerisinde stratejik bir yaklaşımıdır. PLM konsepti, ağ tabanlı firmaların ve ağ tabanlı ekonominin ortaya çıkmasıyla, genellikle organizasyonel yapı seçimi için işlem maliyeti modelini temel alan pazar veya hiyerarşi tabanlı organizasyonlara karşı kabul görmektedir [49].

PLM desteği, tüm uygulama alanlarında, tüm ürün yaşam döngüsü karar süreçlerinde bilginin modellemesini, yakalanmasını, manipülasyonunu, paylaşımını ve kullanımını içerir. Şu anda, PLM uygulamaları arasında paylaşılacak bilgi içeriğinde açıkça tanımlı anlamsal ve bağlamsal eksiklikler büyük bir sorundur. Veri anlamlarını açık, bağlam bilincine sahip ve ürün yaşam döngüsü uygulamaları arasında paylaşılabilir hale getirmek büyük bir zorluktur. Uyum sağlayabilen bir organizasyonun işleyebilmesi için katılımcılar arasında iyi tanımlanmış bilgi alışverişi süreçlerini destekleyen bir bilgi altyapısı kritik öneme sahiptir.

PLM sistemi, ürün geliştirme sürecindeki farklı paydaşlar arasında iş birliği ve bilgi paylaşımını kolaylaştırır. Tasarımcılar, mühendisler, üretim yöneticileri, tedarikçiler ve müşteriler, PLM sistemi üzerinden ürünle ilgili bilgileri güncel tutabilir, tasarım değişikliklerini yönetebilir ve süreçleri izleyebilir. Bu sayede, ürünün yaşam döngüsü

boyunca tüm paydaşlar arasında koordinasyon ve iletişim sağlanır. PLM sistemi aynı zamanda ürün verilerinin merkezi bir depolama ve erişim noktasıdır. Ürünle ilgili CAD çizimleri, teknik şartnameler, montaj talimatları, test sonuçları gibi bilgiler, PLM sistemi içinde yapılandırılmış bir şekilde saklanır. Bu sayede, ürün bilgilerine kolaylıkla erişilir ve güncel tutulur [50].

Dijitalizasyon çağında, PLM yapısı şirketlerin rekabet avantajı elde etmeleri ve üretkenliklerini artırmaları için kritik bir rol oynamaktadır. PLM, ürünün tasarım, üretim, dağıtım ve hizmet aşamalarında bilgi ve süreçlerin bütünleşmiş bir şekilde yönetilmesini sağlar. Bu yapı, ürün verilerini tek bir merkezi veri tabanında toplayarak, bilgi paylaşımını kolaylaştırır ve iş birliğini artırır. Böylece, şirketler hızlı ve etkin kararlar alabilir, ürünlerini daha hızlı piyasaya sürebilir ve müşteri taleplerine daha iyi cevap verebilir. Burada PLM döngüsünün asıl etkisini tasarım tarafında düşünmek bir yanılgıya sebep olabilir. Günümüz teknolojisinde artık tüm üretim prosesleri bu döngü çerçevesinde etki altına girmiştir [51].

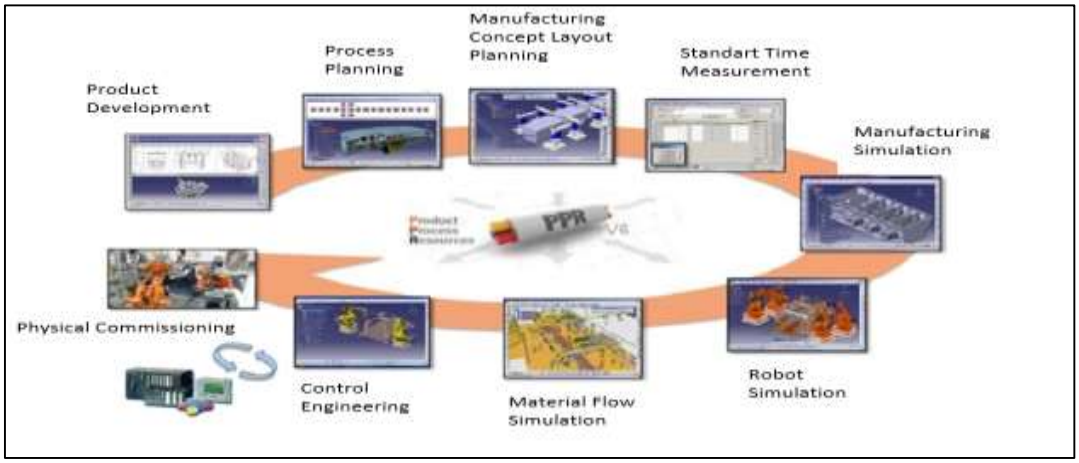
Tasarım sonrası oluşacak olan tüm süreçler direk olarak PLM döngüsü ile beraber üretimde büyük bir öneme sahip olmuştur. Sistem tasarımı, parça tasarımı ve buna ek olarak tüm belgelerin yayınlanma sürecinden akışına kadar üretim süreçleri de artık bu döngün sayesinde sürdürülebilir bir çerçeve içerisindedir. Üretim süreçleri üzerindeki etkisiyle, şirketlerin operasyonel etkinliğini ve üretim verimliliğini artırmalarına yardımcı olmaktadır. Bu entegrasyon, üretim süreçlerinde daha iyi bir iş birliği ve veri paylaşımını beraberinde getirir [52].

PLM yapısının üretime olan etkileri birçok araştırma tarafından incelenmiştir. Örneğin, Chen ve ekibi tarafından yapılan bir çalışmada, PLM'nin üretim maliyetlerini azalttığı ve işletmelerin üretim süreçlerini optimize etmelerine yardımcı olduğu bulunmuştur. Ayrıca, Smith ve Jones tarafından gerçekleştirilen bir başka araştırmada, PLM'nin üretim süreçlerindeki hataları önemli ölçüde azalttığı ve kalite kontrolünü artırdığı belirtilmiştir [50,51].

3.2.2. DELMIA V6

DELMIA'nın açılımı, "Digital Enterprise Lean Manufacturing Interactive Application" yani "Dijital Kurumsal Verimli Üretim Etkileşimli Uygulama" anlamına gelir. Bu açılım,

Dassault Systèmes'in üretim simülasyonu ve dijital imalat platformu olan DELMIA'nın temel felsefesini ve amacını yansıtmaktadır. DELMIA, üretim süreçlerini dijital ortamda optimize etmek, simüle etmek ve yönetmek için kullanılan bir yazılım çözümüdür [3]. Bu yenilikçi çözüm, üretim süreçlerini optimize etmek ve sanal ortamda simüle etmek için sektörde öncü araçlar sunar. Kullanıcılar üretim operasyonlarını daha verimli hale getirme, maliyetleri azaltma ve ürün teslimatını zamanında gerçekleştirme konularında kapsamlı bir çözüm sunmayı hedefler [3]. Üretim süreçlerinin karmaşıklığını yönetmek ve fabrika performansını artırmaktır. Bu platform, Şekil 3.7'deki gibi kullanıcılara üretim süreçlerini planlama, yönetme, optimize etme ve simülasyon yapma konusunda güçlü araçlar sağlar. Kullanıcılar, sanal bir fabrika ortamında gerçek zamanlı olarak üretim süreçlerini simüle edebilir, hataları önceden tespit edebilir ve verimliliği artırmak için iyileştirmeler yapılır.



Şekil 3.7. PPR yapısı kapsamı [3]

DELMIA'nın özellikleri arasında üretim planlama ve yönetimi, kaynak optimizasyonu, üretim hatları simülasyonu, malzeme yönetimi ve tesis düzenlemesi gibi alanlara yönelik özel modüller bulunmaktadır. Bu modüller, kullanıcılara gerçek zamanlı veri analizi, senaryo tabanlı karar destek, optimizasyon araçları ve raporlama yetenekleri sunar. Kullanıcılar üretim süreçlerini daha iyi planlar, kaynakları daha verimli bir şekilde kullanabilir ve karar alma süreçlerini iyileştirir. DELMIA aynı zamanda tasarım süreçleri ile birebir entegrasyon sağlayabilme yeteneğine de sahiptir. CAD verilerini doğrudan alabilir ve üretim süreçlerini bu tasarım verilerine dayanarak simüle edebilir. Bu entegrasyon sayesinde tasarım ve üretim arasındaki uyum artırılır ve tasarım süreci optimize edilirken hataların önceden tespit edilmesi sağlanır. Dünya genelinde birçok sektörde faaliyet gösteren büyük şirketler tarafından tercih edilmektedir.

4. YÖNTEM VE TASARIM

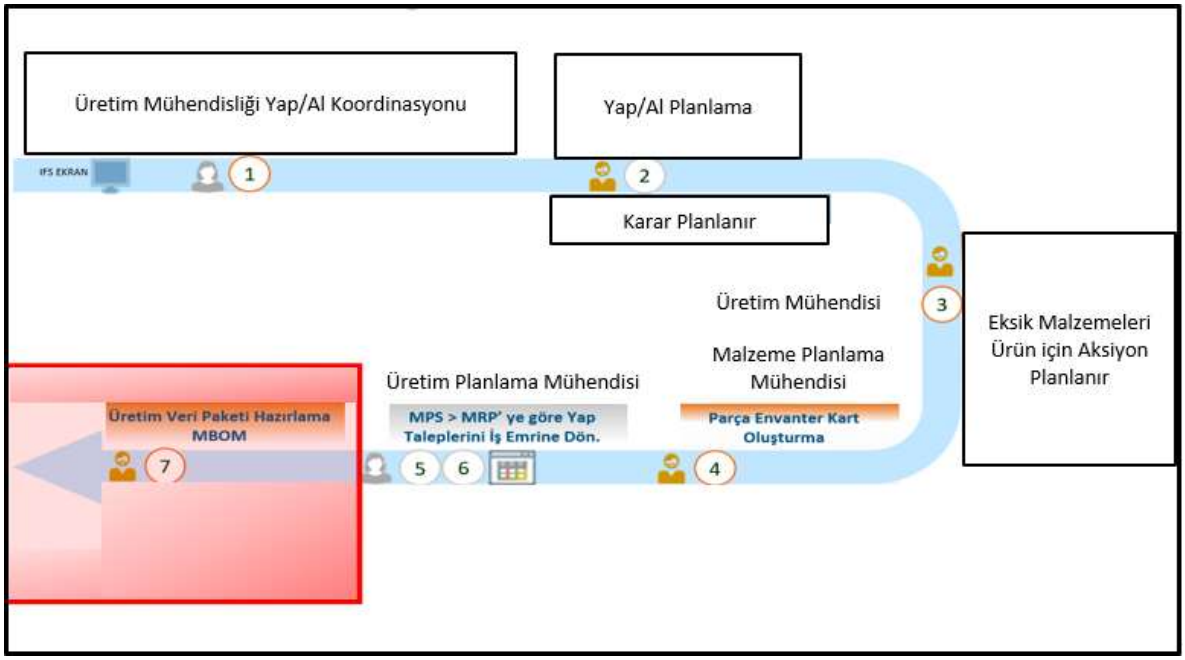
4.1. MBOM ve İş Talimatı Süreç Yöntemi

MBOM, ürünün üretim sürecinde kullanılan bileşenlerin ve malzemelerin listesini içeren bir yapıdır. Bu bilgiler, üretim operasyonlarının doğru bir şekilde planlanması ve yönetilmesi için kritik öneme sahiptir. ERP sistemleri ise şirketlerin kaynakları, envanteri, üretim süreçlerini ve diğer iş operasyonlarını entegre bir şekilde yönetmelerine yardımcı olan yazılım sistemleridir. MBOM ve ERP entegrasyonu, üretim süreçlerinin daha verimli ve etkili bir şekilde yönetilmesini sağlar. Bu entegrasyon sayesinde, MBOM verileri doğrudan ERP sistemine aktarılır ve üretim süreçleriyle ilişkilendirilir. Bu sayede, doğru malzeme ve bileşenlerin kullanımı, envanter yönetimi, üretim planlaması ve maliyet hesaplamaları daha kesin ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilir. Ayrıca, MBOM ve ERP entegrasyonu, gerçek zamanlı veri paylaşımı, raporlama ve analiz imkanları sunarak şirketlere daha iyi kararlar alabilme yeteneği sağlar. Bu entegrasyon, üretim süreçlerinin izlenebilirliğini artırır ve şirketlere rekabet avantajı sağlar [3].

MBOM olarak bilinen yapı, üretim sürecindeki adımların ve ilişkilerin belirlenmesinde büyük bir rol oynar. Ürün tasarımcılarının belirlediği ürün yapısı, üretim aşamalarına uygun bir şekilde analiz edilerek MBOM oluşturulur. Üretim mühendisleri, bu süreçte kullanılacak bileşenlerin özelliklerini, montaj talimatlarını, üretim sırasını ve işçilik bilgilerini detaylı bir şekilde dikkate alır. MBOM oluşumunda, tasarım departmanının oluşturduğu ürün tasarım verileri temel alınır. Bu veriler, parça listesi, bileşenlerin teknik özellikleri, montaj talimatları ve ilişkilerini içerir. Üretim mühendisleri, bu verileri analiz ederek, kullanılacak bileşenlerin listesini ve montaj sırasını belirler. Aynı zamanda, doğru miktar ve özelliklere sahip malzemelerin kullanımı için malzeme gereksinimlerini de göz önünde bulundururlar.

MBOM oluşumu, üretim maliyetlerinin hesaplanmasında da kritik bir rol oynar. Üretim mühendisleri, bileşen maliyetlerini, işçilik maliyetlerini ve diğer üretim süreciyle ilgili maliyet faktörlerini dikkate alarak, ürünün toplam maliyetini hesaplarlar. Bu maliyet hesaplamaları, şirketin karar verme süreçlerine ve maliyet analizlerine temel teşkil eder.

Maliyet faktörlerini dikkate alarak, ürünün toplam maliyetini hesaplarlar. MBOM oluşumu öncesi mevcut süreç dikkate alındığında, M/B (Make / Buy) veya yap/al kararı döngüsünün başlaması gerekmektedir. Bu döngü için öncesinde tasarım parça ve sistem yayınlarının PLM döngüsü kapsamında tamamlanıp ilk aşamada PDM-ERP yapısına manuel transferi söz konusu olur. PDM yapısına veriler taşındığında ilk aşamada oluşturulan alt yapı ile IFS programı üzerinden karar verici ilgilisine neticelendirme için bilgi düşer ve karara bağlı olarak süreç üretim mühendisliği kapsamına girer. MBOM gereksiniminin oluşturulması için manuel olarak Excel veri tabanı kullanılarak ilgili parça verileri girilir ve yine manuel olarak transfer edilmesi sağlanır. Bu süre zarfında verilen karar neticesinde ilgili sistem veya parça için bir envanter kartı girdisi oluşur. Envanter kartının oluşması ve MBOM gereksiniminin manuel olarak transferi sonrası MRP tetiklenerek bir iş emri süreci başlar ve yine üretim mühendisliği döngüsü kapsamında hem MBOM hem iş talimatı ÜVP kapsamında hazırlanır.Şekil 4.1 incelendiğinde özetle temel kurgulama yap-al kararlarının verilmesi ve planlanmasının akabinde gereklim esnek üretim sürecinin uzantılara bağlı oluşumu ve sonrasında MRP sürecindeki envanter kartının devreye alınmasıdır. Bu şekilde oluşturulan parça karakteristiği ile iş emri oluşturulur. İş emri yürürlüğe girdiğinde hem MBOM'a hem iş talimatı aynı anda oluşmuş olacaktır.



Şekil 4.1. Excel MBOM süreci

4.2. İş Talimatı Sistemi

Üretim veri paketinin hazırlanması sürecinde iş talimatı sistemi, üretim sürecinin yönetilmesi ve talimatların doğru ve tutarlı bir şekilde iletilmesi için kritik bir rol oynar. İş talimatı sistemi, işletmelerin üretim sürecini adım adım açıklayan ve çalışanlara yol gösteren talimatları içerir. Bu talimatlar, üretim sürecinin başarılı bir şekilde uygulanması ve ürünlerin kalite ve standartlara uygun olarak üretilmesi için önemlidir [51]. İş talimatı sistemi, işletmelerin süreçlerini belirli bir standart ve yönergeler doğrultusunda organize etmelerini sağlar. Bu sistem, işletmelerin talimatları standartlaştırmasını, süreçlerin tutarlılığını sağlamasını ve hataları en aza indirmesini destekler. Böylece, çalışanlar talimatlara uygun bir şekilde hareket edebilir ve üretim süreci daha verimli ve hatasız bir şekilde gerçekleştirilir.

İş talimatı sistemi, aynı zamanda eğitim süreçlerinde de büyük öneme sahiptir. Yeni çalışanların ve operatörlerin iş süreçlerini hızlı bir şekilde öğrenmelerini ve doğru şekilde uygulamalarını sağlar. Bu sistem, çalışanların işlerini daha iyi anlamalarını ve talimatlara uygun olarak hareket etmelerini destekler. Böylece, hata oranı azalır, kalite iyileşir ve iş süreçlerindeki verimlilik artar. İş talimatı sistemi aynı zamanda süreç belgelendirmesi ve izlenebilirlik açısından da önemlidir. Fakat mevcut süreç Excel tabanlı olarak ilerlediğinde hem kısıtlamalara sebebiyet vermekte hem de manuel operasyon ve hamleler içerdiğinden çalışma amacında iyileştirme faktörleri göz önünde bulundurulduğunda günümüz teknolojik ve etkileşimli yapısında yetenek olarak geri kalmaktadır.

4.3. DELMIA V6 Süreçleri

4.3.1. Rol ve modüller

Temel anlamda süreçlerin ana temasını dikkate aldığımızda DELMIA programı, alt yapı olarak tasarım – üretim bağıntılı haliyle kurgulanmıştır. Bu kurgu doğrultusunda roller ve modüller ortaya çıkmış ve müşteri isterlerine bağlı olarak planlanmıştır. Bu tez çalışmasında hem PPR hem PPL rolleri altında kullanılan modüller ve bunların süreçlerdeki proseslerine değinerek deneme ve süreçlerimizi ortaya koyulur.

DELMIA V6 yazılımı, üretim süreçlerinin planlanması, simülasyonu ve yönetimi için kullanılan bir endüstriyel yazılım paketidir. DELMIA'nın işlevsel yapısı, üretim süreçlerinin etkin bir şekilde planlanması ve başlatılması için kritik rolleri içerir. Bu roller, PPR ve PPL olarak adlandırılır. Üretim süreçlerinin ayrıntılı bir şekilde planlanması ve doğrulanmasıyla ilgilenir. PPR rolündeki kişiler, üretim sürecinin her adımını analiz eder, iş istasyonlarını tasarlar ve iş talimatlarını oluşturur. Ayrıca, simülasyon ve sanal prototipleme araçlarını kullanarak üretim sürecini optimize etme ve hataları önleme amacıyla doğrulama yaparlar. PPR, üretim verimliliğini artırmak, maliyetleri azaltmak ve kaliteyi iyileştirmek için önemli bir rol oynar.

PPL ise üretim sürecinin planlanması, koordinasyonu ve başlatılmasıyla ilgilenir. PPL rolündeki kişiler, üretim sürecinin zaman çizelgesini oluşturur, malzeme gereksinimlerini belirler ve üretim kaynaklarını yönetir. Ayrıca, üretim takvimi ve kaynaklarının optimize edilmesi için planlama ve programlama görevlerini üstlenirler. PPL, üretim sürecinin düzgün bir şekilde başlatılmasını sağlar ve tedarik zinciri ile entegrasyonu koordine eder.

Delmia PPR ve PPL rolleri, Şekil 4.2'de gösterilen modüller aracılığıyla desteklenir. Modüller, belirli işlevleri yerine getirmek ve kullanıcıların ihtiyaçlarına göre özelleştirilmiş çözümler sunmak için tasarlanmıştır. Örneğin, PPR modülleri, iş istasyonu tasarımı, simülasyon ve doğrulama araçlarını içerir. PPL modülleri ise üretim takvimi yönetimi, malzeme yönetimi ve üretim kaynaklarının planlanması gibi işlevleri kapsar. Bu modüller, Delmia yazılımının esnekliği ve özelleştirilebilir olması sayesinde, şirketlerin spesifik ihtiyaçlarına göre uyarlanabilir ve optimize edilebilir [3].

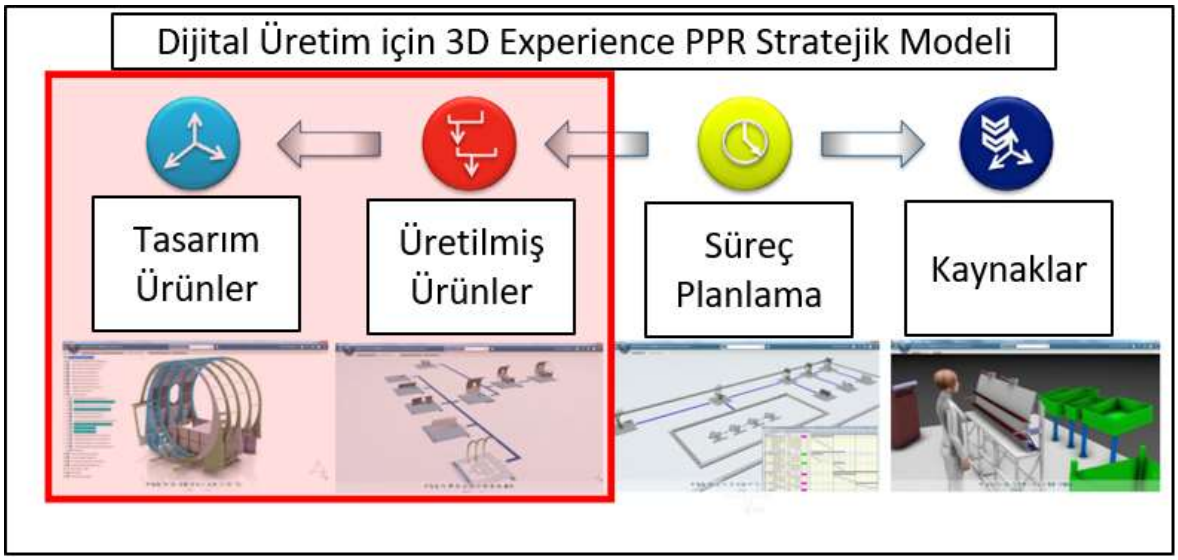
Üretilen Ürün Tanımı	Süreç Planlama	İş Talimatı	MFG İçerik Oluşturucu	Planlama Yapısı

Şekil 4.2. Delmia mfg modülleri [3]

Hem roller hem temel kurgu olarak Şekil 4.3'teki gibi özetlemek gerekirse, Tasarım süreçlerinin tamamlanması ile beraber yayınlanma süreci tamamlanır. EBOM artık PDM' e

veri akışı konusunda hem kontrol hem ilerleme için uygun hale gelir. Üretim hizmetleri veya ilgili birimler bu bağıntılı durumda konfigürasyona eşlenik yapıyım MBOM seviyesinde sürece bağlar. İlgili tasarım objelerinin üretim veri objelerine çevrilmesi Manuf Item Definition kısmında gerçekleşir. Gösterildiği üzere artık üretim sorumlusu bundan sonrası için süreci tamamen revizyon ve operasyon adımlara bağlı kalarak süreç planlama safhasına geçer. MBOM objelerinin üretim operasyonlarına göre oluşturulması ile beraber sıralama Process Plan kısmında içerisinde gerçekleşir. Tüm objelerin atanması ve kontrolü bu ara geçişlerde BI (Business Intelligence) komutları ile gerçekleşir. İlgili üretim fonksiyonunun gerçekleşmesi için gerekli aparat, bağlama kalıbı, takımlar ve yardımcı ekipmanların hepsi Resource bölümünde alt modüllerine bağlı olarak gerçekleşir. Alt modül kırınımlarının detaylarına inmeden önce temel yapının aslında birbiri ile bağıntılı ve kontrol edilebilir olduğunu net olarak aşağıdaki özet akışta görülür. Tez çalışmasında süreç kurguları, üretim fonksiyonlarının entegrasyonu ve proseslerin planlanması ve diğer birimler ile etkileşimleri bu kurgu üzerinden ilerler.

Tasarım yayını sonrası MBOM sürecinde Manuf Item Definition, Sürecin sıralanması ve operasyonel olarak parçaların sıralamaya atanması konusunda Process Plan, İlgili yardımcı aparat, takım, fikstür ve bağlama kalıplarının kullanımı ve atanması noktasında Planning Structure yapıları ile süreç devreye alınır.



Şekil 4.3. 3D experience ppr temel yapısı [3]

Şekil 4.3'te verilen bilgiler açıklandığında yol haritası daha da netleşmiş olacaktır. Ürün tasarımı, bir ürünün yaratıcı fikirden başlayarak fiziksel bir ürün haline gelmesi sürecini kapsar. Bu süreçte, ürünün tasarımı, gereksinimlerin belirlenmesi, konsept oluşturma, prototipleme ve nihai tasarım aşamalarını içerir. Ürün tasarımı süreci tamamlandıktan sonra, üretim sürecinin başarılı bir şekilde yönetilmesi için MBOM oluşturulması gerekmektedir. Ürünün üretim sürecinde kullanılan bileşenlerin ve malzemelerin listesini içeren kritik bir dokümandır. MBOM, ürün tasarımının üretim aşamalarına uygun olarak analiz edildiği ve bileşenlerin doğru bir şekilde belirlendiği bir sürecin sonucudur. Üretim mühendisleri, ürün tasarım verilerini kullanarak bileşenlerin özelliklerini, montaj talimatlarını, üretim sırasını ve ilgili işçilik bilgilerini detaylı bir şekilde göz önünde bulundururlar. Bu bilgiler, MBOM'un doğru ve eksiksiz bir şekilde oluşturulmasını sağlar [52].

MBOM oluşturulduktan sonra, kaynak planlama aşamasına geçilir. Kaynak planlaması, üretim sürecindeki gereksinimleri karşılamak için gerekli olan işgücü, makine, malzeme ve diğer kaynakların planlanması ve tahsis edilmesini içerir. Bu aşamada, üretim mühendisleri ve planlama ekibi, üretim sürecinde ihtiyaç duyulan kaynakları belirler ve bunların kullanılabilirliğini değerlendirir. Kaynak planlaması, optimum verimlilik ve maliyet tasarrufu sağlamak için doğru kaynakların doğru zamanda kullanılmasını sağlar [50]. Bu akışta, ürün tasarımı süreci, MBOM oluşturma ve kaynak planlaması arasında bir bağlantı bulunmaktadır. Ürün tasarımı tamamlandıktan sonra, üretim süreci için gerekli olan bileşenler ve işçilik bilgileri MBOM içerisinde belirtilir. Ardından, kaynak planlaması ile bu bileşenlerin üretimi için gerekli kaynaklar ve kaynakların tahsis edilmesi planlanır. Bu akış, üretim sürecinin etkin ve verimli bir şekilde yönetilmesini sağlar, ürün kalitesini iyileştirir ve maliyetleri optimize eder [50].

4.3.2. Modül süreçleri ve akış oluşturma

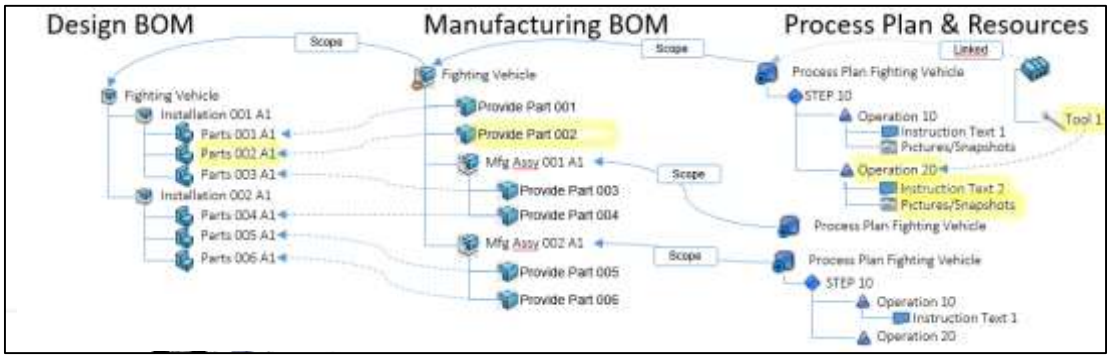
MBOM

Delmia yazılımı, MBOM oluşturulmasını kolaylaştıran çeşitli komutlar ve modüller sağlamaktadır. Bu yazılım, kullanıcıların üretim bileşenlerini tanımlamalarına, ilişkilerini belirlemelerine ve sürecin doğru bir şekilde yönetilmesine yardımcı olur. MBOM oluşturma süreci, bir dizi adımdan oluşur ve her adım MBOM'un doğru ve eksiksiz bir şekilde oluşturulmasını sağlar. İlk adım, üretim bileşenlerinin tanımlanmasıdır. Delmia yazılımı,

kullanıcılara bileşenleri tanımlama imkânı sunar. Bileşenlerin adları, kodları, ölçüleri, malzeme özellikleri ve diğer teknik bilgileri girilerek, MBOM oluşturulmasının temel taşları atılır. İkinci adım, bileşenler arasındaki ilişkilerin belirlenmesidir. Delmia yazılımı, bileşenler arasındaki üst-alt ilişkileri, montaj aşamalarını ve bağımlılıkları belirlemek için araçlar sağlar. Bu sayede, bileşenlerin doğru bir şekilde monte edilmesi ve ürünün üretim sürecindeki adımlarının tam olarak takip edilmesi sağlanır. İlişkilerin doğru bir şekilde belirlenmesi, üretim sürecindeki hataları en aza indirir ve ürünün kalite ve standartlara uygun olarak üretilmesini sağlar [50].

Üçüncü adım, işlemlerin ve işçilik bilgilerinin tanımlanmasıdır. Delmia yazılımı, kullanıcılara işlemleri tanımlama ve işçilik bilgilerini belirleme imkânı sunar. İşlemler, üretim sürecinde gerçekleştirilen adımları ve işçilik bilgilerini içerir. Bu adımlar, iş adımlarını, talimatları, gereksinimleri, süreleri ve diğer ilgili bilgileri içerebilir. İşçilik bilgileri ise iş istasyonlarını, operasyon sürelerini, operatör becerilerini ve diğer işçilik faktörlerini içerir. İşlemlerin ve işçilik bilgilerinin doğru bir şekilde tanımlanması, üretim sürecinin hatasız ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlar.

ÜVP hazırlanmadan önce tasarım ürün ağacının yayına açık halde serbest bırakılması gerekmektedir. Bu işlemler özelinde DELMIA temel kurgu kapsamında linkler ile tasarımda kullanılan Planning Structure modülünde aktif haldeyken üretim objelerine çevrilir. Bu objeler karşılık olarak 1.seviye Manuf Assembly ve 2. Seviye olarak provide part objelerine dönüştürülür. Bu dönüştürme ile tasarım karakteristiği linkler yardımıyla taşınır. Konum, pozisyon, bağlantılı olduğu tasarım parçası kapsam olarak belirtilen çerçeve içerisine geçiş yapar. Tüm MBOM objesine dönüştürme süreçleri tamamlandığında, eğer ürün döngüsü çalışma durumu ve serbest bırakılan halde ise buna göre konfigürasyon yapısı takip edilmelidir. Eğer her koşul şirket kararları ve süreçleri doğrultusunda tasarlandıysa program bundan sonra yapılacak hem operasyonel aksiyonlar hem planlama aksiyonlarını MBOM parça listesi üzerinden yürür. MBOM objelerinin ürün ağacı geçişi Şekil 4.4’te verildiği gibi tüm süreçlerde bu parçaları kapsar ve bu kapsam tasarım, üretim parça listesi ve üretim planlama olarak devam eder.



Şekil 4.4. Delmia tasarım-üretim mbom yapısı

Tüm aktarılan süreç tamamen üretim mühendisliği koordinasyonu ve aksiyonu dikkate alınarak ilerler. Bu durumda diğer kontrol ve operasyonel birimlerin hepsi Şekil 4.4'te gösterilen şema içerisine bağlı kalarak girdi ve çıktılarını oluşturur. MBOM sonrası ilgili üretim mühendisi Process Plan modülü kapsamında Workplan objelerinin alt kırılımlarına MBOM'dan gelen objeleri kurguladığı sıraya göre aktarır. Bu aktarımda tabi ki kullanması gereken atama komutlarına erişim sağlanır. Bir önceki modül tanıtımında aktarılan 3B Görüntüleme veya Sürükle-Bırak bunlar için tercih edilebilen bir komut halinde sunulur.

MBOM oluşturma süreci tamamlanması sonrasında ERP sistemine girdi oluşturulması ve MRP süreçlerinin başlangıcı için sırasıyla içerikler ve gereksinimler Şekil 4.5'te verilen rapor kısmında görüntülenmektedir;

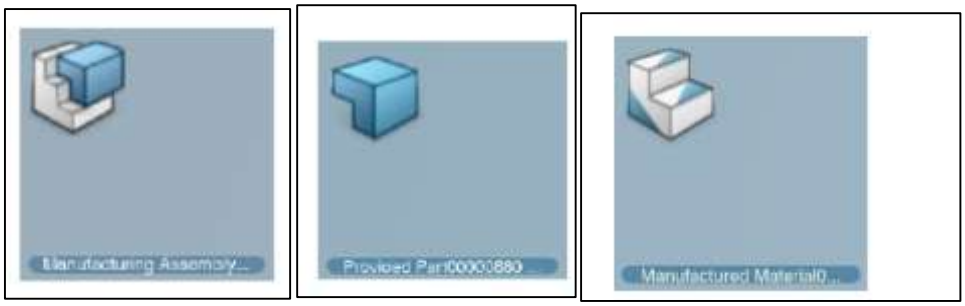
- Parça tanımı
- Ürün ağacı seviyesi
- MBOM obje numarası
- Parça Maliyeti
- Ham malzeme tanımı
- Parça olgunluk seviyesi
- Parça Revizyonu
- Parça adeti
- Parça sıralaması
- Bağlı olduğu üst resim

MFG MBOM Raporu

Sr No	Identifier	Level	MFG Part Name	Cont. Material Qty.	Unit	ERD PART NO	ERD Part Parent	COUNT
1	mass00005921Manufacturing Assembly00005222	1	Manufacturing Assembly00005922					1
2	mass00005220422-49173	2	0422-4917			0422-4917	800652G	1
3	mass00005921364513	2	136451			136451	800652G	1
4	mass00005921388853	2	138885			138885	800652G	2
5	mass00005922801740	2	801740			801740	800652G	1
6	mass00005922801911	2	801911			801911	800652G	1
7	mass00005922802472	2	802472			802472	800652G	2
8	mass00005922804531	2	804531			804531	800652G	2
9	mass00005922ISO4017-M8X20-10.93	2	ISO4017-M8X20-10.9			ISO4017-M8X20-10.9	800652G	8
10	mass00005922ISO4017-M8X35-10.93	2	ISO4017-M8X35-10.9			ISO4017-M8X35-10.9	800652G	2
11	mass00005922ISO4032-M10-103	2	ISO4032-M10-10			ISO4032-M10-10	800652G	8
12	mass00005922ISO7093-1-10-300VSD3	2	ISO7093-1-10-300VSD			ISO7093-1-10-300VSD	800652G	4
13	mass00005922ISO7093-1-8-300VSD3	2	ISO7093-1-8-300VSD			ISO7093-1-8-300VSD	800652G	10
14	mass00005922RONDELA-10-FSt-TS79-5/33	2	RONDELA-10-FSt-TS79-5/3			RONDELA-10-FSt-TS79-5/3	800652G	4
15	mass00005922RONDELA-8-FSt-TS79-5/33	2	RONDELA-8-FSt-TS79-5/3			RONDELA-8-FSt-TS79-5/3	800652G	10
16	mass00005922901082-2013	2	901082-201			901082-201	800652G	2
17	mass00005922804538	2	804538			804538	800652G	1
18	mass00005922C961983	2	C96198	0.02	Kg			1
19	mass00005922C960973	2	C96097	0	m3			1

Şekil 4.5. Mbom raporu çalışma örneği

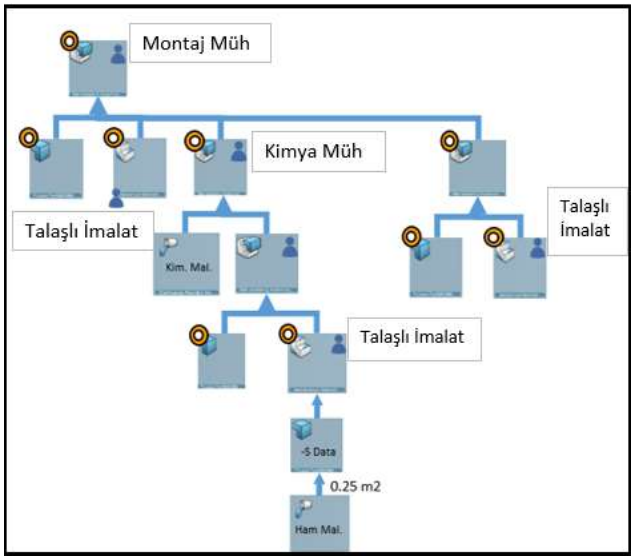
MBOM raporuna kadar gelinen süreçte kullanılan komutların sürece etkisini incelemek açısından genel tanımları baktığımızda aşağıdaki komutlar kurgulama ve entegrasyon akışlarında ilk öncelik olarak devreye alınır. Şekil 4.6'da verilen objelere bağlı kullanım alanı belirlenir. Seçim ve kullanım kriterleri üretim adımlarının belirlenmesine bağlıdır.



Şekil 4.6. Mbom delmia objeleri

Birden çok parça ya da alt komplelerden oluşan üretilmiş kompleleri belirtmek için kullanılır. Tasarım komplesinin alt parçalarından biri veya birden fazlası üretilmiş, (manufactured), kendisi satın alınan (purchased) ise dış kaynak statüsüne alınır. Manufacturing Assembly'nin bir parçasıdır ve satın alınan bir detay parça ya da kompleyi belirtmek için kullanılır. Varsayılan Ayar: Tedarikçilerden elde edilen tüm parçalar Manufacturing Assembly içerisine provide part olarak atanır. Üretilmiş, bir detay parçayı belirtmek için kullanılır. Bir komplenin kesim, isleme vb. operasyonlarla şekil değiştirdiği durumlarda da kullanılır. Şekil 4.7 incelediğinde Excel tabanlı süreçten farklı olarak 3D model üzerinde yap-al kararları dikkate alınarak bir yapı kurgusu tasarlanır. Bu kurgulama

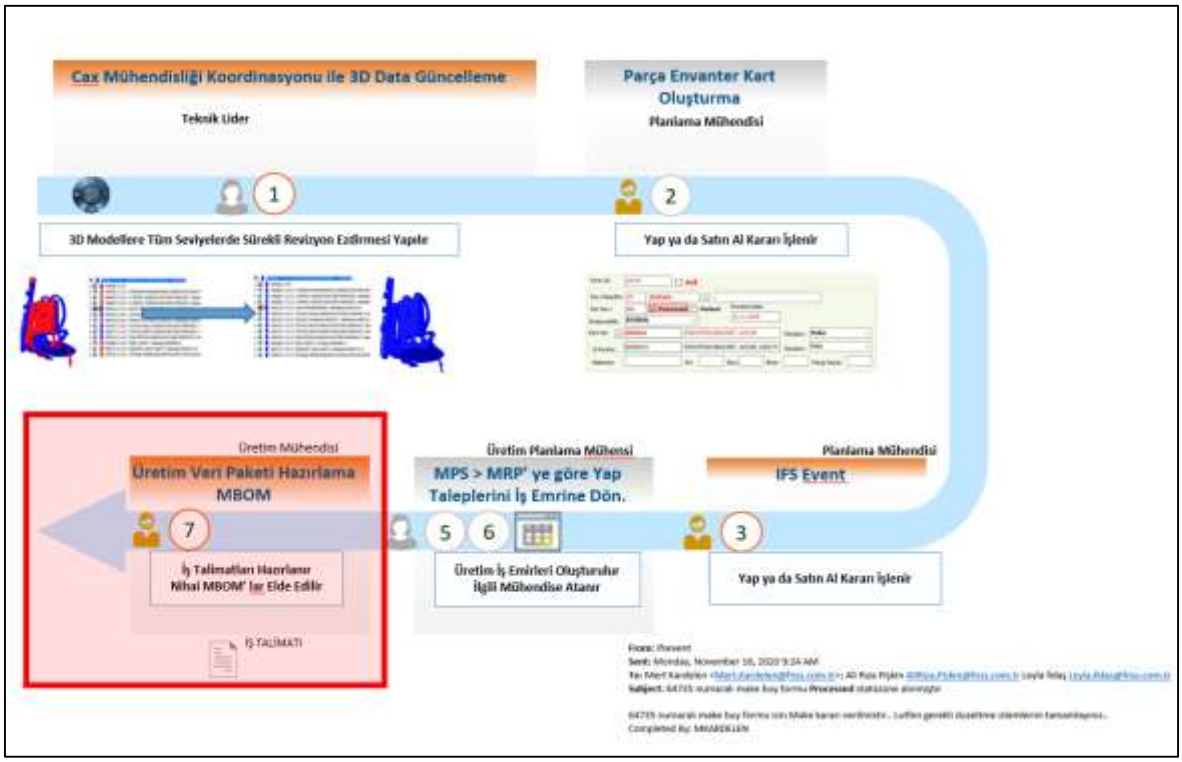
sayesinde mevcut DELMIA özellikleri iyileştirilmiş ve bunun neticesinde daha özgün ve esnetilmiş bir yapıya evrilir. Mevcut durumda program özelliğinde yine aynı süreç devreye alınmaktadır.



Şekil 4.7. Mbom 3D yapısı

MBOM temel ayarlarına bağlı olarak ‘’ yap-al ‘’ durumuna göre komut devreye girdiğinde üretim disiplinleri dikkate alınarak hem ERP hem PLM sistemi ile bir harmanlama durumu söz konusu olur. Buradan gelen parçanın karakteristiği ve üretim mühendisliği tarafından öngörülen yapı devreye sokulur. Parent-Child ilişkisi olarak adlandırılan tepsi yapısı ilgili tek bir modül içerisinde görüntülenmektedir. En alttan en üste kadar kapsam olarak belirtilen linklerin tutulduğu ve parça yolların oluşturulduğu bu yapıda hem revizyon süreçleri hem de üretim süreçleri operasyonel sıralamaya hazırlanır. Yapısal çalışmalar tamamlandıktan sonra ilgili yapı proses plan sürecine hem zaman girdisi hem de alt yapı dengeleme çalışmaları olarak ortaya çıkar. Bu çalışmada dengeleme değişiklik yönetim modelinin temelleri esas alındığı için kullanılmadan ilerler. MBOM yapısı tamamlandıktan sonra ilerleyen başlıklarda aktarılacak olan yapının kontrolü BI komutlarıyla görüntülenecek ve tamamen otomasyona bağlı süreç tamamlanır.

Excel tabanlı süreçte aktarılan ÜVP yapısının iş talimatı ile birebir oluşturulmasına bağlı bu çalışma ile beraber ilgili yapının tamamen otomatize edilmiş bir yapıya evrildiğini Şekil 4.8’ deki gibi daha sade ve doğrudan, MBOM durumuna odaklanmış yap-al durumlarını 3D olarak aktarılabildiği ve görüntülendiği bir yapı ortaya çıkarılır.

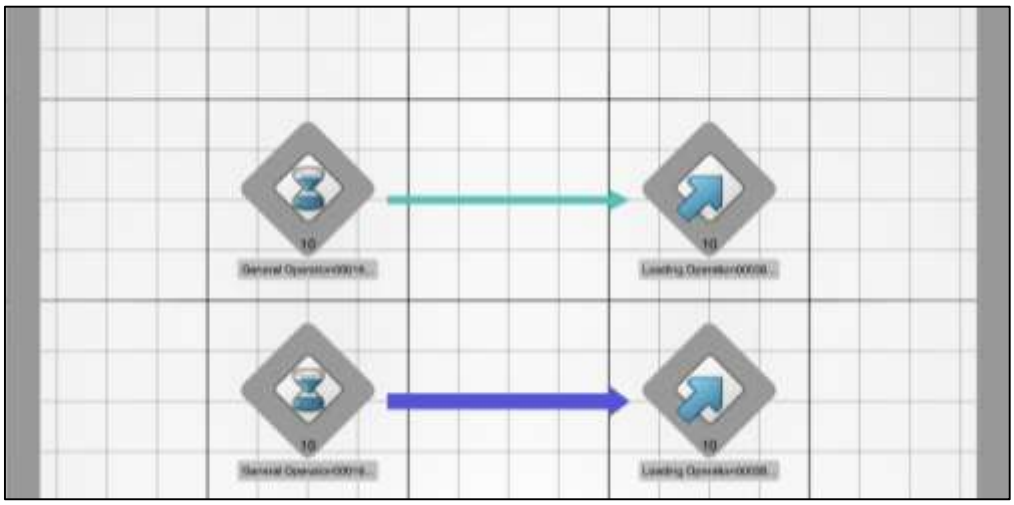


Şekil 4.8. Delmia mbom süreç yöntemi

Süreç planlama

İkinci adım olarak değerlendirilen bu modül ve komutların kapsamında tanım olarak ‘’ süreç planlama kısmı ‘’ devreye alınır. Bu süreçte; İkinci adımda, kullanıcı, önceden tanımlanan Üretim BOM'u kullanarak rotalama/operasyonları tanımlar. Kullanıcı, üretmek için rotalama/operasyonların sırasını belirleyecek, ilişkili zamanı ve yetenekli kaynakları tanımlayacak ve bunları üretim hattı boyunca dağıtır. Giriş ürününü üretmek için tüm detaylı Montaj ve/veya İmalat rotalama/operasyonlarını açıklamak, ilgili süreyi belirtmek ve rotalama/operasyonlar arasında bazı kısıtlamalar oluşturmak, bu rotalama/operasyonları üretim hattının farklı işyerleri, istasyonlar, bölgeleri arasında dengelemek ve iş yükü sorunlarını döngü süresine karşı belirlemek, montaj sırasını 3D olarak doğrulayarak herhangi bir olası gerçekleştirilebilirlik sorununu belirlemek için sanal sahne yapmaktır. Bu çalışma ortamındaki yaklaşımları dikkate alındığında Şekil 4.9’da verilen 2 ana kalem üzerinden temel yapı taşları yerine koyulur. Aynı zamanda bu yapı taşlarının etkisiyle sürecin daha efektif hale geldiği de görülmüş olunur. İlk yaklaşımda, işlem planları doğrudan üretim alanı düzeni organizasyonuna göre tanımlanır, yani dengeleme açısından her iş istasyonu / iş yeri için doğrudan tanımlanır. İkinci yaklaşımda, İşlem planları üretim alanı

düzeninden bağımsız olarak ve dengelemeye bağlı olarak tanımlanır. Dengeleme süreçleri süreç planı oluşturulmadan devreye alınamaz burada kavramsal olarak operasyon aralarında gerçekleştirilen akışlar önem arz etmektedir.



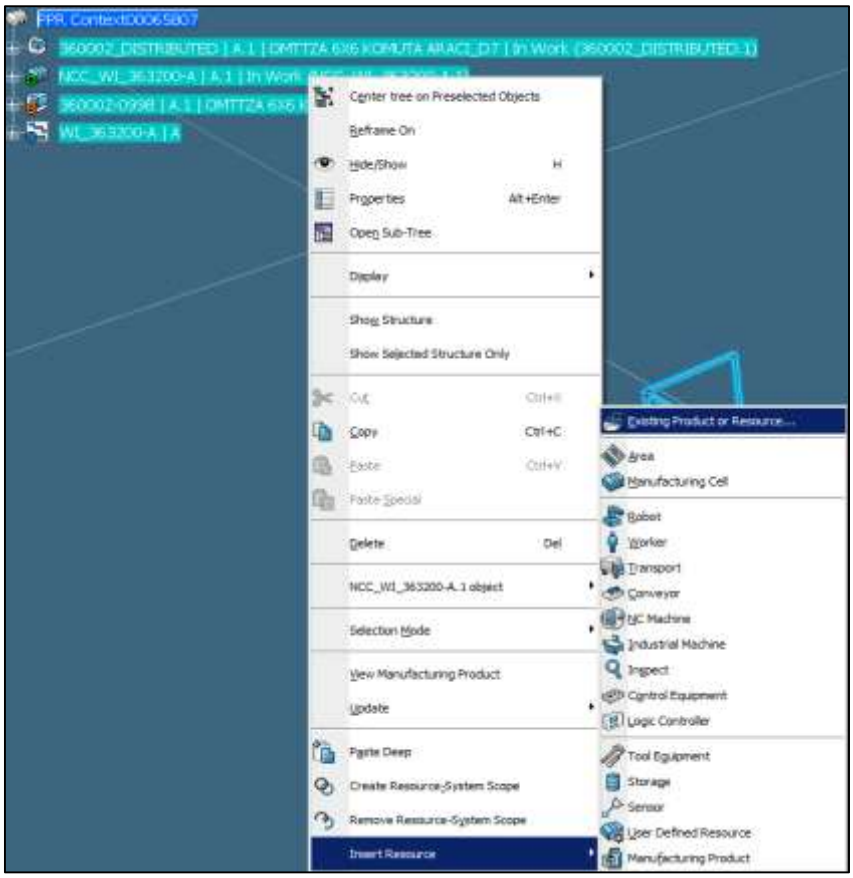
Şekil 4.9. Process plan temel yapı ve objeler

Workplan: Yönlendirmeler ve işlemlerin tanımlanmasında kullanılan bu obje ile yerleşim alt seviyelerde bağımsız olarak yapılmaktadır. Dengeleme aksiyonlarında ilk adım olarak ortaya koyulur. Aynı zamanda dengelemede ikinci bir adım olarak da devreye alınması tamamen kurumsal kurgu ve yapılara bağlı olarak ilerler. Üretim Sistemleri yapısında yeni güncellemeler dışında direk MBOM ile kapsama alınıp ilgili link ve yolların tutulmasını sağlar. Alt seviyeler Yükleme Operasyon ve Genel Operasyon olarak MBOM üzerindeki parçaların atama yapılması söz konusu olur. Burada atamalar 3D görüntü veya Sürükle-Bırak yöntemi ile operasyon üzerine atılır. Genel / Yükleme Operasyonu: Hem montaj objeleri hem de talaşlı sarf parçaların atama yapıldığı ve akış linkleri ile sıralamanın yapılmasına yardımcı olan komutlardır.

Planlama yapısı

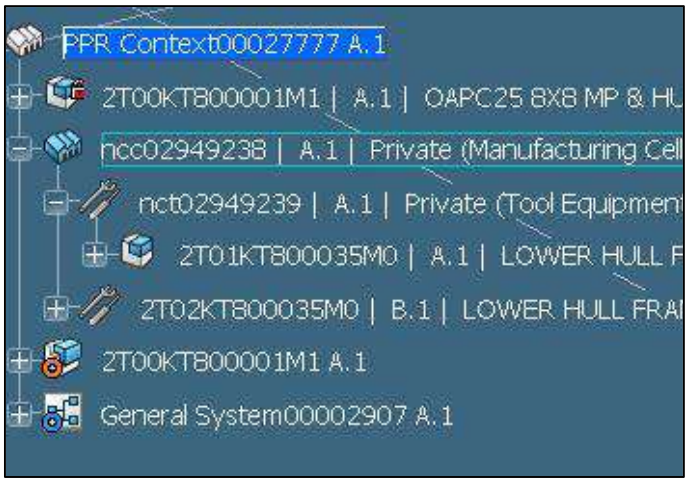
PPR verisi Planning Structure modülüne geçildiğinde alttaki gibi tüm içerik 3D veri olarak görüntülenebilir. MBOM ve Proses Plan objeleri karo ya da ikon olarak görüntülenemez, 3D görüntü ve ürün ağacı erişimi bulunmaktadır. Manufactured Item Definition ve Process Planning modülündeki komutlar Authoring Tab üzerinde erişebilir durumdadır. İlgili modüllerdeki tüm aksiyonlar (parça, atama, obje yarat vb.) bu modül üzerinde karo

görüntüleri olmadan gerçekleştirilir. Planning Structure modülünde iken PPR> Sağ Tuş> Insert Resource… Manufacturing Cell komutu ile Resource PPR ürün ağacına bağlanır. Manuf Cell Seç> Sağ tuş> Create Resource-System Scope> İlgili Workplan Seç aksiyonları ile scope tanımlanır [3]. Bu modül içerisinde tekli obje isimlendirme sistemi devreye alınmıştır. Tek emsal obje oluşturulması sonrasında hem MBOM hem revizyon süreçleri daha kolay ve erişilebilir şekilde kontrollü hale getirilir. Sistemin temel alt yapı kurgusu kurumsal gereksinimleri her ne kadar karşılasa da ihtiyaç durumunda esneklik özelliğini sunar. Bu sayede Planning Structure modülünde hem MBOM obje aksiyonları hem de aksiyonları aynı modül üzerinde gerçekleştirilir. Bunun yanı sıra ilgili operasyonlarda kullanılması üzerine takım, fikstür ve bağlama aparatları montaj, talaşlı imalat ve kaynak operasyonları için atama usulüyle uygulanabilir bir biçimde aşağıda gösterilen Şekil 4.10 ile gerçekleştirilir. Eğer ilgili adımlar ile sürece devam edilmezse bunun karşılığında program kurgusu olarak hata ile karşılaşılır. İlgili özel takımların kullanılması için modül içerisinde NCC dediğimiz objenin WPL ile kapsam altına alınması gerekmektedir. Genel süreci incelemek istediğimizde,



Şekil 4.10. Takım ekleme model arayüzü

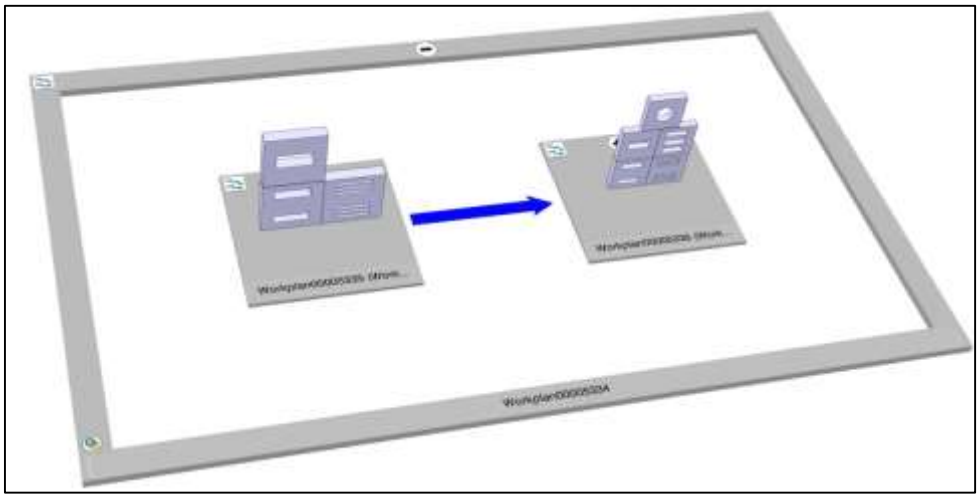
Manuf Cell obje içerisine Physical Product, Part objeleri eklenmeden Tool Equipment olarak alınır. Takım/fikstür/ekipman için Tool Equipment obje tipi kullanılır ve Manuf Cell içerisine ekleme yapılır. Manuf Cell> Insert Resource> Existing Product veya Resource seçeneği ile veri tabanı üzerinde kayıtlı objeler aranarak eklenir. Ya da model üzerinde açık olan Tool Equipment objeleri kopyala yapıştır ile aktif Manuf Cell üzerine eklenir. Çift tıklama ile Manuf Cell objesi aktif hale getirilir. Kumpas güney sekmesinden Assembly Design modülüne geçilir. Manuf Cell objesi Physical Product objesi gibi davranır. Assembly modülündeki Smart Taşı/Yapıştır komutu ya da Kumpas aracı konum ayarlamak için kullanılabilir. Ekran üzerinde Sağ Tuş> Display> App Options> 3D mod seçildiğinde çalışma alanı ürün ağacında seçilen objelere göre 3D ve Product Build-Up seçenekleri ile görüntülenir. Ekran üzerinde Sağ Tuş> Display> App Options> 3D mod seçildiğinde çalışma alanı ürün ağacında seçilen objelere göre 3D ve Product Build-Up seçenekler ile görüntülenir. Tool Equipment vb. kaynaklara erişmek için altta seviye seçim yapılarak 3D görüntü panelde ve listede ayrı ayrı seçimleri görüntüler. Resource-Workplan scope işlemi tamamlandıktan sonra ilgili takımlar üzerinde atama gerçekleşir. Tekli veya çoklu olarak atama işlemi gerçekleştirilir. Atama işleminde görüntüleme kolaylığı için Review Mod, 3D View, Open sub-tree'nin beraber kullanımı avantaj sağlayacaktır. Şekil 4.11'de verildiği gibi alt ürün ağacında sağ tıklandığında görüntülenir. Takımların atanması sonrasında ilgili ürün yapılandırma komutları ile tüm ayarlar gerçekleştirilir. Burada en çok önerilen modül Planning Structure yaklaşımı ile ilerlemektir.



Şekil 4.11. Takım ürün ağaç yapısı

İş talimatı

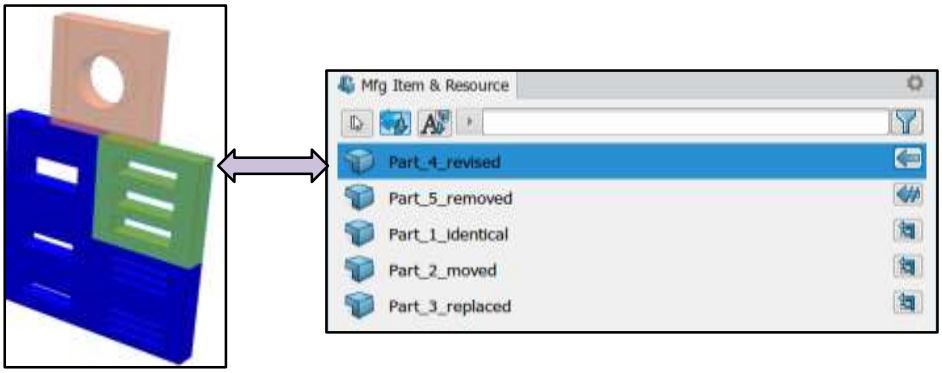
Delmia Work Instruction, üretim süreçlerini optimize etmek ve operasyonel verimliliği artırmak için tasarlanmış bir modüldür. Bu modül, iş talimatlarını yaratıcı ve etkileşimli bir şekilde oluşturmanıza olanak tanır. Kullanıcılar, görsel talimatlar, metinler ve animasyonlar gibi çeşitli medya öğelerini birleştirerek karmaşık montaj veya üretim işlemlerini basitleştirir. Ayrıca, Delmia Work Instruction, gerçek zamanlı simülasyonlar ve sanal gerçeklik özellikleri ile desteklenir, böylece kullanıcılar iş akışlarını önceden görselleştirebilir ve olası sorunları önceden tespit edebilirler. Bu da hataları azaltır, üretim süreçlerinde iyileştirmeler sağlar ve operatörlerin eğitim sürecini kolaylaştırır. Delmia Work Instruction, endüstriyel işletmelere işgücü verimliliğini artırmak ve kaliteyi iyileştirmek için kapsamlı bir çözüm sunmaktadır [3]. Operasyon adımlarının üç boyutlu olarak Şekil 4.12'deki gibi oluşturulması verim ve kalite durumuna katkı sağlar.



Şekil 4.12. İş talimatı örnek operasyon

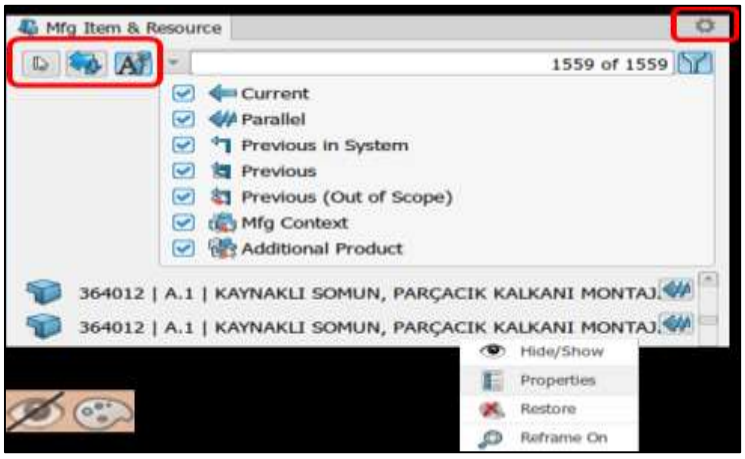
Work Instruction modülüne geçiş yapılır. Bir operasyon seçildiğinde ve Create View for Operation'a komut seçildiğinde, Mfg Item & Resource Paneli görünür ve Views paneli görünür. Aktif Operasyon View ile açılır pencerede beliren panel yardımıyla MBOM objelerini sıralama, filtreleme, seçim, çoklu-seçim yapılır. Üzerinde çalışılan operasyonla ilişkili olarak MBOM ve Resource listeler. Listeden bir objenin seçimi karşılık 3D obje geometrisini işaretlenir. Benzer olarak 3D obje geometrisi seçimi listede objeyi gösterilir.
Panel üst tarafından tümünü seç/bırak ya da farklı sıralama komutları seçilebilir. Role, Item ve Resource ismine göre sıralama yapılır. Filtreleme için, editöre yazı girilerek filtrele ikonu

seçilir. Şekil 4.13'te gösterilen panel çoklu seçimi kontrol komutu ile destekler. Seçimler ile 3D üzerinde Hide/Show ve grafik özellikleri için kutucuk açılır. Seçimler ile liste üzerinde sağ tuş panelde Hide/Show-Properties-Restore-Reframe on için kutucuk açılır. Ayarlar ikonu açılır pencereden obje isimlerinin nasıl görüneceği belirlenir.



Şekil 4.13. Mbom obje arayüzü

Instruction Authoring sekmesinden Create View for Operation ve Create View with Specified Area for Operation komutları kullanılır. Komut her kullanıldığında görüntü panelinde yeni bir slayt oluşturulur. Ürün ağacı, talimat yazı objesi ve görüntü paneli ekranın sol tarafından gösterildiği gibi gruplanır. Şekil 4.14'te görüntü paneli operasyon görselleri gösterir ve sağ altındaki ikon hangi görselin aktif olduğunu belirtir. Şerit üzerinde ilgili operasyonlara bağlı görsel gösterilir. Operasyon için her bir görsel oluşturulduğunda Görsel panelinde yeni bir slayt oluşur.



Şekil 4.14. WI mbom arayüz özellikleri

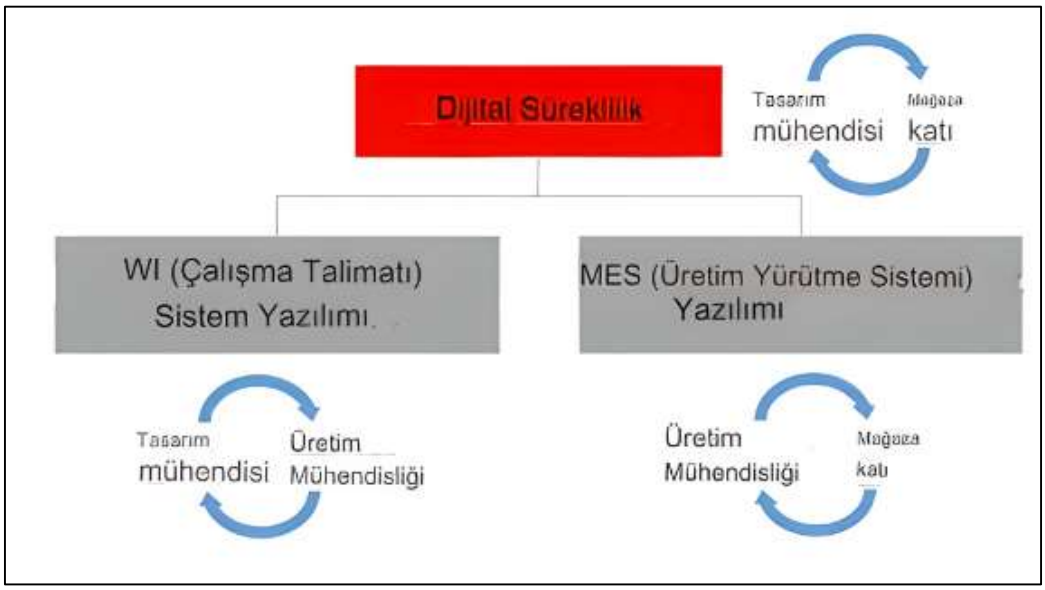
4.4. DELMIA V6 ile Değişiklik Yöntem Modeli

4.4.1. Entegrasyon çalışmaları

Entegrasyon sürecinin oluşması veya gündeme gelmesi ilk aşamada hangi gereksinimlerin karşılanacağının bilinmesiyle oluşur. Bu gereksinimler tam anlamıyla ortaya koyulduktan sonra proje planı, maliyetler ve izlenecek yollar belirlenmelidir. Eğer şirketin kurumsal alt yapısının PLM, ERP, PDM ve MES sistemlerini içeren bir kurgusu yoksa entegrasyonun yapılması ve devreye alınması tersine bir etki yaratarak mevcut süreçlerin dejenere olmasına sebebiyet verebilir. Bu tez çalışmasında entegrasyon sürecinin sürdürülebilirliği ve geliştirmeye açık olması açısından birçok adım göz önünde bulundurulur.

Delmia programı kapsamında yerleştirme ve devreye alma tamamen genel kapsamdan detaya kadar incelenmiştir. İşlevsellik ve operasyonel yaklaşımın öncülüğünde göz önünde bulundurulan kriterler yaklaşım ve planları destekleyici bir sürece evrilmiştir. İlk yaklaşım üretimi gerçekleştirilen araç gövde, montaj yerleri ve montaj sistemlerinin ÜVP hazırlanmasında etkilerini ve kültürel değişimini ortaya çıkarmaktır. Tasarım ve üretim linkleri, dijitalizasyon entegrasyonunda kritik bir rol oynar. Geleneksel olarak, tasarım ve üretim süreçleri birbirinden ayrı ve ardışık adımlar olarak görülür. Ancak dijitalizasyon ile tasarım ve üretim arasında güçlü bir bağlantı ve sürekli bir etkileşim sağlanır. Tasarım aşamasında, dijital araçlar kullanılarak ürünlerin sanal prototipleri oluşturulabilir ve tasarım hataları erken aşamalarda tespit edilir. Bu, üretim sürecinde maliyetli değişikliklerin önüne geçer ve zaman kazandırır. Aynı şekilde, üretim aşamasında geri bildirimler ve veriler tasarıma geri iletilerek sürekli iyileştirmeler yapılır. Bu, ürün kalitesini artırır, üretim verimliliğini optimize eder ve müşteri beklentilerini karşılamak için daha esnek bir üretim ortamı sağlar. Tasarım ve üretim linkleri, yenilikçi ürünlerin hızla pazara sunulmasını ve rekabet avantajının sürdürülmesini sağlar. Dijitalizasyon entegrasyonunda tasarım ve üretim linkleri arasındaki etkileşim, işletmelere önemli faydalar sağlar. Tasarım sürecinde dijital araçlar ve simülasyonlar kullanılarak ürünlerin sanal olarak test edilmesi, prototipleme sürecinde maliyet ve zaman tasarrufu sağlar. Bu, işletmelere daha hızlı ve daha hassas bir şekilde ürün geliştirmelerine imkân tanır. Ayrıca, tasarım verilerinin doğrudan üretim sürecine aktarılması, hataların azalmasını ve üretim sürecinin daha verimli hale gelmesini sağlar. Üretim aşamasında ise gerçek zamanlı izleme ve analiz araçları kullanılarak, üretim verimliliği artırılabilir, hataların hızla tespit edilmesi ve düzeltilmesi sağlanabilir. Bu da

müşteri memnuniyetini artırır ve rekabetçilik açısından avantaj sağlar. Şekil 4.15'teki gibi tasarım ve üretim linklerinin etkin bir şekilde entegre edilmesi, işletmelere daha hızlı, daha esnek ve daha verimli bir üretim süreci sunar.



Şekil 4.15. Dijital süreklilik entegrasyon yapısı

CAD- PLM ve ERP ilişkisi

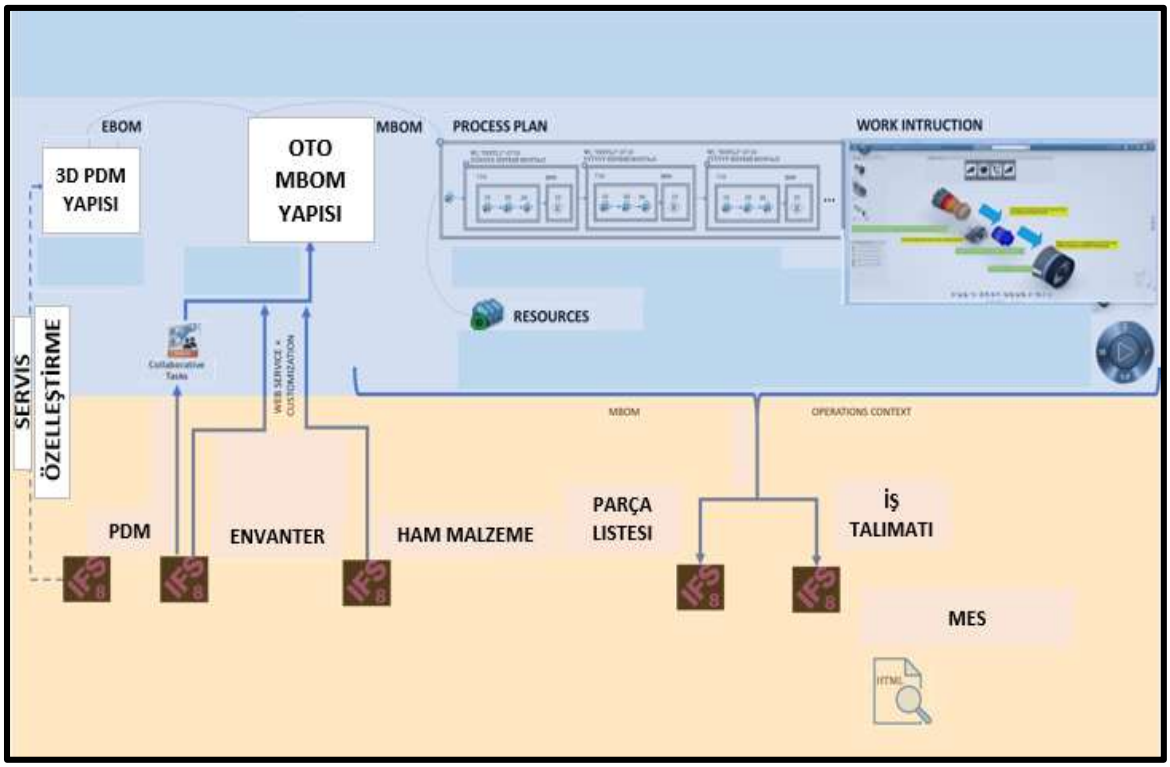
CAD, PLM ve ERP sistemleri, bir işletmenin ürün geliştirme, üretim ve işletme süreçlerini entegre bir şekilde yönetmek için kritik öneme sahip üç temel bileşendir. CAD, ürün tasarımının dijital olarak oluşturulmasını sağlar ve detaylı teknik verileri içerir. PLM, ürün yaşam döngüsünün tüm aşamalarını kapsayan bir sistemdir ve CAD ile tasarlanan ürünün geliştirilmesi, belgelendirilmesi, izlenmesi ve sürdürülmesini sağlar. ERP ise işletme süreçlerini yöneten bir sistem olup, üretim, envanter yönetimi, satış ve finans gibi işletme fonksiyonlarını entegre eder.

Bu üç sistem birbiriyle sıkı bir şekilde ilişkilidir ve birlikte çalışarak işletmenin verimliliğini ve rekabet gücünü artırır. CAD sisteminden elde edilen tasarım verileri, PLM sistemine entegre edilir. Bu sayede, tasarım değişiklikleri ve güncellemeler PLM sistemi üzerinden takip edilebilir ve ürünün tüm yaşam döngüsü boyunca doğru ve güncel verilere erişim sağlanır. Aynı şekilde, PLM sistemi, CAD tasarımlarını ve bunlarla ilgili belgeleri yönetir ve erişilebilir kılar. PLM ve CAD sistemleri, ERP sistemine de entegre edilir. Bu

entegrasyon sayesinde, tasarım verileri doğrudan ERP sistemine aktarılır ve üretim süreci için gerekli olan malzeme listeleri, iş emirleri ve kapasite planlaması gibi veriler ERP sistemi üzerinden yönetilir. Bu entegrasyon sayesinde, üretim süreçleri daha iyi planlanabilir, envanter yönetimi optimize edilebilir ve üretim verimliliği artırır. CAD, PLM ve ERP sistemleri arasındaki bu entegrasyon işletmelere birçok fayda sağlar. Tasarım değişiklikleri hızla uygulanabilir, üretim süreçleri daha verimli hale getirilebilir, envanter ve stok yönetimi optimize edilebilir ve müşteri taleplerine daha hızlı yanıt verilebilir. Bu entegre sistemler, işletmelere rekabet avantajı sağlar ve ürünlerin kalitesini, yenilikçiliğini ve pazar payını artırır [38].

Bu çalışma kapsamında mevcut kullanılan süreç incelediğinde Excel tabanlı yapıda MBOM ve İş talimatı sisteminin aynı yapı içerisinde beraber iletilmesinin sistemsel olarak uygun olmaması değişim ve entegresyonun devreye alınmasına ön ayak olmuştur. Delmia tabanlı dijitalleşme sonrası Şekil 4.16'da görüldüğü gibi önceki yapı ve proje planındaki hedeflenen aksiyonlar incelediğinde bir karşılaştırma yapmak mümkündür. Her iki sistem özelinde avantaj ve dezavantaj durumları, program ve uygulama adımları veri olarak ortaya çıkacaktır. Değerlendirme kısmında daha detaylı olarak sürecin geldiği nokta bildirilmiştir. İlk yaklaşımda güncelleme ve değişiklik yapılan bölüm envanter kartına bağlı olarak yap-al süreçlerinin üretim mühendisliği kontrol ve uygulama önceliğine vermek olmuştur. Buradaki yaklaşımla beraber tam tersi sürece evrilmiştir. Excel tabanlı sistemde TDP revizyonları PDM yapısına eklenen bilgiler doğrultusunda dondurularak ilerlemektedir. Mevcut çalışmada bu durum tam tersi olarak Tasarım süreçlerinin gerçekleştiği CAD ortamına aktarılmıştır. CAD ortamına aktarılan MBOM, WI süreçleri ile diğer yardımcı fonksiyonlarda aynı şekilde Delmia üzerinden yürütülecek şekilde kurgulanmıştır.

PDM yapısı CAD üzerindeki oluşturulan dağıtılmış komple revizyonları ile eşlenik şekilde şirket yetenekleri kapsamında otomatize edilmiştir. Envanter kartlarındaki bilgi daha önce üretim mühendisliğinin manuel kontrolleri sonucunda iş talimatı sistemine girdi olarak sağlanırken, bu sürecin kolaylaştırılması amacıyla CAD-Makro sistemleri devreye sokularak yine PDM-CAD arasında bir yapı devre sokularak kontrol otomatikleştirilmiştir.



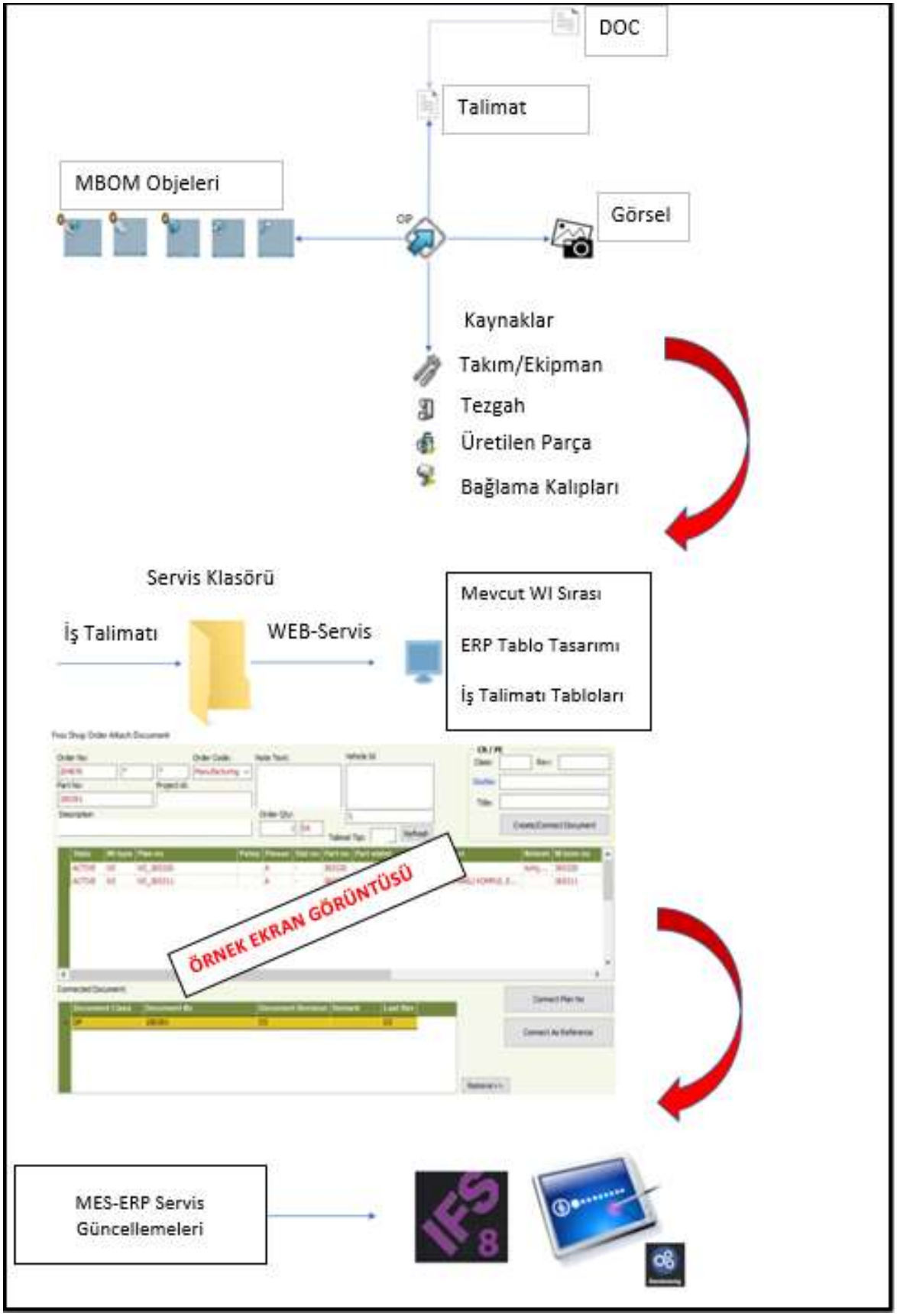
Şekil 4.16. Delmia ile oluşturulan çalışma süreci

İş talimatı transfer ve ERP-MES entegrasyonu

İş talimatı sisteminin dijitalizasyon kapsamında yenileştirilmesi ve MES entegrasyonu, üretim süreçlerinin verimliliğini, kalitesini ve izlenebilirliğini önemli ölçüde artıran bir dönüşüm sağlar. Bu yenileştirme süreci, geleneksel kâğıt tabanlı talimatların dijital formata dönüştürülmesini ve entegre bir iş akışı yönetim sistemine entegrasyonunu içerir. İş talimatları, metinler, resimler, videolar ve animasyonlar gibi zengin medya öğeleriyle zenginleştirilerek operatörlere daha net, görsel ve etkileşimli bir şekilde sunulur. Bu dijitalleştirilmiş iş talimatları, operatörlerin iş akışını daha etkin bir şekilde yönetmelerine ve hataları azaltmalarına yardımcı olur. Aynı zamanda, bu sistemler sayesinde iş talimatları güncellenirken, tüm departmanlar ve iş birimleri otomatik olarak güncellemeleri alır, böylece bilgi bütünlüğü ve tutarlılık sağlanır. MES entegrasyonu ise, iş talimatlarının gerçek zamanlı olarak izlenmesini ve yönetilmesini sağlar. Üretim süreciyle ilgili veriler, operatörlerin anlık performansını, hataları ve verimlilik seviyelerini izlemelerine olanak tanır. Bu verilerin analizi, sürekli iyileştirme fırsatlarını belirlemek ve üretim süreçlerini optimize etmek için kullanılır. İş talimatı sisteminin dijitalleştirilmesi ve MES entegrasyonu, operatörlerin eğitim sürecini kolaylaştırır, hata oranını düşürür ve işgücü verimliliğini artırır.

Operatörler, dijital iş talimatları aracılığıyla adım adım rehberlik alarak görevlerini yerine getirebilir ve kritik aşamaları daha iyi anlaşılır. Ayrıca, iş talimatlarının dijital ortamda izlenmesi ve yönetilmesi, denetim süreçlerini kolaylaştırır ve kalite standartlarının takibini sağlar. Nihai durumda değerlendirildiğinde, iş talimatı sisteminin dijitalleştirilmesi ve MES entegrasyonu, üretim süreçlerini optimize etmek, hataları azaltmak, verimliliği artırmak ve kaliteyi iyileştirmek için önemli bir adımdır. Bu yenilikçi yaklaşım, işletmelere rekabet avantajı sağlar, maliyetleri düşürür ve müşteri memnuniyetini artırır. Müşteri odaklı bir yaklaşımla beraber vizyoner olarak verilerin daha hızlı iletilmesi konusunda da yapılan bu dijital dönüşüm çalışması planlama, satın alma ve üretim fonksiyonlarının daha hızlı ve kaliteli ilerlemesine ayrıca girdi sağlamaktadır. Mevcut durumdaki Excel tabanlı süreçte parça listesi iş talimatındaki manuel alınan görseller ve etiketlemeler üzerinden ilerlerken, bu tez çalışmasında yapılan kurgulama ve güncellemeler ile DELMIA program yetenekleri dikkate alınarak tüm sürecin üretim mühendisliğinin kontrolü ve otomatize durumu ile bağdaştırmıştır. İş talimatı sisteminin kalitesi ve verimli hale gelmesi Excel kısayol özelliklerini barındıran WI modülü ile hem kolaylaşmış hem de esneklik sağlamıştır. İş talimatını oluşturan ana kalemler mevcut süreçteki durum dikkate alındığında parçaların birbiri ile ilişkisi, parçanın tanımını gösteren etiketlemeleri, parçanın bağlı olduğu teknik resim bilgileri, teknik resim notlarının bağlantılı olması olarak sıralanmıştır.

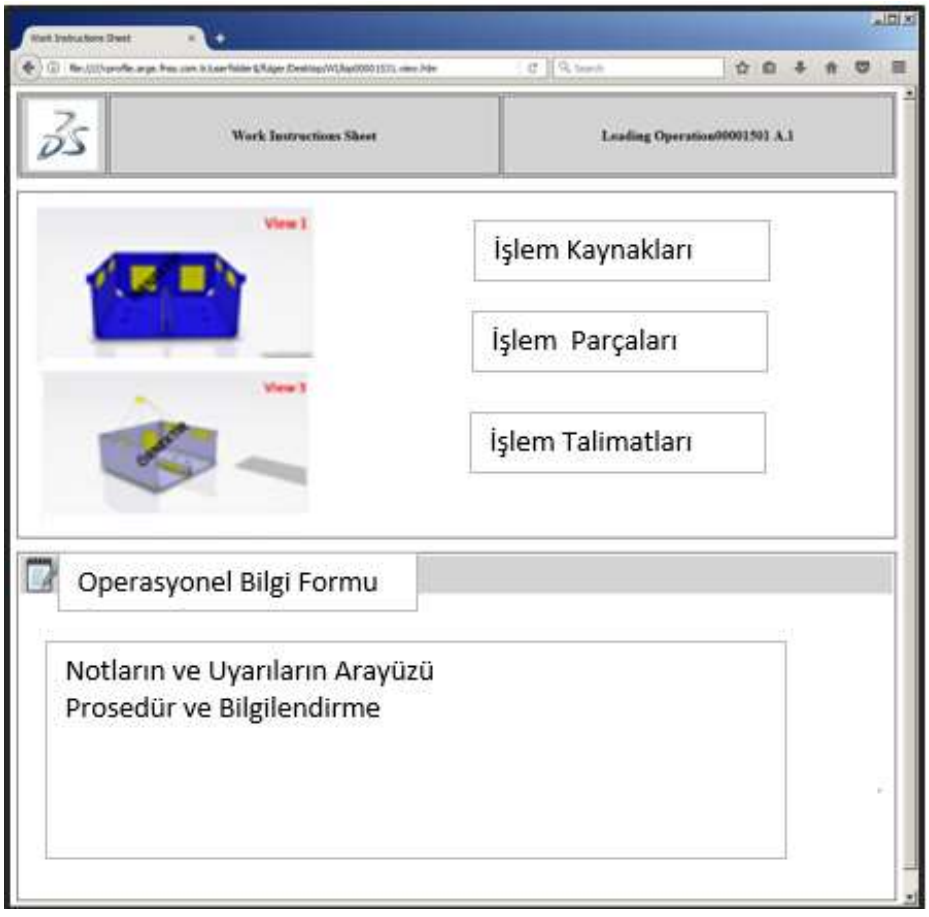
Şekil 4.17’deki yapı incelediğinde, MBOM sürecindeki yap-al kararları ile tasarım konfigürasyonu eşlenik hale getirilmiş ve re-organizasyon ile ilgili yapı hızlı bir şekilde parça listesinin gereksinimlerine göre oluşturulmuştur. Parça listesinin yayınlanmasının akabinde kapsam ile oluşturulan WPL alt operasyonları ve rotalara göre eklenmiştir. Parça listesinin dayandığı operasyonların sıralaması atama komutları ve üretim mühendisinin alacağı aksiyonlar kapsamında sıralanır. İlgili sıralamalar operasyonların arasındaki akışlar ile talimat sistemine geçişin hazırlığı olarak nitelendirilmiştir. WI modülüne geçiş yapılıp operasyonlarda görsel ve belge bağlama işlemleri tamamlandığında hazır olan iş talimatı verisi web-servis ile ERP sistemine aktarılır. Aktarım sonrasında ERP-MES tarafında oluşturulan web-servis ile iş talimatının MES arayüzünde iş emrine bağlı olarak görüntülenmesi sağlanmıştır.



Şekil 4.17. İş talimatı MES transfer yapısı

Üç aşamalı olarak yapılan bu veri transferinde en önemli yaklaşım talimatın iş emri doğrultusunda operasyonel olarak kullanılabilir ve efektif olmasıdır. Bu çalışmamızda, tüm kriterler ince elenip sık dokunarak devreye alınmıştır. Şekil 4.18'de görüldüğü üzere görsel olarak sistemin çok esnek bir alanı söz konusudur. Buna ek olarak görsellerin sıralaması gibi bir yetenek kazandırılması ile iş talimatının etkisi ve sürdürülebilirliği ön plana çıkmıştır. Bu bağlamda gözlemler doğrultusunda revizyon ve süreç kontrolünün daha anlaşılır bir hale gelmesi büyük avantaj sağlamıştır. Üst kısımda talimat tanımları, ilgili olduğu sistemsel numaralar, revizyon ve operasyon sıralamalarına yer verilmiştir.

İlgili teknisyen ve operatörün görünür bir şekilde daha hızlı erişebilmesi açısından parça listesi yan bölmede aktif halde belirtilmiştir. İlgili personel aynı zamanda hangi aparat, fikstür ve bağlama kalıbı kullanacaksa bunun ile ilgili tüm karakteristik bilgilere de aynı bölme üzerinden erişebilmektedir. Kaydırma çubuğu ve ayrı ekran görüntüleme yeteneği kullanıcı dostu süreç kapsamında değerlendirilerek devreye alınmıştır.



Şekil 4.18. İş talimatı arayüzü yapısı

4.4.2. Delmia üretim yapısı

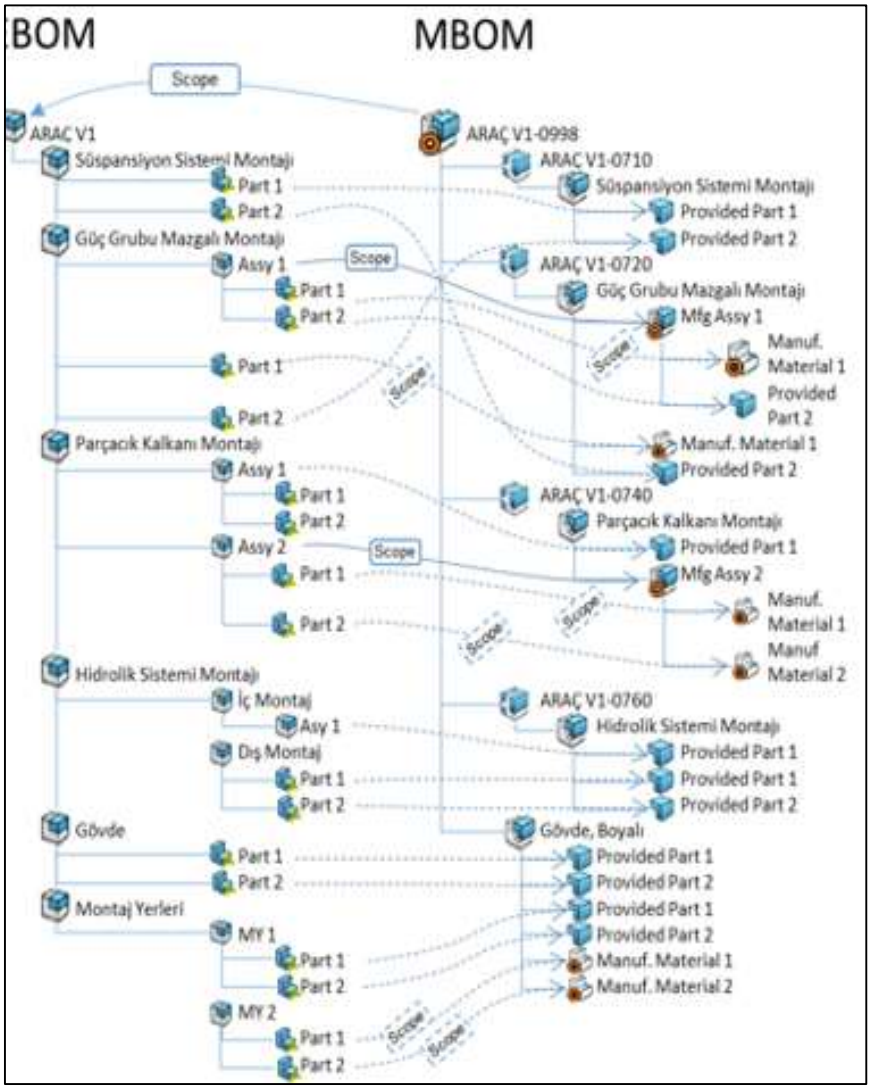
Ürün ağacı oluşumu

Delmia programı, ürün ağacının oluşumunu hızlı ve etkili bir şekilde gerçekleştirmek için tasarım linklerinin birebir bağıntı yoluyla taşındığı bir ortam sunmaktadır. Program kapasitesi gereğince ürün ağacı, bir ürünün bileşenlerinin hiyerarşik olarak yapılandırıldığı ve görselleştirildiği bir yapı ortaya çıkarmaktadır. Değişiklik yönetiminin modellenmesinde ilk yaklaşım yapının yenilenebilir şekilde oluşturulmasıdır.

Delmia, kullanıcıya, ürün ağacını adım adım oluşturabilme ve düzenleyebilme imkânı sunar. Kullanıcılar, bileşenleri tanımlayabilir, ilişkileri belirleyebilir ve ayrıntılı bilgileri her bileşen için ekleyebilirler. Bu sayede, ürünün tam bir görsel temsili oluşturulur ve işletmelerin ürünün parçalarını ve yapılarını daha iyi anlamalarına olanak sağlar. Ayrıca, Delmia programında ürün ağacının oluşumu, değişikliklerin kolaylıkla takip edilmesini ve güncellenmesini sağlar. Böylece, ürün tasarımında yapılan değişiklikler, otomatik olarak ürün ağacına yansıtılır ve bu güncellenmiş bilgiler tüm ilgili departmanlarla paylaşılır. Delmia programı, ürün ağacının oluşumuyla birlikte üretim sürecinin daha iyi planlanmasını, envanter yönetiminin optimize edilmesini ve üretim verimliliğinin artırılmasını sağlar.

Ürün ağacının MBOM objeleri ile oluşturulması varsayılan ayarlar ile DELMIA' da dikkate alındığında tasarım objelerinin varsayılan yapısına göre oluşturulmaktadır. Özetle eğer bir komple kullanılırsa ve bu komple bir Manuf Assy objesi olarak adlandırılsa parçanın ilgili tesisler içerisinde üretileceği anlamına gelir. Eğer parça tasarımı olarak ilerlemiş ise ya tesis içerisinde ya da dış kaynak firmalar aracılığıyla üretilecek anlamına gelmektedir. Prvd ve Manuf Material bu kapsamda dikkate alınmıştır. Fakat tez çalışmalarında varsayılan ayarlar ile ilerlemek şirketlerin belirlediği kurgularını değiştirmelerine olanak sağlar. Tam bu noktada eğer mevcut üretim yapısının değişimini tam anlamıyla öngörülmediği durumda özelleştirme ile beraber yeni bir yapı kurgulanmalıdır. Çalışmada yeni bir yapı kurgulanması üzerine ekstra olarak iyileştirmeler gerçekleşmiştir. ERP sisteminde devreye girmesi sağlanmış hem PDM-ERP hem de PLM-ERP eşlenik çalıştırılmıştır. Envanter kartı oluşturulduğunda direk ilgili parça veya komple bilgileri MBOM oluşturulacağı zaman web-servis yardımıyla CAD-Model içerisine aktarılır. Makrolar devreye alındığında veriler konfigürasyon olarak PDM yapısını dikkate alır ve hibrit bir yapı ile otomatik bir şekilde

üretim disiplin davranışlarına göre önce MBOM yapısını modelde oluşturur. EBOM-MBOM eşleniği olarak üretimin tepe seviyelerinde öngörülen şekilde kapsam sistemi ayarlanır. Bu şekilde kapsam içerisinde hem ilgili linkler hem de esnek imalat süreçlerinin yaklaşımı oluşturulur. Şekil 4.19'da verilen örnekleme neticesinde tepe seviyeden hiyerarşik olarak ürün döngüsü oluşturulmuş ve tasarım modeli ile üretim yap-al süreçleri entegrasyonu gösterilmiştir. Çalışma amaçlarından bir tanesi mevcut süreçte bu durumun hiçbir linkinin olmadan yürütülmesidir. Bu sayede en üst seviyeden en alt seviyeye kadar tüm üretim prosesleri güncel bir şekilde ilerlemektedir. İlk seviye sonrası, komple ve parçalar eşleşmiştir. Montaj ve kaynak kapsamı varsayılan ayarlara yakın bir şekilde eşleşmiştir. Talaşlı imalat süreçlerinde ham malzeme girdileri söz konusu olduğundan burada objelerin yap-al süreçlerine entegrasyonu gündeme gelmektedir.



Şekil 4.19. Ürün ağacı yapısı disiplin bazlı gösterim

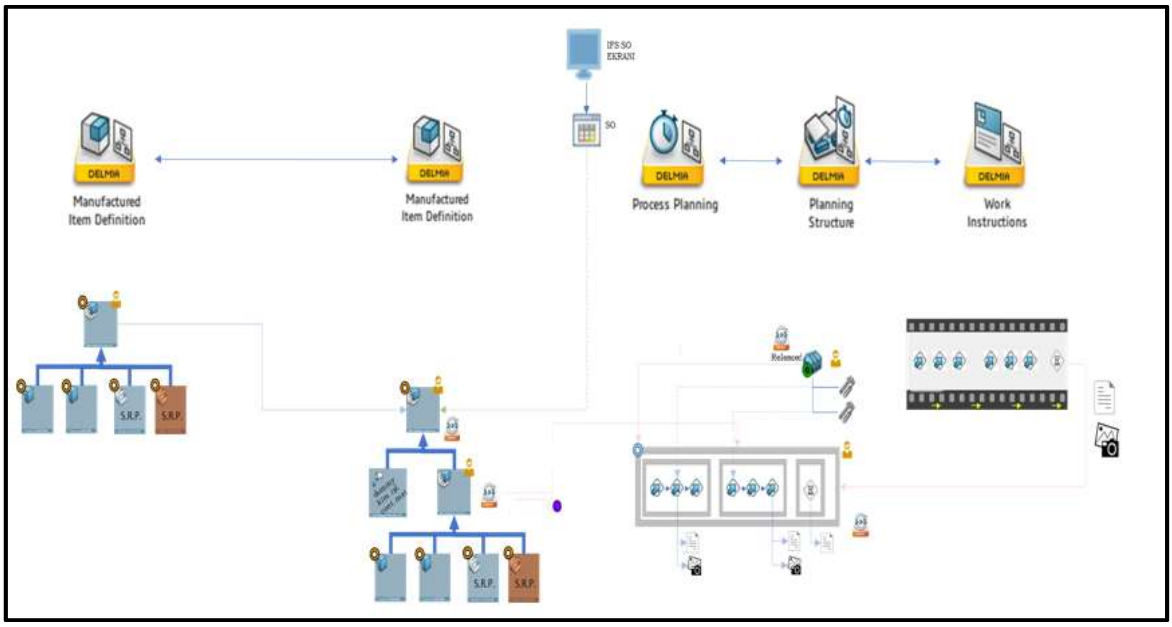
Ürün ağacı akış tasarımı

Ürün ağacının oluşumu ile ilgili tüm detaylar incelenip yapının üretim mühendisliğinin kararlarına bağlı ortaya çıkması ile beraber izlenecek adımların kapsamlı bir şekilde ilerlemesi gerekmektedir. Kapsamlı ilerlemek çoklu-disiplinel çalışılan ortamda birçok faktörün dikkate alınması ile gerçekleşebilir. Çalışmalar da bu durumlar deneme yanılma yöntemlerinin zamana yayılması ile beraber netleştirilmiştir. Bu tarz çalışmalarda öne çıkan faktörler ile ilgili değerlendirmeler yapıldığında aşağıdaki maddeler ön ayak olur.

Ürün Yapısı: Ürünün bileşenleri, alt montajları ve ilişkileri, ürün ağacının tasarımını etkiler. Ürünün karmaşıklığı, parça sayısı, montaj hiyerarşisi gibi faktörler, Delmia ürün ağacının nasıl oluşturulacağını belirler. İmalat İhtiyaçları: Üretim sürecindeki imalat ihtiyaçları, ürün ağacının tasarımını etkiler. İmalat sırasında kullanılacak parçaların sıralaması, montaj prosedürleri, montaj adımları ve malzeme gereksinimleri, Delmia ürün ağacının doğru şekilde oluşturulmasını sağlar.

Montaj ve İşlem Sıralaması: Ürün montajı ve işlem sıralaması, Delmia ürün ağacının tasarımında önemli bir faktördür. Montaj adımlarının doğru bir şekilde belirlenmesi, parçaların bir araya getirilme sırasının belirlenmesi ve montaj sürecindeki her adımın uygun bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. Parça Bağımlılıkları: Ürünün parçaları arasındaki bağımlılıklar ve ilişkiler, Delmia ürün ağacının tasarımını etkiler. Bu bağımlılıklar, parçaların montaj sırasını ve uygun montaj yöntemlerini belirler.

Veri Entegrasyonu: Delmia programı, diğer tasarım ve üretim yazılımlarıyla bütünleşmiş çalışabilir. Bu entegrasyon, tasarım verilerinin Delmia ‘ya aktarılmasını ve doğru bir şekilde ürün ağacının oluşturulmasını sağlar. Üretim Optimizasyonu: Delmia programı, üretim süreçlerini optimize etmeye yardımcı olur. Üretim verimliliğini artırmak, envanter yönetimini iyileştirmek, teslim sürelerini kısaltmak gibi hedefler, ürün ağacının tasarımını etkileyen faktörlerdir. Ürün Ağacı yapısının hiyerarşik oluşturulması ilk yaklaşım olarak bu çalışmada referans nokta alınmıştır. Şekil 4.20’de gösterilen ürün ağacı akış tasarım ve optimizasyon süreci ERP envanter kartının karakteristiğinin aktarılması ile beraber ilk adım olarak gerçekleşir.



Şekil 4.20. Yap-Al yapısının 3D model süreci

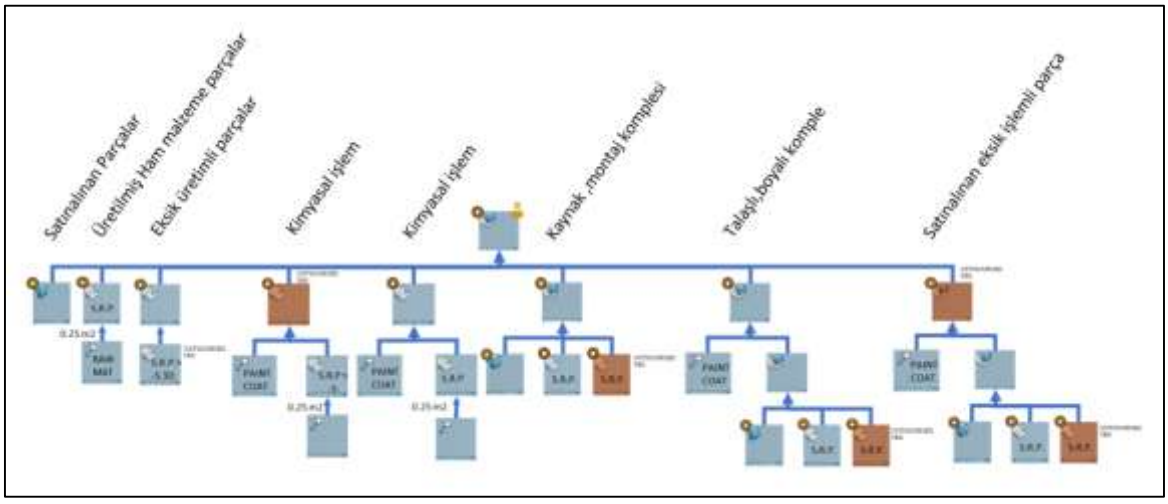
Web-servis ile satın alınan, yapılan ve uzantıların oluşturduğu kurallar gereği Manuf Item Definition modülü veya Planning Structure modülü doğrultusunda akışa dahil edilir. MBOM bileşenleri ve parça tarifleri makro ve kodlama desteği ile tepe seviye oluşmadan önce Collaborative Task modülünün devreye girmesi neticesinde bütünleşik MBOM'un parça parça verilere dönüşmesini sağlar. Görevlendirme disiplin bazlı olarak ERP sisteminin tetiklemesine bağlı gerçekleşen bir dizi veri taşınması mevzusudur. Bu sayede tepe seviyeden en alt seviyeye kadar yapılacak olan işler multi-disiplinel çalışma ortamında verimliliği artırarak tamamlanmış olur. İlk aşamada ın-work statüsünde olan yapı nihai iş emri süreçlerine bağlı olarak revizyon bazlı olarak kontrol mekanizmalarının çıktıları ile kontrolden geçer.

Çalışma boyunca görevlendirme çalışmalarının yapısal kurgusu üzerinde durulmuştur. Kurgulama sonrası istatistiksel olarak incelemeler yapılmış ve akışın bozulmamasında büyük katkı sağlamıştır. Akış sonrasında iş talimatı sistemine geçiş yapılmıştır. Geçişlerde kullanılacak olan modül ve komutlar gri çizgi bırakılmadan aktarılmıştır.

MBOM tamamlandıktan sonra PPL modülünde ilgili operasyon ve rotaların akışı makro ve kodlama ile otomatik hale getirilmiştir. Arka planda veriler ERP-PLM tarafından aktarılan web-servis ile desteklenmiştir ve üretim mühendisliğine sadece ürünlerin atanması bırakılmıştır.

Genel PPR süreci

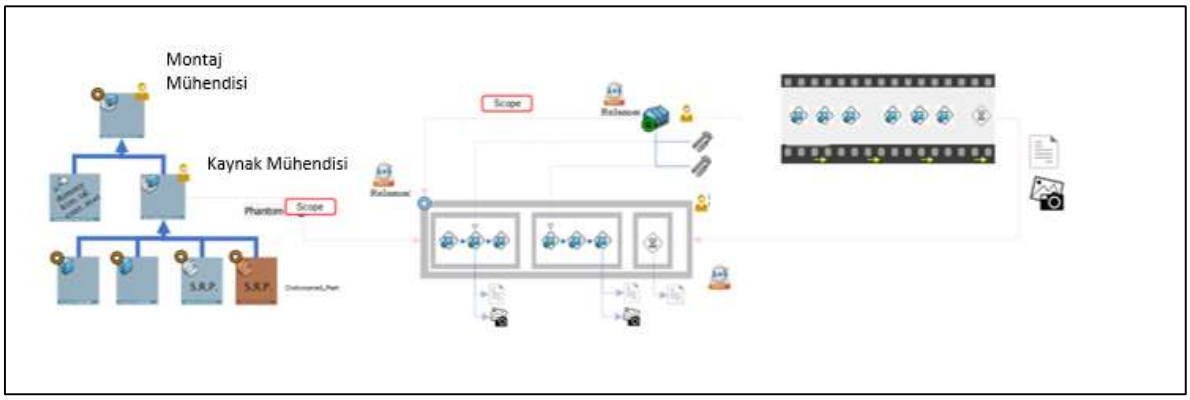
EBOM-MBOM bağlantılı ürün ağacının yapısının oluşması ve buna bağlı olarak PPL ve WKS modülleri ile beraber tüm varsayılan yapılar dikkate alınarak süreç ve akış tasarımı çalışmaları bir önceki başlıklarda aktarılmıştır. Kurumsal üretim yapan şirketlerde üretim disiplinleri aynı bünye içerisinde olduğundan eşlenik çalışma kaçınılmazdır. Bu tarz yapısal ERP-MRP çalışmalarında üretimin sürdürülebilir olması açısından tüm disiplinler için süreç kurgulanmıştır. DELMIA varsayılan olarak iki aşamalı bir PPR süreci yürütmesine rağmen makro ve kodlama desteği ile beraber şirket bünyelerine bağlı olarak evrilebilecek yeteneği sahiptir. Üretim sürecinin optimize edilmesi ve üretim hatalarının en aza indirilmesi için analiz ve simülasyon araçları kullanılarak tasarlanmıştır. İlk yaklaşımda Kaynak ve Montaj sistemleri dikkate alınmaktadır. Yap-Al kararlarına göre ilk seviye yapı kurulmasında arka planda çalışan makro ve kodlamaların efektif ilerlemesi ile oluşmaktadır. Çalışma esnasında yap olarak üretim mühendisliği tarafından karar verilen parçalar ve kompleler özelinde ilerlemektedir. Şekil 4.21'deki yaklaşım ile ilerlendiğinde tüm üretim disiplinleri için PPR sürecinin gösterimi Planning Structure PPL, WKS modülleri dikkate alınarak tasarlanmıştır. Varsayılan çalışmaların ötesinde ilgili proses akışı tüm süreçlerin oluşmasında referans nokta olarak belirtilmiştir.



Şekil 4.21. Delmia genel PPR süreç yöntemi

MBOM hiyerarşik olarak tepe seviyeden tasarım modelinin dondurulmuş revizyonlarına bağlı olarak ilerleyen kilit noktada devreye girer. Ardından örnek Şekil 4.22'de gösterildiği gibi boya, kaynak veya montaj, talaşlı operasyonlarını içeren sıralama düşünülürse, komut

otomatik olarak ERP sisteminden envanter kartının proses edildiği bilgileri çeker, bunun akabinde DELMIA objelerinin varsayılan linkleri eşlenik hale getirilir ve Manuf Item Definition kısmında hiyerarşik olarak yapı çalışma aşaması ürün döngüsünde oluşturulmuş olur. MBOM yapısında eğer bir atama durumu söz konusu olur ilgili durum için manuel müdahale ortadan kaldırılmış komut yardımıyla otomatik olarak özelleştirmiş bir şekilde devreye girer. PPL tarafında daha önce aktarılanlar ve yapılan deneme-yanılma aksiyonları ile beraber en kullanışlı sürecin tepe seviyeden kapsama alınıp yayımlanana kadar ürünlerin olgunluk seviyesinin In-Work halinde kalmasıdır. İlk proses plan yapısı kurulmadan önce WPL eklenerek tepe yapıların birbirine bağlanması sağlanmalıdır. Bu durum tamamen otomatize edilerek kullanıcının manuel müdahaleleri azaltılır.



Şekil 4.22. Üretim montaj komplesi PPR süreci

4.4.3. Delmia değişiklik modeli

EBOM ve MBOM İlişkisi

Tasarım revizyonları, üretim revizyonlarının temelini oluşturur. Delmia programında yapılan tasarım revizyonları, ürünün geometrisinde, malzeme seçiminde veya tasarım özelliklerinde yapılan değişiklikleri içerir. Bu değişiklikler, üretim sürecindeki revizyonları tetikler ve üretim için gereken değişikliklerin planlanmasını sağlar. Delmia programı, tasarım revizyonlarını üretim sürecine doğrudan aktarır. Tasarım değişiklikleri yapıldıktan sonra, Delmia programı bu değişiklikleri otomatik olarak üretim revizyonlarına yansıtır. Bu sayede, üretim süreci güncel tasarıma uygun hale getirilir ve üretimde kullanılacak parçaların, işlemlerin veya montajların revize edilmesi sağlanır.

Tasarım revizyonlarının doğru bir şekilde üretim revizyonlarına yansıtılması, kalite ve uyumluluk açısından önemlidir. Delmia programı, tasarım revizyonlarının üretim sürecine doğru bir şekilde aktarılmasını sağlar ve bu sayede üretimdeki parçaların, montajların veya işlemlerin uyumlu ve doğru şekilde gerçekleştirilmesini sağlar. Bu da kalite standartlarının karşılanmasını ve ürünün doğru şekilde üretiminin sağlanmasını sağlar.

Tasarım revizyonlarının üretim revizyonlarına etkisi, ürün yaşam döngüsü boyunca sürekli devam eder. Delmia programı, tasarım revizyonlarını takip ederek, üretim revizyonlarının sürekli olarak güncellenmesini sağlar. Bu sayede, ürünün farklı aşamalarında yapılan tasarım revizyonları, üretim sürecinin her aşamasında doğru şekilde yansıtılır ve üretim sürecinin güncel ve optimize edilmiş olmasını sağlar.

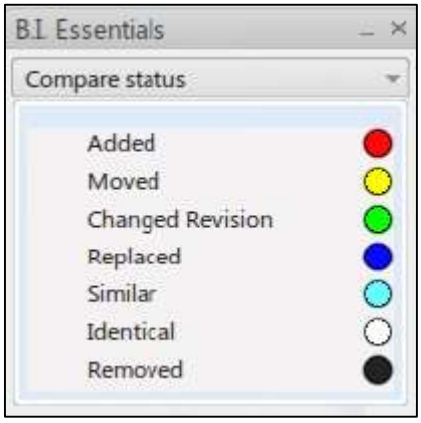
EBOM ve MBOM arasındaki ilişki, veri entegrasyonu ve uyumluluğu gerektirir. EBOM ve MBOM, farklı bilgi gereksinimlerine sahiptir ve bu bilgilerin doğru ve tam bir şekilde paylaşılması önemlidir. EBOM, tasarım aşamasında kullanılan bileşenlerin detaylı teknik özelliklerini içerirken, MBOM, üretim sürecinde kullanılan bileşenlerin üretim talimatlarını, maliyet bilgilerini ve envanter yönetimi gibi operasyonel bilgileri içerir. Bu nedenle, EBOM ve MBOM arasındaki veri uyumu, doğru ve hızlı kararlar alınmasını ve süreçlerin etkin bir şekilde yönetilmesini sağlar.

EBOM ve MBOM arasındaki ilişki, iş birliği ve iletişimi gerektirir. Tasarım ekibi, EBOM'unu oluştururken, üretim ekibi, MBOM' u oluşturur. Bu iki ekip arasında sürekli bir iletişim ve iş birliği gereklidir. Tasarım değişiklikleri, üretim ekiplerine doğru şekilde iletilmeli ve bu değişikliklerin üretim aşamasına yansıması yönetilmelidir. Aynı şekilde, üretim ekiplerinin geri bildirimleri ve ihtiyaçları da tasarım ekibiyle paylaşılmalıdır. Bu iş birliği ve iletişim, EBOM ve MBOM arasındaki uyumu sağlar ve ürünün tasarımının üretim sürecinde başarılı bir şekilde uygulanmasını sağlar. EBOM ve MBOM arasındaki ilişki, üretim süreçlerinin optimize edilmesini ve maliyetlerin azaltılmasını sağlar. Doğru ve uyumlu bir EBOM ve MBOM yapısı, üretim sürecinin daha etkin bir şekilde planlanmasını ve yönetilmesini sağlar. Bu, işçilik maliyetlerinin düşmesine, envanter yönetiminin iyileşmesine ve verimliliğin artmasına katkıda bulunur. Aynı zamanda, tasarım değişikliklerinin hızla ve doğru şekilde üretim sürecine yansıtılması, hataların azalmasını ve üretim kalitesinin iyileşmesini sağlar. Değişiklik bilgisinin CR ve benzeri değişiklik dokümanına bağlı olarak iletilmesi ile beraber 3D ortamda veri modelinde öncelikle belirli

kontrollerin gerçekleşmesi gerekmektedir. Bu eski ve yeni revizyon 'un 3D olarak karşılaştırılması ile ortaya çıkar.

Tasarım karşılaştırma yapısı

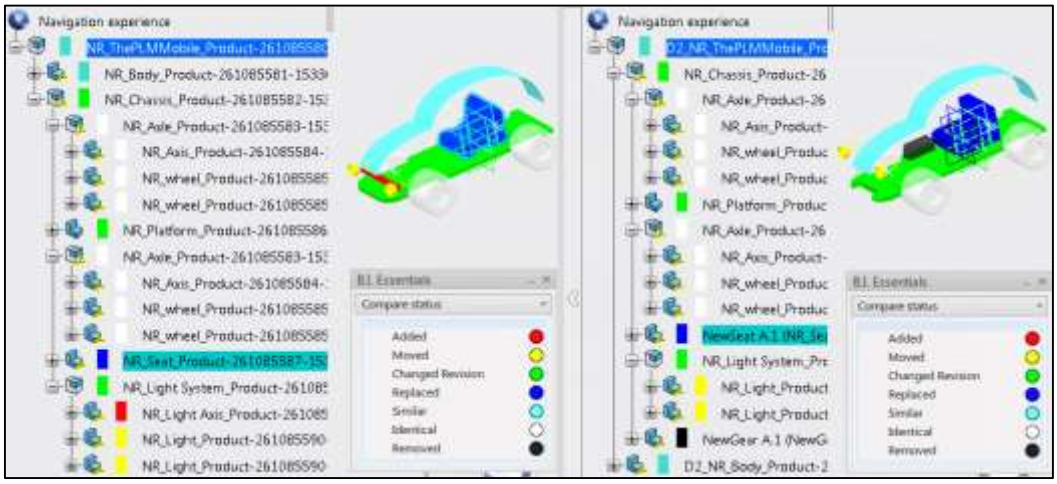
EBOM-MBOM ilişkisinin anlaşılması sonrası ilk yaklaşımda eski ve yeni revizyonların daha önce 2 boyutlu kontrolüne ek olarak 3D ortamda karşılaştırma kolaylığı olduğu ortaya çıkarılmıştır. Bu sayede 2 boyutlu yerin 3 boyutlu olarak parçaların eklendiğini, taşındığını, Şekil 4.23'te görüldüğü üzere parça bazında revizyona uğradığını, yeni bir parça ile yer değiştirildiğini, benzer olduğunu, aynı olduğunu ve kaldırıldığını eski revizyon renklendirilmiş bir biçimde sunmaktadır. Çalışmamızda modelin belirlenmesinde bu kontrolün öne çıkması önemli katkı sağlamıştır.



Şekil 4.23. Kontrol komutu gösterimi

Kontrollerde karşılaşılacak vaka ve görsel çalışmaların anlamlarını inceledikten sonra komutlar yardımıyla eski ve yeni revizyon açılarak aynı ortamda PPR Compare komutu kullanılarak çalışma ortamına geçiş yapılır. Şekil 4.24'de ki örnekte görüldüğü üzere her 2 revizyon senaryosunda kavramların karşılığındaki renklendirme ortaya çıkarılır. Burada detaylı incelemeler sonrasında istendiği takdirde bir rapor çıkartılabilmesi de söz konusudur. Bu süreçte öncelikle tasarımın karşılaştırılması yapılacak değişikliklerin neler olacağı konusunda ilgili sorumlu personelin hamlelerini tespit etmesi ve buna göre hazırlık yapması konusunda avantaj sağlamaktadır. Bu kontrol süreci tamamlandıktan sonra ürün yapısı üzerinde gerçekleşene aksiyonlar ortaya çıkmıştır. Şekil 4.24'te görüntülenen örnek üzerinde bir montaj komplesi, kaynak komplesi veya talaşlı imalat parçası üzerinde yapılan

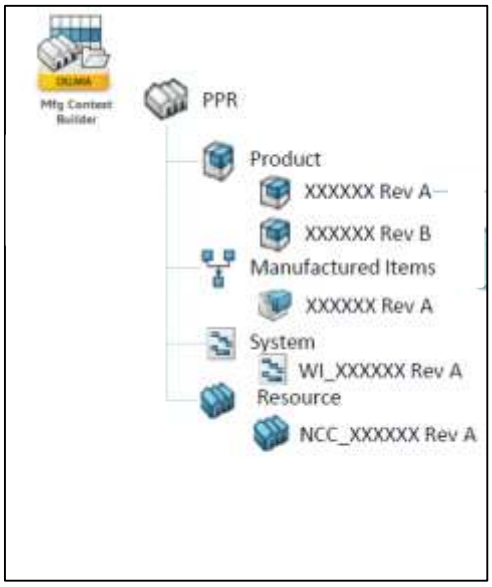
tüm tasarımcı hamleleri görülebilmektedir. İlgili örnekte kontrol mekanizmalarındaki tanımların hepsi gösterilmeye çalışılmıştır.



Şekil 4.24. Revizyon karşılaştırma gösterimi

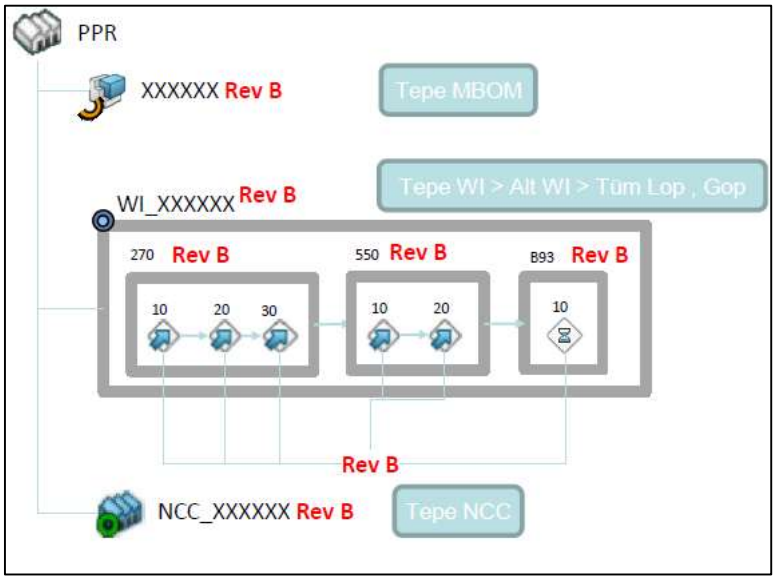
Kontrol mekanizması sonrası MFG Context ekranında Şekil 4.24'te gösterildiği gibi eski ve yeni revizyon yapıya eklenir. Yapıda hem eski hem yeni revizyonun eklenmesi sonrasında yapının kapsamına bağlı olarak güncellenmesi için bu durum verinin açılması için ön hazırlık ekranıdır. Eski revizyon ürün ağacından kaldırıldıktan sonra veri MBOM, PPL ve NCC ile tüm ilişki ve karakteristikleri ile beraber Planning Structure ekranında açılır.

Eski tasarım revizyonu koparıldıktan sonra ilgili yapı Şekil 4.25'de gösterildiği gibi yeni revizyonlu tasarım modeline bağlanmak için hazır hale getirilir. Tasarım revizyonun değişmesi ile MBOM kapsamında linkler hali hazırda tekrar yenilenmek üzere kopmuş bir şekilde karşımıza çıkar. MBOM verilerinin bağıntılarını tamamladıktan sonra süreç ilgili operasyonlar ve talimat görsellerinin güncellenmesi olarak devam edecektir. Tepe MBOM ve yeni revizyon tasarım bağıntıları sonrası otomatize bir şekilde görsellere kadar yansıyacak aksiyonlar tamamlanır.



Şekil 4.25. Revizyon ürün ağacı gösterimi

Dikkat edilmesi gereken nokta senkronize aksiyonların eksik yapılmaması gerektiğidir. MBOM ve PPL yapısı beraberinde süreç devam etmezse linklerin tamamlanması için farklı hamleler devreye girmektedir. MBOM kontrolleri sonrası linklerin yönetimi ve bağlanması için hamleler sırasıyla gerçekleştirilip, her bir veri için tüm süreç bağıntıların sağlıklı bir şekilde kurulması ile devam eder. Şekil 4.26'da ilgili süreç akışı revizyon senaryolarının takip edileceği adımlar gösterilir.



Şekil 4.26. Proses plan revizyon gösterimi

Yaklaşımlar göz önünde bulundurulduğunda, MBOM' un yeni ve eski revizyona bağlı değişimi birbirine bağıntılı bir konfigürasyon çerçevesinde veri alt yapısına uygun olarak kapsamlı halde devam edebilmektedir. İlerleyen süreçte veri bağıntıları sağlanıp örnek verinin bütünleşik haline doğru güncellemeler devam etmektedir.

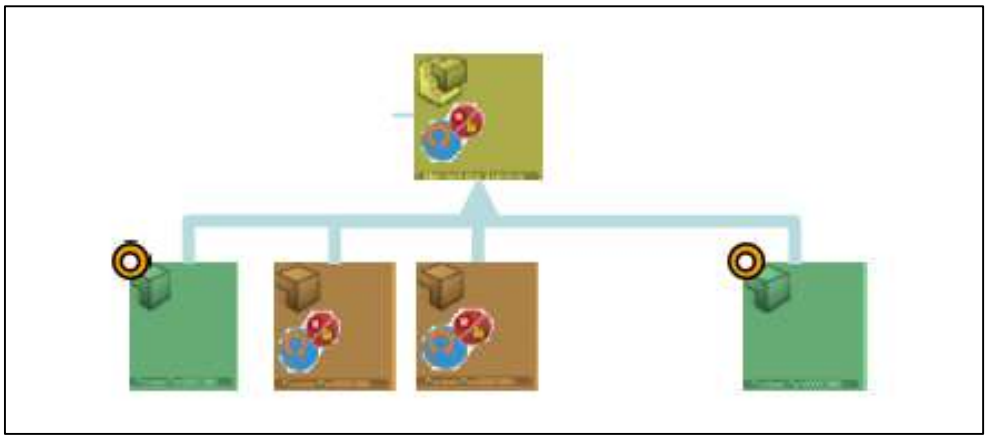
Veri bağlantılarının kurulumu

Tasarım verilerinin üretim ile bağdaştırılmasının önemi tüm linklerin bağıntılı olması ile açıklanır. Delmia tasarım revizyonu sonrası, üretim verilerinin linkleri, tasarım revizyonunun gerçekleştiği kaynak dosyalarla entegre edilerek kurulur. Bu entegrasyon sayesinde, tasarım revizyonundan etkilenen üretim verilerine kolayca erişilebilir ve güncel bilgilere sahip olunur. Örneğin, bir ürünün tasarımında yapılan bir revizyon, üretim sürecinde de değişikliklere neden olur. Bu değişikliklerin üretim ekibi tarafından anlaşılması ve uygulanması için, tasarım revizyonunun gerçekleştirildiği kaynak dosyalara erişim sağlanması önemli bir kilometre taşıdır. Bu bağlamda, tasarım revizyonundan etkilenen üretim verilerinin linkleri, revizyonun gerçekleştiği tasarım dosyalarıyla bağlantılıdır. Örneğin, bir ürünün montaj talimatları, tasarım revizyonunun yapıldığı tasarım dosyasına bağlantılar aracılığıyla erişilebilir hale getirilir. Böylece, montaj ekibi, güncel tasarım değişikliklerini takip edebilir ve doğru talimatlara erişebilir. Bu linklerin kurulması, tasarım ve üretim süreçleri arasında sağlam bir bağlantı oluşturur. Bu sayede, tasarım revizyonlarından kaynaklanan değişiklikler, üretim aşamalarında doğru şekilde yansıtılır ve hataların önlenmesine yardımcı olur.

Genel süreçte birçok belge ve işlevsel fonksiyon hamlelerinin gerçekleştirilmesi gerekirken, mevcut DELMIA özelinde kurgulanan süreçte linkler otomatik olarak alt yapıda yürütüldüğünden linkler otomatik olarak ilgili kullanıcıya sunulmaktadır. Buradaki hamle ilk yaklaşımdaki kontrol mekanizmaları ile ortaya çıkarılan durumun platform üzerinden görüntülenmesidir. Şekil 4.27'de gösterildiği üzere her bir parça özelinde hangi tasarım adımlarının gerçekleştirildiği ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada, her bir kontrol mekanizmasındaki adımı göstermek için aksiyonlar alınmıştır. Aynı olan parçalar veya kompleler, yer değiştiren kompleler veya parçalar ve tekrar rotalamak üzere otomatik olarak program sayesinde otomatik bağdaştırılmaya hazırdır. Bunun dışında eğer bir parça veya komple tasarım verisinden çıkartılmış ise elle-rotalayıp silinmek üzere kullanıcıya sunulmaktadır.

Şekil 4.27. Link sağlama platformu

Linkler MBOM üzerinde tamamlandıktan sonra güncel durumlarının kontrolü ürün ağacı üzerinden ve 3D model platformundan yapılır. Bu kontroller tamamlanıp bağdaştırma sürecinin tamamı teyit edildikten sonra hem operasyonel aksiyon hem iş talimatının güncellenmesi daha hızlı olmaktadır. Linklerin bağdaştırılması dışında 3D ortam üzerindeki karolar üzerinde de her bir parça veya komplenin nasıl etkilendiğini görmek mümkündür. Bu işlemler linkler öncesindeki bir kontrol mekanizması olarak değerlendirilebilir. Tam anlamıyla güncelliğin olup olmadığının kontrolüne hizmet etmektedir. Çalışmada bu modelin oluşturulmasında da katkı sağlamıştır. MBOM parça ve komple linkleri tamamlandıktan sonra A.1 revizyonu olarak görülen veri B.1 olarak serbest bırakılmış durumdan In-Work duruma geçirilmiştir. Normalde özel olarak ürün döngüsüne başlayan veri tercih ayarları ile kullanıcının erişim ve aksiyonlarını kolaylaştırmak adına bu yol üzerinde tercih edilir. Nihai durumda Şekil 4.28'deki duruma gelindiğinde artık WPL verisi 3D ortama eklenip ürün ağacı yapısında güncellenmeye hazır hale getirilir.



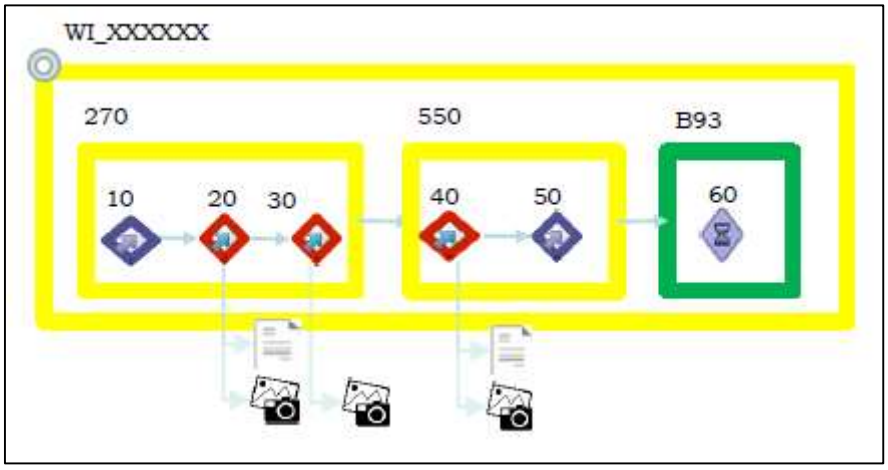
Şekil 4.28. MBOM objeleri kapsam Gösterimi

Linklerin bağdaştırılması dışında 3D ortam üzerindeki karolar üzerinde de her bir parça veya komplenin nasıl etkilendiğini görmek mümkündür. Bu işlemler linkler öncesindeki bir kontrol mekanizması olarak değerlendirilebilir. Tam anlamıyla güncelliğin olup olmadığının kontrolüne hizmet etmektedir. Çalışmada bu modelin oluşturulmasında da katkı sağlamıştır. MBOM parça ve komple linkleri tamamlandıktan sonra A.1 revizyonu olarak görülen veri B.1 olarak serbest bırakılmış durumdan In-Work duruma geçirilmiştir.

WPL yapısının da A.1 revizyonuna bağlı olarak verilerin güncellenmesi sonrası B.1 In-Work yapısına geçebilmesi adına öncelikle güncelleme olup olmadığı kontrol edilmelidir. Güncelleme özelinde BI komutunun kullanımı kritik öneme sahiptir. Şekil 4.29'da renklendirmelerin daha anlamlı olması açısından aşağıdaki tanımların etkisi incelenmiştir:

- Yeşil: Sistemin güncel olduğunu
- Kırmızı: Sistemin değişiklikten direk etkilendiğini
- Sarı: Bir üst seviyenin dolaylı olarak etkilendiğini
- Mavi: Operasyon çıktısının son revizyonda olmadığını

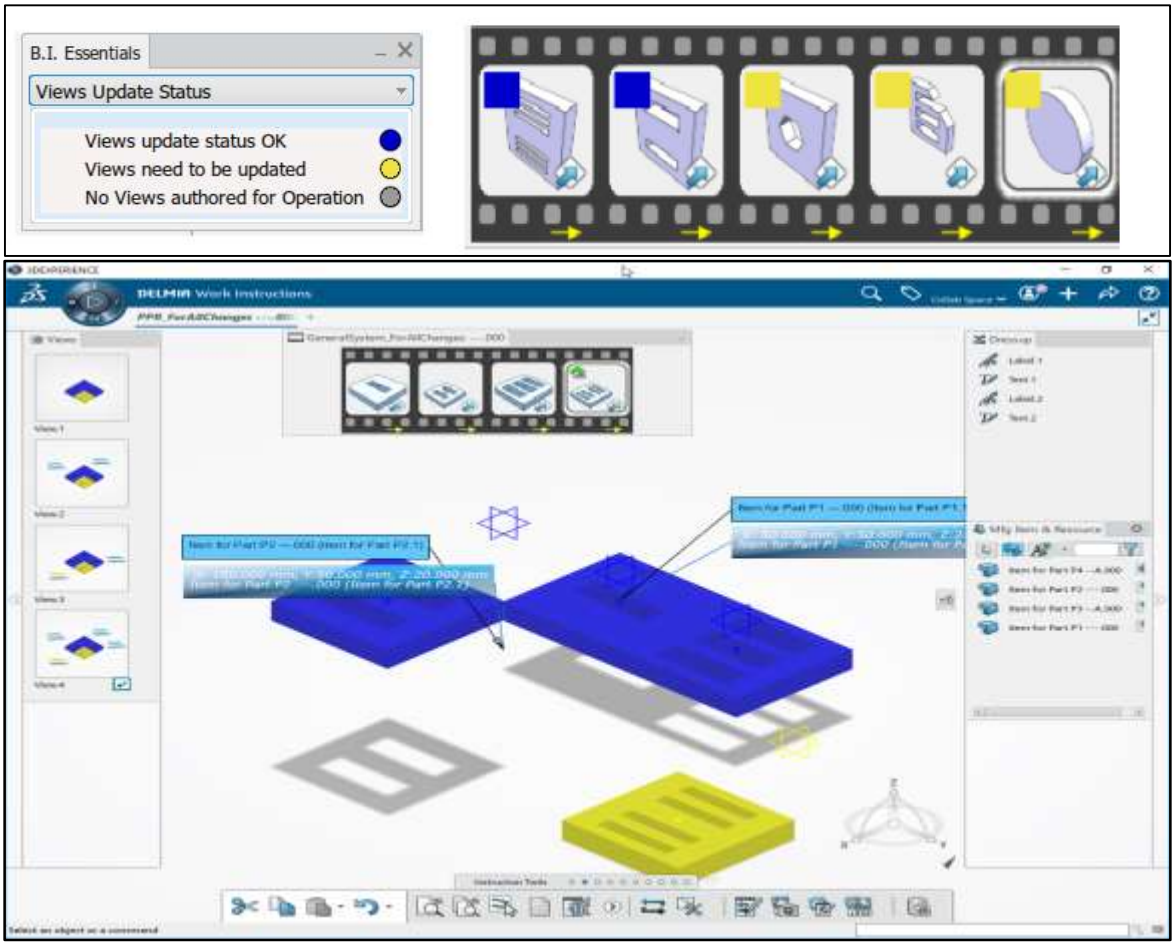
WPL üzerinde aynı zamanda renklendirmelerin eşleniği ile görülür. WPL verisi üzerinde bu görsel kontroller gerçekleştikten sonra, artık verilerin bağdaştırılması gerekmektedir.



Şekil 4.29. Operasyon revizyon kontrol gösterimi

Talimatın güncellenmesi

MBOM ve PPL süreçlerinde ilgili link bağdaştırma aksiyonlarının tamamlanması sonrasında WI modülünde ilgili hangi objelerin değişikliğe uğradığı ve etkilendiği alınan görseller ile kullanıcıya otomatik bir şekilde aktarılmaktadır. Bu sayede kullanıcı hangi sistem içerisinde değişikliği olduğunu görüntüleyebilmektedir. Bu durum ile karşılaşıldığında kullanıcı güncellemenin otomatik olarak yapılması adına güncellem komutunu çalıştırıp aksiyonları gerçekleştirir. Varsayılan bu ayarın kullanımı ile hem ana talimat hem değişiklik talimatı aynı statü içerisinde verilebilecektir. Şekil 4.30'da renklendirmelerin aynı zamanda bir kontrol mekanizması olması otomatize bağıntı kolaylığına fırsat vermektedir.

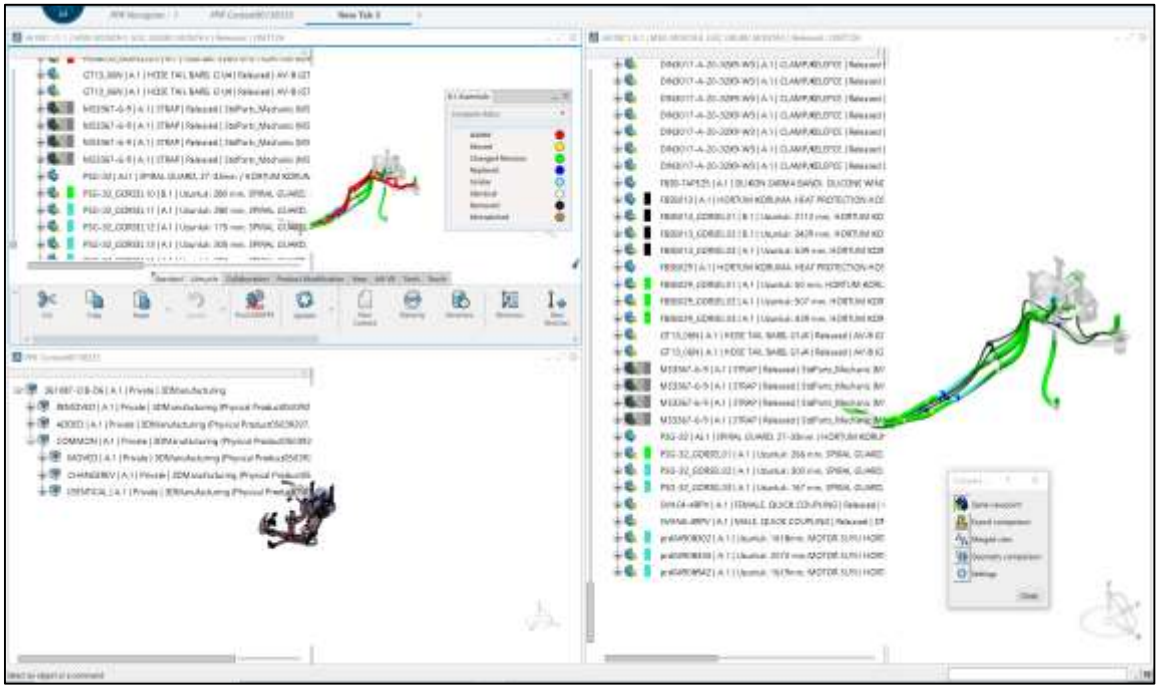


Şekil 4.30. Görsel revizyon kontrol

4.4.4. Vaka çalışması

DELMIA ana talimat yapı ve süreci özelinde hazırlanmış olan değişiklik yönteminin deneme ve testler sonucu gerçekleşmesi ile iki farklı revizyonun gösterimi için örnek model tasarımı oluşturulmuştur. Bu modeller alt yapı olarak hazırlanmış DELMIA entegrasyon sürecine ek olarak diğer arayüz sistemleri de dikkate alınarak verilerin aktarımı ve denemeleri ile tamamlanmıştır.

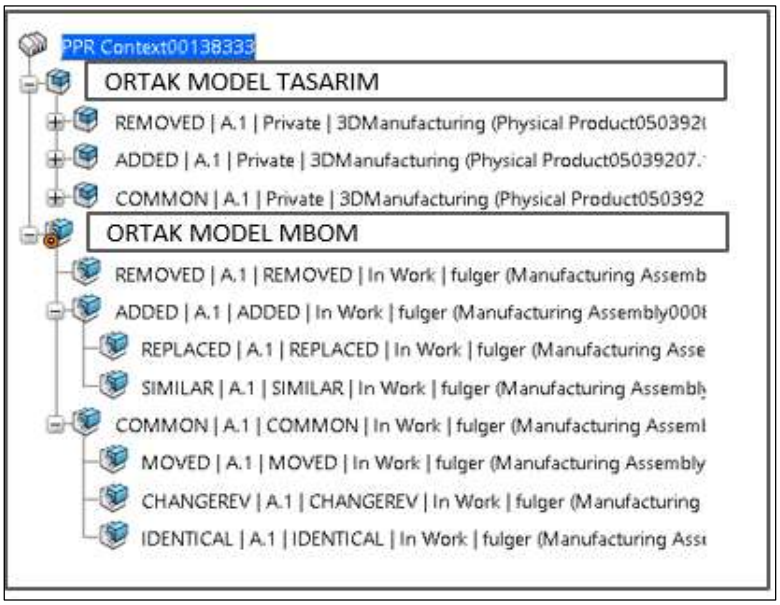
İki farklı konfigürasyona bağlı seçilen örnekte eklenen, çıkan, yer değiştiren, konum değiştiren objeler tespit edilmesi ve iş talimatına çevrilmesi adına aynı oturumda farklı sekmelerde açılır. Ön değerlendirme yapmadan Şekil 4.31'de verilen PPR karşılaştırma yapısı kullanılarak ilk temel karşılaştırma gerçekleştirilir.



Şekil 4.31. İki farklı revizyon kıyaslama

Kıyaslama için komut aktif hale geldikten sonra Şekil 4.23'te verilen renklendirmeler parçaların tasarım hareketlerini, yaşam döngülerini ve pozisyon durumlarını gösterecek şekilde görüntülenir. Görüntüleme arayüzü ortaya çıktından sonra kullanıcı kıyaslama modelini otomasyon ve algoritmalara bağlı olarak veri tabanında oluşturur. Bu sayede Şekil 4.32'de verildiği gibi her iki farklı revizyon için ortak bir model ortaya çıkartılır. Bunun

akabinde kırılım olarak eklenen, çıkartılan, yer değiştiren ve güncelleme yapılan parçaların ortak modeli tamamlanmış olur.



Şekil 4.32. Ortak model oluşturma

Tasarım modelinin oluşturulması ile Şekil 4.33'te gösterildiği gibi MBOM ve PPL içerikleri birebir kapsam içerisinde iş talimatı listesi olarak oluşturulur.

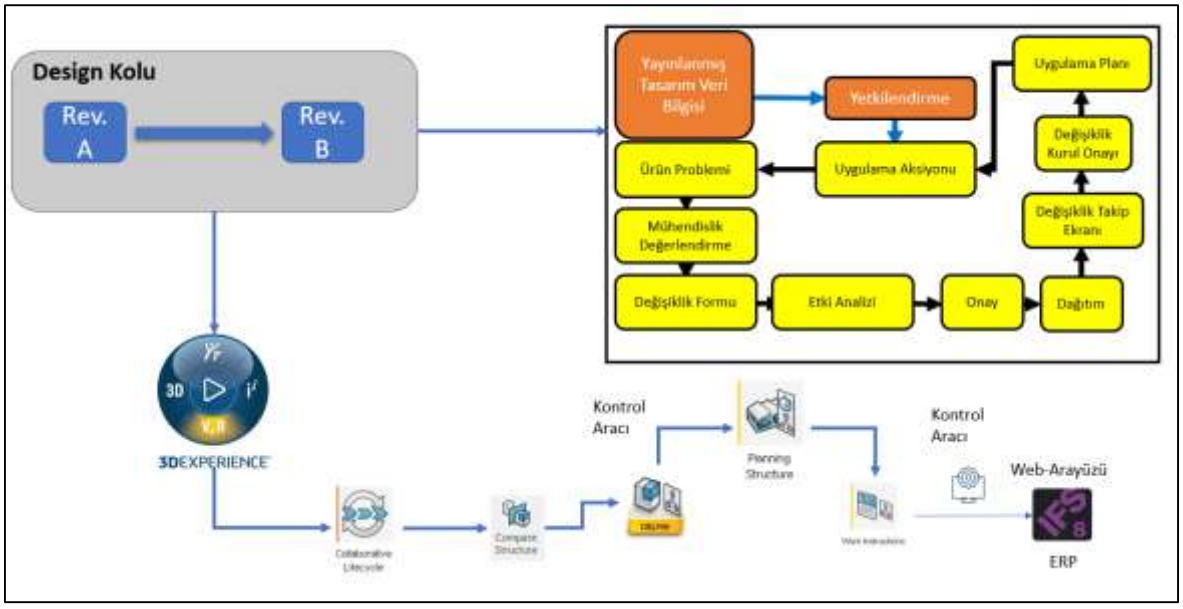
Parça No	Adet	Tanım	Sınıf	Birim	SOURCE_DRW	SOURCE_REV (CATIA)
DIN3016-1-D1-28-15-W3-CR	8	CLAMP/KELEPCE		EA	REPLACED	999
FBSB035	7	HORTUM KORUMA, HEAT PROTECTION HOSE, 35MM		m	ADDED	D1
373706	1	ŞERİT İZOLASYON, ISITICI SİSTEMİ MONTAJI		EA	ADDED	D1
DIN3016-1-D1-60-25-W3-CR	1	CLAMP/KELEPCE		EA	ADDED	999
DIN3016-1-D1-32-15-W3-CR	2	CLAMP/KELEPCE		EA	REPLACED	999
373744	1	YAKIT HORTUMU İZOLASYONU, ISITICI SİSTEMİ MONTAJI		EA	ADDED	D1
374038	1	ŞERİT İZOLASYON, ISITICI SİSTEMİ MONTAJI		EA	ADDED	D1
902912-M8X16-8.8	1	SCREW/VIDA		EA	SIMILAR	999

Şekil 4.33. İki farklı revizyon kıyaslama

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Değişiklik Yöntem Modeli Değerlendirme

DELMIA V6 varsayılan komutlarla oluşturulan değişiklik yönteminin modelinde ana talimatın güncellenmesi durumu aktarılmıştır. Bu çalışmalar neticesinde iki revizyon arasındaki değişiklik durumuna bağlı olarak ortaya çıkan aksiyonların Şekil 5.1'deki gibi yeni bir süreç daha geliştirilmesine sebebiyet verdiği gözlemlenmiştir. Bu durum neticesinde makro ve kontrol mekanizmaları ile süreçteki çalışmalar gerçekleşmiştir.



Şekil 5.1. Değişiklik yöntem modeli

Savunma sanayi kapsamında üretim faaliyetlerinde bulunan bir kurumsal işletmede üretim kurgusu göz önünde bulundurularak, mevcut Excel tabanlı üretim veri paketi süreci dijitalizasyon kapsamında DELMIA programı esas alınarak PLM , ERP , MES sistemlerinin de etkin faaliyetleri ile beraber bir entegrasyon sürecine evrilmiştir. Yapılan çalışmalar şirket bünyesinde kullanılan DELMIA modülleri ile beraber gerçekleştirilmiştir.

CAD- PLM ağ bağlantısı sayesinde tasarım modellerinin güncellenmesi ve belirlenen kurallara bağlı olarak ürün döngüsüne girmesi ilk aşamada gerçekleştirilen faaliyetlerdendir. Bunun yanı sıra görsel modelleme ve resimleme konularında da DELMIA sürecine katkı sağlaması ve sürecin akışı açısında modellerde güncellemeler yapılması kararlaştırılmıştır.

Excel tabanlı süreç yerine CAD tabanlı MBOM sürecinde tamamen model üzerinden aksiyonlar gerçekleştiğinden tasarım komutlarının kullanım etkileri analiz edilmiş, bu analizlere bağlı olarak değerlendirme faaliyetleri gerçekleştirilmiştir. Tüm linklerin bağdaştırılması açısından sürece kurallar ve kısıtlar eklenmiştir. CAD ortamında oluşturulan MBOM raporunun Excel tabanlı oluşturulması yerine html formatında tasarım resimleri ile birebir olarak eşleştirilmesi ile herhangi bir ara süreç olmadan ERP sistemine gönderilmesi sürecinde ilerlenmiştir. Tasarım modelinin karşılaştırılmasının CAD ortamında çalışılması ile daha anlaşılır hale geldiği gözlemlenmiştir.

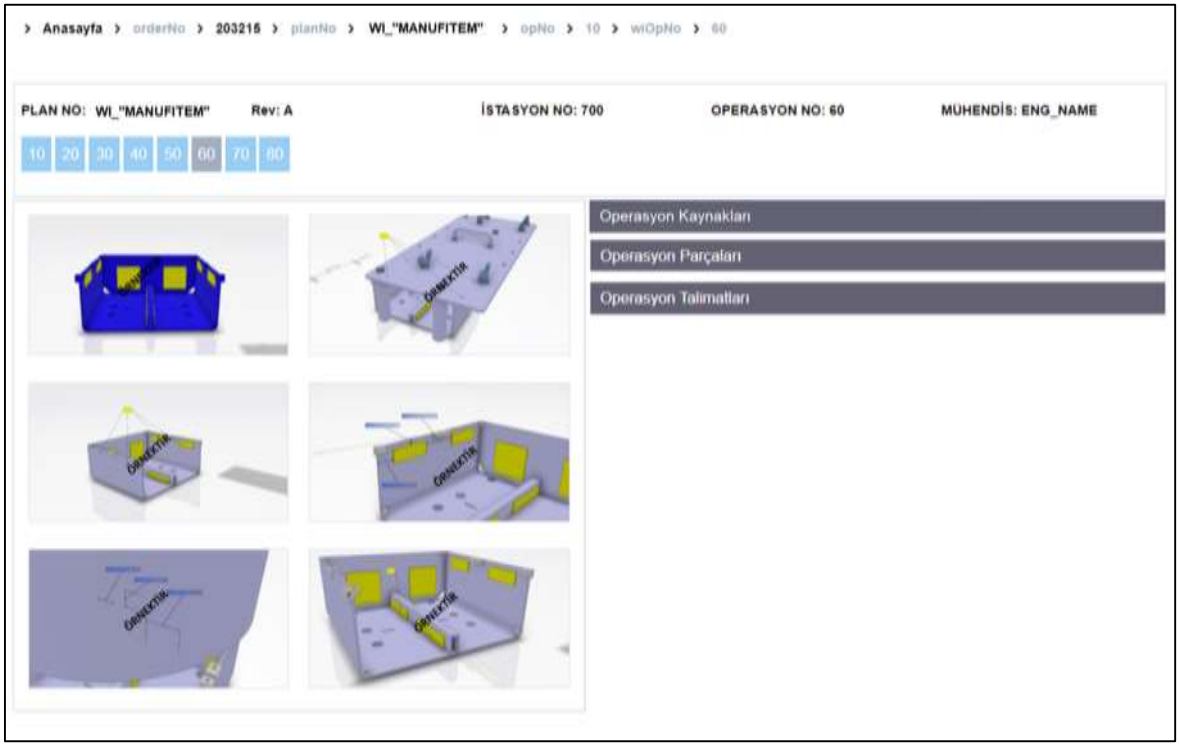
Değişikliklerin üretim mühendisliği saati ve performans göstergeleri dikkate alındığında program kullanımına bağlı olarak avantaj sağladığı gözlemlenmiştir. Program kullanım seviyesi ve yeteneğine bağlı olarak süreçteki adımların daha hızlı uygulanabilirliği konusunda süreç takip edilmiştir. Model tabanlı süreçte kontrol mekanizmalarının daha sık adımlar ile olması sebebiyle, verilerin hatalı olmasının önüne geçilmiş ve birbirine bağlı linkler sayesinde MBOM-PPL-WKS adımları kontrollü olarak doğrulanmıştır.

ÜVP paketinin TDP ile eşlenik olmadığı durumda karşılaşılan sorunların çözümü için model üzerinden gerekli BI kontrolleri olması sebebiyle kullanıcının kontrol yapması gereken ve kök-neden arayacağı kapsam kısıtlanmış ve bu durumdan fayda sağlandığı görülmüştür. Hazırlanan verilerin web-servis aracılığıyla daha hızlı ve optimize bir şekilde ERP sistemine aktarıldığı gözlemlenmiştir. ÜVP paketinin oluşturulması ve revizyon kontrolünün izlenebilirliği açısından ERP sistemi ile eşlenik olarak tasarım revizyonlarının dondurulması ile ilgili adımlar atılmıştır. Bu süre zarfında değişiklik takibinin kontrollü bir şekilde izlenmesi ve sürdürülmesi takip edilmiştir. Kullanıcının süreci uygulaması adına tüm karşılaşılan hata ve analizler üzerinde detaylı değerlendirmeler yapılmıştır.

Ürünlerin envanter kartı dahil tüm karakteristiklerinin CAD model üzerinde gösterilebilmesi için gerekli makro ve web-servis gereksinimleri gözlemlenmiş ve bu doğrultuda alt yapı çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışma doğrultusunda ERP sisteminde gerçekleşen tüm adımların kontrolü 2D yerine 3D olarak devreye girmiştir. MBOM obje yapılarının yap-al kararları ile değişikliğe etkisini azaltmak adına hem ERP hem PLM döngüsünden gelen veriler fonksiyonel hala getirilmiş bunun akabinde algoritmaların çıktısı olarak otomatik makrolar ile beraber revizyon adımlarının tamamen otomatize hale getirilmesi konusunda çalışmalar tamamlanmıştır. Üretim verilerinin güncellenmesi ilk ve son konfigürasyonun

varyant bazlı takibinde farklı adımların izlenmesini ortaya çıkarmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde zaman tasarrufu sağlamak adına hem ana talimatlar hem değişiklik talimatları aynı çatı altında koordine edilecek seviyeye getirilmiştir. PLM döngüsünün özellikleri kullanılarak bu süreç devreye alınmıştır.

Aynı isimde birden fazla objenin oluşturulması yerine tek bir objenin kapsamının veri yapısına işlenmesinin avantaj sağladığı görülmüştür. Talimat sistemi özelinde Excel içerisinde alınan görsel sayısı format gereği kısıtlı olması sebebiyle tam olarak istenilen sürecin aktarılmasına katkı sağlayamadığı görülmüş. Bu nedenle yeni bir html formatında Şekil 5.2'deki gibi fonksiyonel bir çıktı oluşturulmuştur. Bunun neticesinde kullanıcıya esneklik sağladığı görüntülenmiştir. Sadece değişiklik yapılan kısım ile ilgili görsellere ek olarak aynı zamanda tüm talimatı da kapsayan süreç uygulanmıştır.



Şekil 5.2. İş talimatı örnek gösterimi

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Excel sürecindeki yap-al kararlarının parçalar üzerindeki etkisi çıktı sonrası devreye girerken DELMIA ile beraber bu kararlar 3D model üzerinde görüntülenebilir hale gelmiş ve kullanıcının talimat başına alacağı aksiyonları %50 oranında kazanca çevirmiştir. İş talimatı üzerinden yapılan kontroller için gerekli olan mühendis sayısı, DELMIA V6 entegrasyonu sürecindeki kontrol adımları takip edilerek %100 kontrol sağlandığından bu iş için gerekli mühendis devreden çıkarılmıştır.

Tüm üretim disiplinleri birbirine bağıntılı halde bir yapı altında olduğundan en alt seviyeden en üst seviyeye kadar tüm süreç birbirine bağıntılı halde ve revizyonların izlenebilirliği ile doğru orantılı şekilde bağdaştırılmıştır. Konfigürasyon yönetimi kuralları gereğince DELMIA tabanlı süreçte model ile ilgili olarak objeler veri tabanında tutulduğundan, birbirine linkli yapılar ortaya çıkmıştır.

ERP envanter karakteristiği ile beraber otomatik makrolar 3D model üzerinde gerçekleştirilmiş olması ile beraber MBOM süresinin paylaşımı %100 kazanç sağlamıştır. Tasarım modellerinin dijitalizasyon kapsamındaki bu çalışmalar neticesinde uygulanan kurallara istinaden %50 seviyesinde iyileştiği görülmüştür.

Değişiklik süresinde tüm objeler ve sistem bulut ağı üzerinden ilerlediği için istenilen zamanda linklere bağlı olarak çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ortak çalışma süresince multi-disiplinel ortam sağlanmış ve bunun olması sebebiyle tüm süreç matris yapısına çevrilmiştir. MBOM, PPL, WKS süreçleri elle ve görseller alınarak Excel sürecinde ilerlerken DELMIA programı ve oluşturulan kurgu sayesinde kullanıcı herhangi bir elle müdahale yapmadan otomatize şekilde aksiyon alabilmiştir.

Değişiklik öncesi ve sonrası Kontrol mühendisliğinin tüm süreçleri DELMIA kontrol mekanizmaları sayesinde devre dışı bırakılmış ve bunun yanı sıra program alt yapısı nedeniyle ortaya çıkan esnek durum ile beraber süreç otomatize edilmiştir. PLM döngüsünün desteklediği kurumsal altyapının uygun olması ile In-Work çalışma stili ve Released çalışma stili verilerin her zaman güncellenmesi konusunda olanak sağlamıştır.

EBOM-MBOM sürecinde Excel tabanlı sistemde karşılaşılan ileri-geri revizyon çalışması, bağımsız aksiyon ve izlenebilirlik süreci kontrolsüz halden takip edilebilir ve izlenebilir duruma geçmiştir. Üretim disiplinlerinde kullanıcıların daha esnek bir şekilde html formatı olması sayesinde kullanım kolaylığı sağlanmış buna ek olarak tüm operasyonel zamanlamalar MES sistemine destek vermesi açısından erişilebilir olmuştur.

İş talimatında Excel tabanlı olarak gerçekleşen sürekli ve rutin zaman kayıplarına sebep olan hiçbir link ve revizyonu olmayan uyarı talimatları, güvenlik talimatları, standart ekipman ve atamalar gibi işletme süresi kaybına sebep olacak süreçler %100 otomatik hale getirilmiştir. Değişiklik durumlarında birbirine bağıntılı olmayan senaryolarda karşılaşılan işçilik hatalarının %100 önüne geçerek üretim disiplinleri arasında etkileşimin artmasına ve takip edilebilir bir değişiklik modeli olmasına olanak sağlamıştır.

Değişiklik yöntem modeli ile kalite-kontrol adımları için takip süreci %100 kontrollü hale getirilerek operasyonel hataların önüne geçilmiştir. Kümülatif olarak ilerleyen ve herhangi operasyon sırası bilgisi taşımayan format devre dışı bırakılmış operasyonların değişiklik sürecine bağlı olarak kontrol süreleri devreye sokulmuştur.

Diğer yönden, DELMIA entegrasyonun maliyetli olması, sürecin devam edebilmesi için gerekli PLM-ERP-MES alt yapısının olması, kültürel değişimin kabul görülmesi, Tasarım ürün ağacı yapısının ve ürün yönetiminin birebir eşlenik olması verim alınabilmesi açısından aşılması gereken zorluklardandır.

Tasarım verilerinin doğruluğunun üretim veri paketinin dijital olarak ortaya koyulması konusunda büyük öneme sahiptir. Çalışma sonucunda değişiklik yönteminin oluşturulmasında en önemli kilometre taşının model tasarımda oluşturulan hamleler ve buna bağlı olarak tasarım model oluşumunun komutlara bağlı olduğunu gözler önüne sermiştir. Bu kritik adımın alt yapı çalışmaları öncesinde prosedür ve ortak fikir doğrultusunda oluşturulmasının süreç akışını verimli hale getirmiştir.

KAYNAKLAR

1. İnternet: Stackpole, B. (2016). PLM + MES + ERP = Close loop product lifecycle. URL: https://www.automationworld.com/products/software/article/13314943/plm-mes-erp-closedloop-product-lifecycle/ Erişim Tarihi: 20/03/2023

2. İnternet: Develi, H., Ünaldı, H., Biçer, T., Demir, K., Sönmez, Y. (2021). MES (Üretim Yönetim Sistemi) URL: https://www.kobi-efor.com.tr/dosya/mes-uretim-yonetimyurutme-sistemi-h11462.html / Erişim Tarihi: 27/02/2021

3. İnternet: Dassault System, Dijital Üretim Yazılımı. *DELMIA.* URL: https://discover.3ds.com/tr/delmia-digital-manufacturing-software/ Erişim Tarihi: 07.05.2023

4. Sağbaş, A., ve Gülseren A. (2019). Endüstri 4.0 Perspektifinde sanayide dijital dönüşüm ve dijital olgunluk seviyesinin değerlendirilmesi. *Dergipark Akademik*, 2 (2), 1-5.

5. İnternet: Snotra Digital, Endüstri 4.0 ve Dijital Dönüşüm. *Snotra Digital*. URL: https://www.snotradigital.com/endustri-4-0-ve-dijital-donusum/ Erişim Tarihi : 10.01.2023

6. Helming, S. (2019, 26-28 March). Development of a training concept for leadership 4.0 in production environments. *In 9th Conference on Learning Factories*, Karlsruhe.

7. Sert, E. (2020). *Dijital dönüşümde endüstri 4.0 değer zinciri temel faaliyetler analizi: otomotiv sektörü için model önerisi*. Doktora Tezi, T.C. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, İstanbul.

8. Tumbajoy, L. M., Munoz Anasco M., ve Thiede, S. (2022, 29 June-1 July). *Enabling Industry 4.0 impact assessment with manufacturing system simulation: an OEE based methodology*. 55th CTRP Conference on Manufacturing System, Enschede.

9. Dossoua, P. E., Torregrossa, P., ve Martinez, T. (2022, 2-4 November). *Industry 4.0 concepts and lean manufacturing implementation for optimizing company logistics flows*. 3rd International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing, Marne-La-Vallée.

10. Ntamo, D., Montero E., Mack, J., Omar, Highett, M. I., Moss, D., ve Mitchell, N. (2022). Industry 4.0 in action: digitalisation of a continuous process manufacturing for formulated products. *Digital Chemical Engineering*, 3, 1-10.

11. Türk, A. (2014). Endüstri 4.0- Akıllı yeni dünya: dördüncü sanayi devrimi. *EKO-IQ Dergisi-Özel Sayı*, Ankara.

12. İleri, Y., ve Furat, M. (2020, 5-7 March). *A roadmap for digitalization of ındustrial processes*. European Journal of Science and Technology, Hatay, 349-357.

13. Aghamiri, S. (2022). Advantages of digital transformation models and frameworks for business: A systematic literature review. *(IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 13(12).

14. Badasjane, V. (2022). Coordination of digital transformation in international manufacturing Networks-challenges and coping mechanisms from an organizational perspective. MDPI, Eskilstuna.

15. Mihardjo, L. W. W. (2019). Digital leadership role in developing business model innovation and customer experience orientation. *Management Science Letters*. Jakarta, 1749–1762.

16. Kraus, S. Susanne, D. Ferrira, J. Veiga, P. Kailer, N. ve Weinmann, A. (2022). Digital transformation in business and management research: An overview of the current status quo. *International Journal of Information Management,* 63(4).

17. Basu, C. P. (2020). Digital transformation of manufacturing operations - role of ııots and ıorts for smart factorıes. *Digital Transformation*, 55(9), 59-63.

18. Osti, E. (2020). *Lean manufacturıng enhanced by ındustry 4.0*. Yüksek Lisans Tezi, Centria University of Applied Sciences, Kokkola, 1-45.

19. Büchi, G., Cugno, M., ve Castagnoli, R. (2019). Opportunities and Vulnuerabilities of Industry 4.0 : A Systematic literature review. *Institutional Research Information System University of Turin*. 1-6.

20. International Institute for Applied Systems Analysis. (2019). The Digital Revolution and Sustainable Development: Opportunities and Challenges. *IIASA*. Laxenburg, Avusturya. 19-28.

21. Silva, E. R. d., Shinoharab A. C., Nielsena, C. P., Limab, E. P. d., ve Angelis J. (2020, 6-9 Temmuz). Operating digital manufacturing in ındustry 4.0: the role of advanced manufacturing technologies. *53rd CIRP Conference on Manufacturing Systems*, Chicago, 174-179.

22. Albukhitan S. (2020, 6-9 April). *Developing digital transformation strategy for manufacturing*. The 3rd International Conference on Emerging Data and Industry 4.0, Warsaw.

23. Pihlajamaa, M., Malmelin, N., ve Wallin, A. (2021). Competence combination for digital transformation: a study of manufacturing companies in Finland, *Technology Analysis & Strategic Management,* 35(10).

24. Çetinkaya, E. (2021). *İmalat Sanayinde Dijital Dönüşüm: Trakya Bölgesi'nde Bir Saha Araştırması*. Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.

25. Yavuz, A. S. (2022). *Türk Savunma Sanayinde Dijitalleşme: Dijital Dönüşüm Kriterlerinin Belirlenmesi ve Ölçülmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Milli Savunma Üniversitesi Atatürk Stratejik Araştırmalar ve Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.

26. Vlasenko Tetiana, P. M. (2020). Digitalization in creative Industry for skill development. *National University of Life and Environmental Sciences*, 10 (86).

27. Gezici, H. S., Taşpınar, Y., ve Kocağlu, M. (2021). D*igitalization in international and mass Education*: A model proposal for Turkey. (13.Baskı) . İstanbul: Birlesik Dünya yenilik arastırma ve yayıncılık merkezi, 911-933.

28. Forgó, Z., Tolvaly-Roşca, F., ve Farmos R. (2020). Digitalization of Production – A Challenge for the Industry and Education. *Műszaki Tudományos Közlemények*, 12, 38–41.

29. Šarić-Ormuž, I. (2017). *Digitalization of Volkswagen Production System*. Yüksek Lisans Tezi, University of Zagreb Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Wolfsburg.

30. Saqlain, M., Piao, M., Shim, Y., ve Lee., J. Y. (2019). Framework of an IoT-based Industrial Data Management for Smart Manufacturing. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 8(25).

31. Sylvi Thun, P. F. K. B. K., (2019). Industry 4.0: Whose Revolution? The digitalization of manufacturing work processes. *Nordic journal of working life studies,* Trondheim.

32. Bistakova, J., Joniakova, Z., Jankelova, N., Stachova, K., ve Stacho, Z. (2020). Reflection of digitalization on business values: the results of examining values of people management in a digital age. *MDPI,* 12

33. Shintre, R. A. (2020). *A review on productivity ımprovement using digital manufacturing approach*. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Kolhapur.

34. Hain, M., Moutachouik, H., Zakrani, A., ve Enaanai, A. (2017). A New Approach to MES System Deployment. *International Journal of Scientific Engineering and Technology*, 6(6), 198-202.

35. D'Antonio, G. (2016). A proposal of manufacturing execution system ıntegration in design for additive manufacturing. *Springer International Publishing Switzerland* , Cachan Cadex

36. Neves J. M. S., Marins, F. A. S., Akabane, G. K., ve Kanane, R. (2015) . Deployment the Mes aiming to improve competitive priorities of manufacturing. *Independent Journal of Management & Production,* 6(2).

37. Soni, A. K. Verna A. K., Tripathi, A. K., ve Pandey, A. K. (2020). Enterprise Resource Planning Software for Manufacturing Industry. *International Journal for Resarch in Applied Science & Engineering Technology*, 8(5), 1-7.

38. Traini, E., Bruno, G., Awouda, A., Chiabert, P., ve Lombardi, F. (2021). Integration between PLM and MES for one-of-a-kind production. *Springer*, 565(2019), 356-365.

39. Mantravadi, S., LI, C., ve Møller, C. (2019, 3-5 May). *Multi-agent manufacturing execution system*. 21st International Conference on Enterprise Information Systems, Aalborg.

40. Vukadinovic, V., Majstrovic, V., Zivkovic, J., Stojadinovic, S., ve Djurdjanovic, D. (2022). One MES model in digital manufacturing. *Elsevier*, 112, 256-262.

41. Rozs, R., ve Ando, R. (2020). Collaborative systems, operation and task of the manufacturing execution systems in the 21st century ındustry. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, 64(1), 51-66.

42. Oğulcan, A. (2021). *Koltuk üretim süreçlerinin Delmia V6 programı ile oluşturulması ve yönetimi*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü. Sakarya.

43. Sahu, D. K., ve Chowadhary, A. (2022). A method for transformatıon of ebom to mbom with multi-cad envıronment in automotive BIW manufacturıng. *International Journal of Engineering and Applied Sciences,* 6(10), 111-120

44. Yongsheng, S., ve Yu, L. (2012, 20-21 October). *Application of DELMIA on maintainability design of aircraft*. In The 2nd International Conference on Computer Application and System Modeling, Tianjin.

45. Wei, S., Bai, Y., Wang, X., Kai, L., Xu, L., Vrieze, P. d., ve Kasse, J. P. (2019). A New Method for Manufacturing Process, *Springer Nature Switzerland*, 1-13.

46. İnternet: ICC-Industrial Control Center, Dijital dönüşüm piramidi. *ICC*, URL: https://www.icc.com.tr/Blog/4169/Dijital-Donusum-Piramidi/ Erişim Tarihi: 05.11.2023

47. Schumacher, A. S. S. E. (2016, 28-29 October). *Automation, digitization and digitalization and their implications for manufacturing processes*. Innovation and Sustainability, Bucharest.

48. Li, Haijia., ve Yang, C. (2020). Digital transformation of manufacturing enterprises. *Procedia Computer Science Elsevier B.V.* 187(2021), 24-29.

49. D'Antonio, G., Macheda, L., Bedolla, J. S., ve Chiabert, P. (2017, 10-12 July). PLM-MES Integration to Support Industry 4.0. IFIP International Federation on Product Lifecycle Management, Seville, 129-137.

50. İnternet: Dassault Systemes - Product services, Digital Lean Manufacturing Integration Application. *DELMIA*. URL: https://www.3ds.com/products-services/delmia/overview/. Erişim Tarihi: 03.07.2023

51. Johnson, A. E. A., (2023). The definition and importance of work instruction system in the preparation of production data package. *International Journal of Production Management*, 38(2), 145-163.

52. Haijun, Y., Xinghua, Q., ve Weixing, A. (2022). *Study on application of model based 3D process planning system*. Journal of Physics: Conference Series, Shenyang

Gazili olmak ayrıcalıktır