



**ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE ÜRÜN YAŞAM
DÖNGÜSÜ YÖNETİMİ (PLM) YAZILIMI SEÇİMİ**

Duygu KEPÇEOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2021

ETİK BEYAN

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

- 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 çalışmada 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.

Duygu KEPÇEOĞLU

31/05/2021

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE ÜRÜN YAŞAM DÖNGÜSÜ YÖNETİMİ (PLM) YAZILIMI SEÇİMİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Duygu KEPÇEOĞLU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2021

ÖZET

21. yüzyılda dördüncü sanayi devriminin gelişimi ile değişen rekabet anlayışı, şirketleri dijital teknolojilerden faydalanarak ürün yaşam döngüsü süreçlerini dijital ortamda uçtan uca takip etmeye ve yönetmeye zorlamaktadır. Günümüzde şirketler değişen müşteri taleplerine hızlı bir şekilde yanıt vermek, pazar paylarını artırmak, ürün ve üretim kalitesini iyileştirmek, maliyetleri düşürmek, operasyonel verimliliklerini artırmak ve iş süreçlerini optimize etmek için ürün yaşam döngüsü yönetimi (PLM) yazılımlarına yoğun yatırımlar yapmaktadırlar. PLM yazılımını sunan şirketlerin sayısındaki artış ve karar verme sürecinde dikkate alınması gereken çok fazla faktörün bulunmasından dolayı karar vericilerin şirketleri için en uygun yazılımı seçme konusunda kararsız davranmalarına sebep olmaktadır. Uygun olmayan PLM yazılımının seçimi, ürün yaşam döngüsü zincirindeki tüm çalışanları ve şirketin uzun vadeli sürdürülebilirlik hedeflerini olumsuz yönde etkileyecektir. Bu çalışmada savunma sanayi sektöründe faaliyet gösteren bir şirkette PLM yazılım seçim problemi ele alınmıştır ve seçim sürecine yardımcı olmak için yeni bir sistematik yaklaşım geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında, üç PLM yazılım alternatifi dört ana kriter altında yer alan 19 alt kriter üzerinden değerlendirilmiştir. Kriterleri belirlemek ve belirlenen kriterlerin göreceli önemini hesaplamak için savunma sanayii sektöründe bilgi teknolojileri ve mühendislik alanlarında tecrübeli sistem yöneticilerinden oluşan 13 kişilik bir uzman grubuna anket uygulanmıştır. En uygun PLM yazılımı seçimi için bütünlük ANP-TOPSIS yöntemi uygulanmıştır. Her bir ana kriterin önem ağırlığındaki değişimin, yazılım alternatiflerinin sıralamasını nasıl değiştirdiğini belirlemek için duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir.

Bilim Kodu : 90602

Anahtar Kelimeler : Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi Yazılım Seçimi, PLM, Savunma Sanayii, Çok Kriterli Karar Verme, ANP, TOPSIS

Sayfa Adedi : 172

Danışman : Prof. Dr. Mustafa KURT

PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT (PLM) SOFTWARE SELECTION USING
MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING METHODS

(M. Sc. Thesis)

Duygu KEPÇEOĞLU

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

May 2021

ABSTRACT

The understanding of competition that has changed along with the development of the Industrial Revolution 4.0 (4IR) in the 21-st century forces companies to follow and manage their end-to-end product lifecycle processes in the digital environment by using digital technologies. Nowadays, companies invest heavily in product lifecycle management (PLM) software to respond quickly to meet customer demands, to increase their market share, to improve product and production quality, to reduce costs, to increase their operational efficiencies, and to optimize their business processes. The increase in the number of companies offering PLM software and the fact that there are too many factors to consider in the decision-making process make decision-makers hesitant to choose the most suitable software for their companies. The choice of inappropriate PLM software will adversely affect all employees in the product lifecycle chain and the long-term sustainability goals of the company. In this study, the problem of PLM software selection in a company operating in the defense industry is handled and a new systematic approach is developed to assist the selection process. In the scope of the study, three PLM software alternatives are evaluated over 19 sub-criteria under four main criteria. To determine the criteria and to calculate the relative importance of the determined criteria, a questionnaire is applied to a 13-person expert group who are experienced in the fields of information technologies and engineering in the defense industry sector. The integrated ANP-TOPSIS method is applied to select the most appropriate PLM Software. Sensitivity analysis is performed to find out how the change in the weight of the importance of each main criterion changes the ranking of software alternatives.

Science Code : 90602

Key Words : Product Lifecycle Management Software Selection, PLM, Defense Industry, Multi-Criteria Decision Making, ANP, TOPSIS

Page Number : 172

Supervisor : Prof. Dr. Mustafa KURT

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca bilgisi, hoşgörüsü ve yardımlarıyla beni yönlendiren değerli hocam Prof. Dr. Mustafa KURT'a, lisans ve yüksek lisans dönemimde değerli katkıları olan tüm hocalarıma, Türk Havacılık Uzay Sanayi şirketinde birlikte çalıştığım değerli yöneticilerime ve çalışma arkadaşlarıma, çalışmamı sabırla inceleyerek görüş veren Ahmet AKTAŞ'a, anket çalışmama destek veren herkese, hiçbir zaman desteğini esirgemeyen ve çalışma motivasyonumu arttıran çok kıymetli annem Zekiye RUŞEN'e, özlemle andığım babam Mustafa RUŞEN'e, kardeşim Deniz Burak RUŞEN'e, her ihtiyacım olduğu anda yardıma hazır ve yanımda olan müstakbel eşim Gökhan KEPÇEOĞLU'na ve ailesine teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. ÜRÜN YAŞAM DÖNGÜSÜ YÖNETİMİ (PLM).....	7
2.1. PLM.....	7
2.2. PLM Kavramının ve Yazılımının Gelişim Süreci.....	11
2.2.1. Bilgisayar destekli teknolojilerin (CAx) gelişimi	11
2.2.2. PDM kavramının ve yazılımının gelişim süreci	13
2.2.3. Eşzamanlı ve işbirlikçi mühendislik ve PLM'in gelişim süreci	15
2.3. PLM Yazılımının Özellikleri ve Kuruma Faydaları	23
2.3.1. PLM yazılımı hizmet modelleri	27
2.3.2. PLM sistem mimarisi	29
2.3.3. ERP ve PLM yazılımlarını entegre etmenin önemi	43
2.3.4. PLM yazılımının temel uygulamaları	45
2.3.5. PLM yazılımının potansiyel faydaları.....	49
2.4. PLM Uygulamasının Performansına Etki Eden Faktörler	54
2.4.1. PLM yazılım uygulamaları için kritik başarı faktörleri	55
2.4.2. PLM yazılım uygulamalarında karşılaşılan risk faktörleri	64
2.4.3. PLM yazılım uygulamalarının başarısızlık nedenleri	66

	Sayfa
2.4.4. PLM yazılımını uygulama süreci	67
2.4.5. Yazılım seçim öncesi yapılması önerilen ön çalışma	69
3. PLM YAZILIM SEÇİMİ KAPSAMINDA YAPILAN LİTERATÜR ANALİZİ.....	73
3.1. Yazılım Seçim Problemlerinde Kullanılan ÇKKV Yöntemleri.....	78
3.2. Yazılım Seçim Kriterleri	83
4. YÖNTEMLER ve UYGULAMA ADIMLARI.....	91
4.1. Uygulama Konusu için İzlenilen Metodoloji.....	91
4.2. Uygulama Konusunun Tanıtılması	92
4.3. Analitik Ağ Süreci (ANP) Yöntemi.....	93
4.3.1. ANP yönteminin uygulama adımları	93
4.4. TOPSIS Yöntemi	100
4.4.1. TOPSIS yönteminin uygulama adımları	101
5. SAVUNMA SANAYİİNDE BİR UYGULAMA	105
5.1. PLM Yazılım Seçim Kriterlerinin Belirlenmesi	105
5.2. PLM Yazılım Alternatiflerinin Belirlenmesi	113
5.3. Karar Probleminin Ağ Yapısının Oluşturulması.....	113
5.4. ANP Yöntemi ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi ve Yazılım Seçimi	115
5.4.1. İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması ve tutarlılık analizi.....	115
5.4.2. Kriter ağırlıklarının ve en uygun PLM yazılımının belirlenmesi	126
5.5. Bütünleşik ANP-TOPSIS Yöntemi ile PLM Yazılım Seçimi.....	129
5.5.1. En uygun PLM yazılımının belirlenmesi	132
5.6. ANP ve TOPSIS Yöntemleri ile PLM Yazılım Seçim Sonuçları	132
5.7. Duyarlılık Analizi.....	133
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	137
KAYNAKLAR	141

	Sayfa
EKLER.....	157
EK-1. ANP Yöntemi ikili karşılaştırma anket formu	158
EK-2. Anketlerden elde edilen ikili karşılaştırma matrislerinin değerleri ve tutarlılık oranları	162
ÖZGEÇMİŞ	172



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Literatürdeki bazı PLM tanımları	7
Çizelge 2.2. Havacılık sektöründeki PLM anahtar konular	18
Çizelge 2.3. PLM yazılımının temel modülleri	46
Çizelge 2.4. PLM yazılım uygulanmasında başarı faktörleri	56
Çizelge 2.5. PLM yazılım uygulamalarında karşılaşılan risk faktörleri	65
Çizelge 2.6. PLM yazılım uygulamalarının başarısızlık nedenleri.....	66
Çizelge 2.7. PLM uygulama kılavuzlarının özeti	68
Çizelge 3.1. Literatürde yazılım seçimi problemlerinde kullanılan ÇKKV teknikleri ...	80
Çizelge 3.2. Tezde kullanılan kriterlerin literatürdeki yeri.....	86
Çizelge 4.1. İkili karşılaştırmalarda kullanılan önem skalası	96
Çizelge 4.2. Kriter sayısına göre değişen rassal indeks değerleri.....	98
Çizelge 5.1. Uygulamada kullanılan yazılım seçim kriterleri.....	106
Çizelge 5.2. Ağırlıklandırılmamış süper matris	123
Çizelge 5.3. Ağırlıklandırılmış süper matris.....	124
Çizelge 5.4. Limit süper matris.....	125
Çizelge 5.5. Alt kriterlerin genel ağırlıkları.....	127
Çizelge 5.6. TOPSIS yöntemi standart karar matrisi	130
Çizelge 5.7. TOPSIS yöntemi normalleştirilmiş karar matrisi	130
Çizelge 5.8. Ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi	131
Çizelge 5.9. Pozitif (A^+) ve negatif (A^-) ideal çözüm değerleri.....	131
Çizelge 5.10. ANP-TOPSIS yöntemleri ile PLM yazılım alternatiflerinin sıralaması ...	132
Çizelge 5.11. Duyarlılık analizi senaryoları ve sonuçları	134

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Ürün yaşam döngüsü yönetiminin üç boyutu	2
Şekil 2.1. Ürün yaşam döngüsü aşamaları	9
Şekil 2.2. Farklı CAx sistemlerinin etkileşimi	12
Şekil 2.3. PLM'in kapsamı ve PDM-PLM ilişkisi	14
Şekil 2.4. PLM ile iş birlikçi yaklaşımının gelişimi	17
Şekil 2.5. Model tabanlı tanımlama (MBD) yaklaşımı	20
Şekil 2.6. Uçak yaşam döngüsü içerisinde IDMU kapsamı	21
Şekil 2.7. Maliyet, işlevsellik ve kullanılabilirlik faktörlerinin değişimi	22
Şekil 2.8. PLM kapsamı	24
Şekil 2.9. PLM süreç seviye modeli	25
Şekil 2.10. Mühendislik bilgi yönetim sisteminin dört görünümü	26
Şekil 2.11. SaaS, PaaS ve IaaS farkı	28
Şekil 2.12. PLM sistem mimarisi	30
Şekil 2.13. PLM sistem mimarisi temel katmanları	31
Şekil 2.14. PLM mimari katmanları	31
Şekil 2.15. PLM iş mimarisi kapsamı	32
Şekil 2.16. Kapalı döngü PLM iş mimarisi	33
Şekil 2.17. Konfigüre edilmiş bir sayısal ürün modeli yapısı	35
Şekil 2.18. Kapalı döngü PLM yazılım mimarisi	37
Şekil 2.19. PLM uygulama mimarisi	38
Şekil 2.20. Ürün yaşam döngüsü fazlarına göre kurumsal sistemlerin önem değerinin değişimi	39
Şekil 2.21. İş zekâsı (BI) üst seviye mimarisi	40
Şekil 2.22. PLM temel teknoloji mimarisi	42
Şekil 2.23. Çok katmanlı bir mimari	43

Şekil	Sayfa
Şekil 2.24. PLM-ERP yazılımları arasındaki farklılıklar.....	43
Şekil 2.25. PLM paydaşları (Saaksvuori ve Immonen, 2008)	46
Şekil 2.26. PLM yazılımlarının faydalarının genel bir özeti	54
Şekil 2.27. Süreç odaklı PLM mimarisi (PPA) yaklaşımı	69
Şekil 2.28. PLM matrisi	71
Şekil 2.29. PLM yazılımı sağlayıcısı seçim prosedürü.....	71
Şekil 3.1. Tez kapsamında incelenen çalışmaların yıllara göre dağılımı.....	74
Şekil 3.2. PLM yazılım seçimi süreci ve metodolojisi	75
Şekil 3.3. Yazılımı seçimi genel süreç çerçevesi	75
Şekil 3.4. Kurumsal yazılım seçimi modeli	76
Şekil 3.5. ÇKKV yöntemlerinin sınıflandırılması	79
Şekil 3.6. ISO/IEC 25010 kalite modeli	85
Şekil 4.1. Çalışmada kullanılan metodolojinin adımları.....	91
Şekil 4.2. Hiyerarşik yapı ile ağ yapısı arasındaki fark	94
Şekil 4.3. Örnek bir ağ modeli	95
Şekil 4.4. ANP BOCR modeli	96
Şekil 4.5. Süper Matris Yapısı	99
Şekil 4.6. İdeal ve ideal olmayan noktalara olan uzaklıkların gösterimi	101
Şekil 5.1. PLM yazılım seçimi karar probleminin ağ yapısı.....	114
Şekil 5.2. Karar vericilerin meslek bilgisi yüzdeleri.....	115
Şekil 5.3. Çalışmada yapılan anketin görünümü	116
Şekil 5.4. Değerlendirme verilerinin geometrik ortalamasının alınması	116
Şekil 5.5. Ana kriterlerin ikili karşılaştırılmasının matris formunda gösterimi	117
Şekil 5.6. Ana kriterlerin ikili karşılaştırılmasının anket formunda gösterimi	117
Şekil 5.7. Kriter kümelerinin (ana kriterler) hesaplanan ağırlıkları	118
Şekil 5.8. Amaç açısından “Fonksiyonel Uygunluk” kriter kümesindeki alt kriterlerin karşılaştırılması.....	119

Şekil	Sayfa
Şekil 5.9. “Bilgi Güvenliği” kriterinin iç ve dış bağımlılıklarının gösterimi.....	120
Şekil 5.10. “Bilgi Güvenliği” kriterinin iç bağımlılık öz vektör değerleri	120
Şekil 5.11. “Bilgi Güvenliği” kriterinin dış bağımlılık öz vektör değerleri.....	121
Şekil 5.12. “Güvenilirlik” kriterine göre alternatiflerin karşılaştırılması	122
Şekil 5.13. Ana kriter ağırlıkları ve alt kriterlerin yerel ağırlıklarına ait hiyerarşik ağaç gösterimi	126
Şekil 5.14. Analitik ağ süreci yönteminin sonuç ekranı	128
Şekil 5.15. Duyarlılık analizi sonuç değişimi	135



SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
A^+	Pozitif İdeal Çözüm
A^-	Negatif İdeal Çözüm
CI	Tutarlılık Göstergesi
CR	Tutarlılık Oranı
C_i^+	İdeal Çözüme Göreli Yakınlık Derecesi
RI	Rassal Gösterge
R	Karar Matrisi
S_i^+	Pozitif İdeal Çözüme Uzaklığını Belirten Ayrılma Ölçüsü
S_i^-	Negatif İdeal Çözüme Uzaklığını Belirten Ayrılma Ölçüsü
V	Ağırlıklı Karar Matrisi
W	Kriterlerin Ağırlığı
λ	Özdeğer

Kısaltmalar	Açıklamalar
AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
ANP	Analitik Ağ Süreci
BOM	Ürün Ağacı Yönetimi
BT	Bilgi Teknolojileri
CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım
CAE	Bilgisayar Destekli Mühendislik
CAM	Bilgisayar Destekli İmalat
CAX	Bilgisayar Destekli Teknolojiler
CIM	Bilgisayarla Bütünleşik İmalat
CM	Konfigürasyon Yönetimi
CRM	Müşteri İlişkileri Yönetimi
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme

Kısaltmalar**Açıklamalar**

DMU	Sayısal Ürün Modeli
ERP	Kurumsal Kaynak Planlaması
IAAS	Servis Olarak Altyapı
ICT	Bilgi ve İletişim Teknolojileri
IDMU	Bütünleyici Sayısal Ürün Modeli
MBD	Model Tabanlı Tanımlama
MES	Üretim Yürütme Sistemleri
NC	Sayısal Kontrol
PAAS	Servis Olarak Platform
PDM	Ürün Veri Yönetimi
PEID	Ürün Gömülü Bilgi Cihazları
PLM	Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi
SAAS	Servis Olarak Yazılım
SCM	Tedarik Zinciri Yönetimi
STEP	Ürün Modeli Veri Değişimi Standardı
TOPSIS	İdeal Çözüme Yakınsama Tekniği ile Sipariş Tercihi

1. GİRİŞ

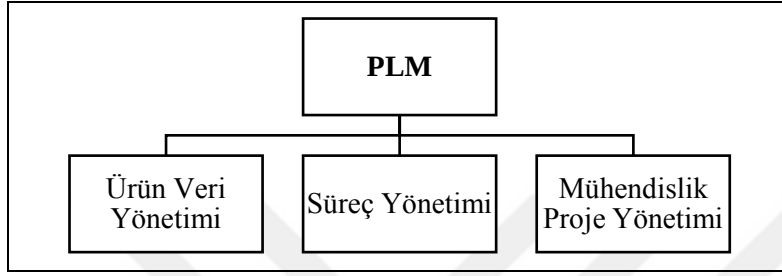
Geçtiğimiz çeyrek yüzyıl içerisinde teknoloji çok hızlı bir şekilde gelişerek hayatlarımıza sayısız yenilikler getirmiştir. Günümüzde dijital teknolojiler ile hız kazanan dördüncü sanayi devrimi, bilişim teknolojisinin üretim sistemlerine dahil edilmesiyle birlikte üretim ve hizmet sektörlerinde çok yoğun bir şekilde evrilmektedir. Sosyal, ekonomik ve kültürel boyutlarda değişimlerin yaşanmasına neden olan bu değişikliklerle birlikte tüketicilerin ve üreticilerin beklentileri, bakış açıları ve davranışları da hızla değişmektedir. Değişime herkes aynı oranda sıcak bakmasa da değişim artık herkes için kaçınılmazdır.

Sektörel ihtiyaçların sürekli değiştiği, yaşam döngüsünün kısalmaya ürünü ve süreç karmaşıklığının arttığı ve hızın önem kazandığı bu zamanda şirketler rekabet edebilmek ve hayatta kalmak için artık işlerini, iş yapma modellerini değiştirmek zorunda kalmıştır. Özellikle bilgi ve iletişim teknolojilerinde yaşanan gelişmelerle birlikte operasyonel verimliliklerini arttırmak isteyen şirketler dijital dönüşüme yoğun yatırım yapmaya başlamıştır. Endüstri 4.0 ile gelen dijital dönüşümün yapılabilmesi için sadece yatırım yapmak yeterli olmamaktadır. Aynı zamanda uçtan uca süreçlerin analiz edilmesi ve iyileştirilmesi gerekmektedir.

Dijital Dönüşüm (DT), sürekli değişen bir dijital ekonomide daha etkin bir şekilde rekabet edebilmek için teknolojinin, iş modellerinin ve süreçlerin yeniden düzenlenmesini gerektirmektedir (Solis, 2017). Dijital dönüşüm için değer zinciri üzerindeki tüm süreçleri dijitalleştirmek gerekmektedir. Bu bağlamda tüm iş süreçlerinin dijital ortamda takip edilebilmesini sağlama, ürünlerin ve üretim tesislerinin modellenerek dijital ikizlerinin (fiziksel nesnelerin dijital temsili) oluşturulabilmesi, multidisipliner (bir arada) ve interdisipliner (birlikte) işbirlikçi çalışma ortamı sunması gibi yeteneklere sahip ürün yaşam döngüsü yönetimi (PLM) yazılımlarına çok iş düşmektedir.

PLM ürünlerin fikir aşamasından kullanım ömrü dolduktan sonra bertaraf edilmesine kadar ki tüm süreç boyunca entellektüel sermaye ve ürünlerle ilgili bilgilerin oluşturulması, yönetimi ve kullanımı için stratejik bir yaklaşımı ifade etmektedir (Puzovic, Vasovic ve Radojicic, 2019). Ürün odaklı şirketler, ürün karmaşıklığı yönetimi konusunda uygun bir yaklaşımın PLM yaklaşımı olduğunu fark etmişlerdir (Young, Gunendran, Cutting-Decelle ve Gruninger, 2007).

PLM, ürün veri yönetimi (ürün/veri), süreç yönetimi (süreçler/uygulamalar) ve mühendislik proje yönetimi (insanlar) alanlarında ürün merkezli sistematik bir yaklaşım sunmaktadır (Saaksvuori ve Immonen, 2002; Stark, 2005; Chiang ve Trappey, 2007; Grieves ve Tanniru, 2008; Eigner ve Stelzer, 2008). PLM'in üç boyutu şekil 1'de gösterilmiştir ve devamında detaylı olarak açıklanmıştır (Vadoudi, Allais, Reyes ve Troussier, 2014).



Şekil 1.1. Ürün yaşam döngüsü yönetiminin üç boyutu (Vadoudi ve diğerleri, 2014)

- **Ürün veri yönetimi:** Ürün yaşam döngüsünde yer alan yerel ve küresel ekipler, farklı yerlerde aynı anda çalışmalarına olanak sağlayan, iletişimi ve iş birliğini destekleyen uygun uygulamalara ihtiyaç duymaktadır (Klassen ve Vachon, 2009). İş birliği, PLM yazılımlarının ürün veri yönetimi yeteneği ile merkezi tek bir platformda veri sağlaması yoluyla kolaylaştırılabilir (Cao, Folan, Mascolo ve Browne, 2009). Veriler merkezi olarak yönetilmektedir ve kurumsal hafıza merkezi veri deposunda saklanmaktadır. Böylece verilerin tekrar tekrar oluşturulması ve buna bağlı oluşabilecek veri tutarsızlıkları engellenmektedir (Vadoudi ve diğerleri, 2014). Ürün geliştirme süreçlerinde geçmişteki hatalardan öğrenilmiş dersler çıkarmak ve geçmişteki başarıları gelecekteki tasarımların başlangıç noktası olarak kullanmak, yüksek kaliteli, sağlam ve yenilikçi bir ürün elde etmek için kritik faktörlerdendir (Wiebe, 1997). PLM, ürün yaşam döngüsü boyunca ürünün farklı evrelerindeki tüm bilgilerin görsel ve sistemsel takip edilebilirliğini sağlamaktadır.
- **Süreç yönetimi:** PLM yazılımları fonksiyonlar arası ve şirketler arası ürün odaklı süreçlerin verimli bir şekilde uygulanmasını desteklemektedir. Ürün geliştirme süreçlerini kolaylaştırmak ve hızlandırmak için süreçlerin ürün ve veri akışına göre tasarlanması gerekmektedir (Vadoudi ve diğerleri, 2014). Zaman içerisinde ürün yaşam döngüsü süreçlerinde; ürün geliştirme süresini ve pazara yeni bir ürün sunma maliyetini azaltmak için, mühendislik yaklaşımlarından geleneksel sıralı ürün geliştirme

yaklaşımının yerini, eşzamanlı ve iş birliğine dayalı ürün geliştirme yaklaşımı almıştır. Çok disiplinli bir çalışmayı gerektiren iş birliğine dayalı bu ürün geliştirme yaklaşımının, şirketin tüm alanlarındaki çalışanların bir araya gelmesini sağlamanın yanında şirket dışında kalan tedarikçileri ya da müşterileri de dahil etmesi gerekmektedir (Kumar ve Midha, 2001).

- Mühendislik proje yönetimi: Ürün odaklı kaynakları organize ederek diğer iki boyutun (ürün veri ve süreç yönetimi) yönetimini kapsamaktadır (Terzi, Bouras, Dutta, Garetti ve Kiritsis, 2010). Ürün değişiklikleri yaklaşımının yönetilmesi, konfigürasyon yönetimi, ürünün sistemde tanımlanması, ürünle ilgili sorunların yönetimi gibi konular için metodolojilerin oluşturulduğu ve yönetildiği kısımdır (Vadoudi ve diğerleri, 2014).

İş stratejisi ve yazılım olarak PLM nispeten kısa bir tarihe sahip olsa bile tarihsel gelişiminde iki ana kökten türemiştir. Köklerinden biri bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve ürün veri yönetimine (PDM) dayanmaktadır. Diğer kök ise eşzamanlı mühendislik gibi iş stratejilerine dayanmaktadır (Shilovitsky, 2021b). Bir şirket, müşterilerinin ihtiyaç duyduğu ürünleri, istenilen zamanda tedarik edebilmeli ve destekleyebilmelidir. Bu gereksinimlerin yanında ürün kalitesini iyileştirme ve maliyet hedeflerinin de eklenmesi çalışanlar üzerinde önemli baskı yaratmaktadır. Bu baskıyı azaltmanın bir yolu, bireysel mühendislik faaliyetlerinin üretkenliğini artırmaktır (örneğin, CAD verilerinin tanıtılması yoluyla). Diğer bir yol, faaliyetler arasındaki koordinasyonu iyileştirmektir (örneğin, eşzamanlı ve işbirlikçi mühendislik yaklaşımı yoluyla) (Siddiqui, Burns ve Backhouse, 2004).

Günümüzdeki PLM yazılımları, ürünlerin kalitesinin artırılması, üretim maliyetlerinin azaltılması, teslim sürelerinin azaltılması, müşteri memnuniyetinin artırılması ve üretim kuruluşlarının genel verimliliğinin artırılması gibi pek çok faydayı sağlaması açısından şirketler için çok önemli bir role sahiptir. PLM yazılımları sadece mühendislik departmanını etkilemekle kalmayıp, aynı zamanda bir bütün olarak şirketi de etkilediğinden, herkes için uygun bir PLM yazılımını seçme süreci büyük bir sorumluluk baskısı oluşturmaktadır. PLM yazılım alternatiflerinin sunduğu olanakların, teknik özelliklerinin ve alt yapısının derinlemesine incelenmesi gerekmektedir.

Piyasada bulunan herhangi bir PLM yazılım paketinin, bir şirketin tüm gereksinimlerini ve beklentilerini tam olarak karşılayamadığı bilinmektedir. Çünkü her şirket kendi işini farklı

stratejiler ve hedeflerle yürütmektedir. Bu nedenle, organizasyon yöneticileri, ihtiyaçlarını en yakından karşılayan bir PLM yazılım paketini seçme konusuna önem vermektedir. Ayrıca, uygun olmayan bir PLM yazılımının seçimi, bir ürün yaşam döngüsü zincirindeki tüm çalışanları olumsuz yönde etkileyecektir ve bu da şirketin uzun vadeli sürdürülebilirlik hedeflerini engelleyecektir. Bunlara ek olarak PLM yazılımının maliyetinin çok yüksek olmasından dolayı da geri dönüşü oldukça zor olan bir yatırımdır. Bu nedenle, uygun bir PLM yazılımı seçimi, karar verme sürecini etkileyen çok sayıda çelişkili kriterin dikkatli bir şekilde analiz edilmesini gerektirdiğinden karmaşık ve önemli bir görevdir. En uygun PLM yazılımı seçimine yardımcı olmak için mantıklı ve sistematik bir yaklaşımın geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu tez çalışmasında savunma sanayii sektöründe PLM yazılımı seçim sürecindeki şirketler için PLM yazılım alternatiflerini değerlendirmelerine olanak tanıyan niceliksel bir çerçeve geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amacı gerçekleştirmek adına yapılan çalışmalar ve değerlendirmeler beş başlıkta aşağıda özetlenmiştir.

Çalışmanın ilk bölümünde öncelikle PLM kavramının ve yazılımının ne olduğu, nasıl geliştiği, özellikleri, faydaları ve bu yazılımın performansını etkileyen faktörler hakkında kavramsal ve teorik bilgiler verilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde PLM yazılım seçim süreci ile ilgili yapılan literatür analizi paylaşılmıştır. Yazılım seçim sürecinde sektörün önceliklerine bağlı olarak yazılım alternatiflerini değerlendirme konusunda ele alınması gereken kriterler belirlenmiştir. Belirlenen bu kriterlerin çok boyutlu olması ve birbirleri ile etkileşim içerisinde olmaları sebebiyle PLM yazılım seçimi, çok kriterli karar verme (ÇKKV) problemi olarak ele alınmıştır. Literatür incelemesi sonucunda ÇKKV kavramı ve yazılım seçim problemlerinde kullanılan ÇKKV yöntemleri ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümü olan yöntemler ve uygulama adımları kısmında uygulama konusu tanıtılmış ve uygulamada kullanılan Analitik Ağ Süreci (ANP) ve İdeal Çözüme Yakınsama Tekniği ile Sipariş Tercihi (TOPSIS) yöntemleri açıklanmıştır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde savunma sanayiye yönelik PLM yazılım seçiminde bütünsel ANP ve TOPSIS yöntemlerinin uygulama aşamaları çözümde kullanılarak en

uygun PLM yazılım alternatiflerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Farklı senaryolar üzerinden bütünleşik ANP-TOPSIS yönteminin doğruluğu duyarlılık analizi ile incelenmiştir.

Çalışmanın beşinci bölümü olan sonuçlar ve öneriler bölümünde, kullanılan yöntemlere ve elde edilen sonuçlara yönelik bulgulara değinilmiştir. Bu bulgular yorumlanarak, PLM yazılım seçiminde uygulanan yöntemlerin etkinliği değerlendirilmiş ve öneriler sunulmuştur.





2. ÜRÜN YAŞAM DÖNGÜSÜ YÖNETİMİ (PLM)

2.1. PLM

Literatürde “Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi” terimiyle ilgili çeşitli yaklaşımlar ve tanımlar bulunmaktadır.

PLM iş süreçleri ile ilgili bir dünya otoritesi olarak kabul edilen CIMDATA’ya göre PLM:

“Ürün tanımı bilgilerinin iş birliğine dayalı olarak oluşturulmasını, yönetilmesini, yayılmasını ve kullanılmasını destekleyen tutarlı bir dizi iş çözümü uygulayan stratejik bir iş yaklaşımıdır. Bir ürünün konsept aşamasından ömrünün sonuna kadar uzanan süreçtir. İnsanları, süreçleri, iş sistemlerini ve bilgileri entegre eder.” (CIMdata, 2021).

PLM, ürün yaşam döngüsü boyunca ürün ve ürün süreçleriyle ilgili bilgi akışını kolaylaştırmayı amaçlayan bir iş çözümüdür. PLM yazılımları, şirket içindeki veya dışındaki çeşitli platformların entegrasyonunun sağlandığı tek bir platform üzerinde bir organizasyon içerisindeki iletişim ve iş birliğini geliştirmeye yardımcı olur. Böylece doğru bağlamda, doğru bilgiler, doğru zamanda kullanılabilir hale getirilebilmektedir (Ameri ve Dutta, 2005).

Birçok yazar PLM’in, bir şirketin ürünlerini yaşam döngüleri boyunca yönetmenin kapsamlı bir iş stratejisi olduğunu belirtmektedir. Çizelge 2.1 bu yazarların PLM tanımlarına genel bir bakış sunmaktadır (Holler, Uebernicket ve Brenner, 2016).

Çizelge 2.1. Literatürdeki bazı PLM tanımları (Holler ve diğerleri, 2016)

Kavramsallaştırma	Kaynak
"(...) Ürün yaşam döngüsü yönetimi, ürünleri ve ürünle ilgili bilgileri yönetmeyi ve geliştirmeyi hedefleyen sistematik, kontrollü bir konseptir. (...)"	(Saaksvuori ve Immonen, 2002:3)
"(...) Ürün yaşam döngüsü yönetimi, doğru zamanda doğru bağlamda doğru bilginin erişilebilir hale getirilmesi için ürünün yaşam döngüsü boyunca ürün ve ilgili süreçlerle ilgili bilgi akışını düzene sokmayı amaçlayan bir iş çözümüdür. (...)"	(Ameri ve Dutta, 2005:577)

Çizelge 2.1. (devam) Literatürdeki bazı PLM tanımları (Holler ve diğerleri, 2016)

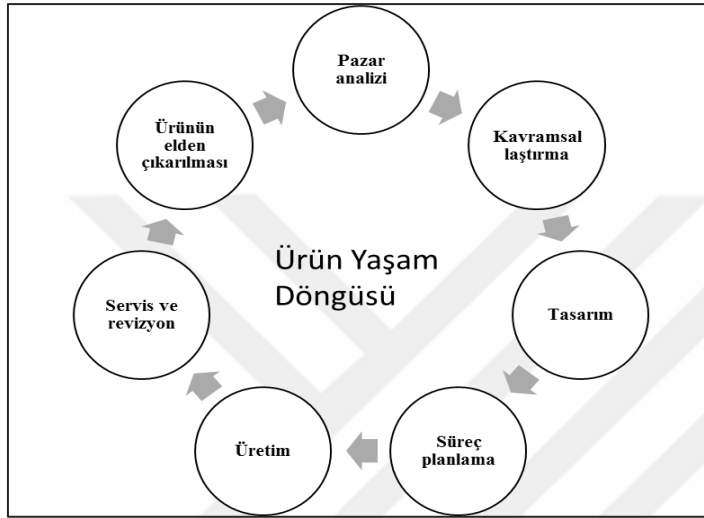
Kavramsallaştırma	Kaynak
“(...) Ürün yaşam döngüsü yönetimi, bir ürünün tasarımından üretimine, üretiminden müşteriye sunulmasına ve ürünün hizmetten kaldırılmasına kadar bir ürünün yaşamının tüm yönlerine yönelik insanlardan, süreçlerden, uygulamalardan ve teknolojiyen oluşun entegre, bilgi odaklı bir yaklaşımdır. (...)”	(Grieves, 2006:39)
"(...) Ürün yaşam döngüsü yönetimi, ürünü ve üretimini, dağıtımını ve bertaraf edilmesini tanımlayan tüm faaliyetleri ve disiplinleri kapsar. (...)”	(Eigner ve Stelzer, 2008: 37)
"(...) Ürün yaşam döngüsü yönetimi, ürünleri, hizmetleri, faaliyetleri, süreçleri, insanları, becerileri, bilgi ve iletişim teknolojileri (ICT) sistemlerini, verileri, bilgileri, teknikleri, uygulamaları, prosedürleri ve standartları bir araya getiren bütünsel bir rol oynamaktadır. Ürün yaşam döngüsü boyunca üretilen büyük miktarda verinin iş süreçlerinde verimliliği, esnekliği ve etkinliği destekleyecek şekilde yönetilmesidir. (...)”	(Terzi ve diğerleri, 2010:364)
"(...) Ürün yaşam döngüsü yönetimi, bir şirketin ürünlerini yaşam döngüleri boyunca en etkili şekilde yönetmenin ticari bir faaliyetidir. (...)”	(Stark, 2015:1)

PLM, şirketlerin ürünlerini, hizmetlerini ve iş operasyonlarını yenilerken maliyetleri düşürmek, kaliteyi artırmak ve pazara girme süresini kısaltmak gibi iş hedeflerine ulaşmalarına yardımcı olan stratejik bir iş yaklaşımıdır (Grieves, 2006).

PLM'in temel konsepti, insanları, süreçleri, iş sistemlerini ve bilgileri entegre ederek, konseptten ürün yaşamının sonuna kadar ürünü planlamak, geliştirmek, üretmek ve desteklemek için gereken tüm bilgi ve süreçleri içeren bir ürünün tanımlanmasını sağlamaktadır. PLM, fikirleri paylaşma, yeni ürünler geliştirme ve yenilikçi süreçleri yürütme konusunda gerekli bilgilere erişerek farklı konumlardaki farklı gruplar arasında etkili iletişimi sağlar. PLM aynı zamanda şirket içi ve tedarikçilerin ve müşterilerin bulunduğu şirket dışı organizasyonlar için ürün-bilgi omurgasını oluşturan stratejik bir iş yaklaşımıdır (Lee, Sheu ve Tsou, 2008b).

İçinde bulunduğumuz küreselleşme sürecinde daha iyi performans göstermek ve rekabeti sürdürebilmek amacıyla, şirketler tüm üretim sistemini ve hizmetlerini geliştirmek için çevik teknolojileri ve gelişmiş yönetim sistemlerini benimseme yoluna gitmektedir. PLM yönetim yaklaşımı ve teknolojisi, mümkün olan en kısa sürede, en kaliteli ürünlerin daha

yüksek verimlilikle üretimini ve aynı zamanda ürünlerin maliyetini daha düşük bir seviyede tutmayı amaçlamaktadır. PLM, bir şirketin ürünlerini ve ürünlerin tüm yaşam döngüsü boyunca farklı aşamalarda oluşan tüm bilgilerini tek bir çatı altında yönetmek için sistematik bir yaklaşım olarak ortaya çıkan benzersiz bir kavramdır. Şekil 2.1 ürün yaşam döngüsünün farklı aşamalarını temsil etmektedir ve PLM yazılımları tüm bu aşamaları aynı anda yönetebilmektedir (Singh ve Misra, 2019).



Şekil 2.1. Ürün yaşam döngüsü aşamaları (Singh, Misra ve Kumar, 2020)

Myung (2016), PLM'in sadece bir bilgi teknolojileri (BT) yazılımı olmadığını, aynı zamanda bir felsefe olduğunu belirtmiştir. Ayrıca PLM yazılımının da kurumsal kaynak planlama (ERP) ve tedarik zinciri yönetimi (SCM) gibi kaçınılmaz bir kurumsal BT yazılımı olarak kabul edildiğini ifade etmiştir. Koomen (2018) de PLM'in sadece bir yazılım olmadığını aynı zamanda strateji, kültür ve insanlar, süreç ve etkileşim kalıpları ve BT mimarisinin birleşimi olduğunu vurgulamıştır. Günümüzde şirketler, ürünlere odaklanmanın ve çevrelerinde ortak bir dil oluşturmanın felsefi bir bakış açısından daha fazlası olduğunu fark etmişlerdir. Bu yüzden, PLM başarılı bir ürün odaklı bilgi ortamı oluşturmak ve sürdürmek için gerekli bir iş stratejisidir (Terzi ve diğerleri, 2010). PLM, belirli bir yazılım uygulamasından daha çok bir iş stratejisi olarak kabul edilmiştir. Çünkü bir PLM girişiminin nihai başarısı, öncelikle işlevsel alanlar arasında veri paylaşımını teşvik etmek için şirketin kültürünü değiştirmeye ve ürünün yaşam döngüsüne dahil olan ekipler arasında iş birliğini geliştirmek için süreçleri değiştirmeye dayanır (Vengugopalan, Sai, Ganesh ve Ramakrishnan, 2008). Kärkkäinen, Pels ve Silventoinen (2012) çalışmalarında PLM'in yeni beceri ve yetkinlikler gerektirdiğini belirtmişlerdir ve PLM'i

"ürünün yaşam döngüsü boyunca çeşitli süreçler tarafından üretilen veya tüketilen bilgi" olarak tanımlanmışlardır. Bu nedenle, PLM bilgi bankası (tek platformda) fiziksel bir merkezi bilgi deposu değildir, birbirine bağlı bir dağınık aktörler (örneğin müşteriler, ortaklar ve tedarikçiler) ağıdır ve BT çözümlerini kullanarak birleştirilmiş bilgi depolarıdır. Bu nedenle, PLM bilgi yönetimi yetkinliği, bilginin oluşturulması, kullanılması ve dağıtılması açısından ürünün yaşam döngüsü boyunca farklı süreçleri ve bunlara karşılık gelen aktörleri entegre etme yeteneği olarak tanımlanabilir (Kärkkäinen ve diğerleri, 2012).

Bazı araştırmacılar, PLM yazılımlarını bilgi ve iletişim teknoloji (ICT) sistemleri tarafından desteklenen iş yönetimini zirveye çıkarmayı amaçlayan bir yönetim yaklaşımı olduğunu belirtmişlerdir (Grieves, 2006; Stark, 2015; Bokinge ve Malmqvist, 2012; Lee, Ma, Thimm ve Verstraeten, 2008a; Singh ve Misra, 2019; Singh, Misra ve Chan, 2020).

Eşzamanlı mühendisliğin sınırlamalarının ötesine geçen PLM konsepti, işbirlikçi mühendislik yaklaşımını tanıtır (Mas ve diğerleri, 2015; Grieves, 2006). Canlı ürün bilgisi güncellemesi için verimsiz beklmeleri ve tekrarlanan çabaları azaltır ve şirketlerdeki yenilikçiliği artırır. İşbirlikçi yaklaşım, ürün verileriyle ilgili belirsizlikleri ortadan kaldırır ve ürün bilgilerini “uyumlu”, “izlenebilir” ve “birebir yansıtan” duruma getirir (Grieves, 2006). Tüm bu avantajlarla beraber PLM yazılımları, ürün kalitesini artırır ve ürünü pazara sunum süresini ve üretim maliyetlerini azaltır. Sonuçta PLM'in şirketlerdeki kurumsallaşması, şirketin verimliliğini ve performansını artırır (Alemanni, Alessia, Tornincasa ve Vezzetti, 2008). PLM, aynı zamanda “yalın” yönetim kavramının varisi olarak tanımlanır (Grieves, 2006; Singh ve Misra, 2019).

PLM konseptini destekleyen yazılım paketleri, mühendislik uygulamalarını (CAD, CAM ve CAE gibi) ve ürün veri yönetimi (PDM) sistemlerini içerir. PLM çözümlerinin sanal modellerle ve ürün bilgilerini içeren veri tabanlarıyla kullanılması, kuruluşların daha kısa sürede ürün geliştirmelerine, maliyetleri düşürmelerine ve ürün kalitesini artırmalarına olanak sağlar. Daha verimli PLM çözümleri, geliştirme sürecinde ortaya çıkan çevresel yükü de azaltabilir (örneğin fiziksel prototip üretmek için daha az malzeme tüketilmesi yoluyla) (Bokinge, Levandowski, Malmqvist ve Johannesson, 2012).

2.2. PLM Kavramının ve Yazılımının Gelişim Süreci

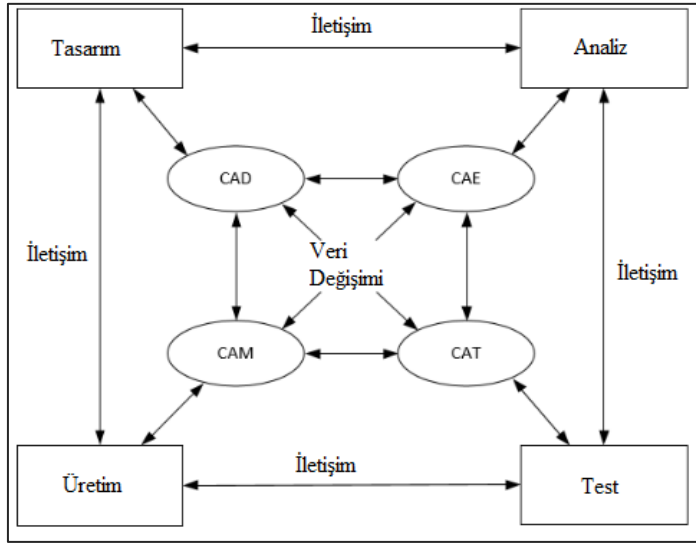
Bilgisayar destekli bilgi sistemlerinin devamı olarak bünyesine bilgisayarla bütünleşik üretim (Computer Integrated Manufacturing-CIM), ürün veri yönetimi (PDM) ve üretim yürütme sistemi (Manufacturing Execution System-MES) gibi ürün yaşam döngüsünde bağlantılı olduğu tüm sistemleri bünyesine katarak gelişen ve modüler yapıdan oluşan tek bir bütünleşik sistemle yönetilmesini amaçlayan PLM yazılımı fikri 1990'lı yılların sonuna doğru ortaya çıkmıştır.

2.2.1. Bilgisayar destekli teknolojilerin (CAx) gelişimi

Bilgisayar destekli teknolojiler, bilgisayar teknolojisinin tasarım, analiz, imalat gibi süreçlerde ihtiyaç duyulmasıyla ortaya çıkmıştır. En bilinenleri aşağıda açıklanmıştır.

- CAD (Bilgisayar destekli tasarım): Tasarım için kullanılan bir yazılımdır. Katı, yüzey, sac, montaj vb. modellenenmektedir.
- CAM (Bilgisayar destekli imalat): İmalat için kullanılan bir yazılımdır. Talaşlı imalat, eklemeli imalat vb. için kullanılır. Sayısal kontrol (NC) en önemli fonksiyonlarından birisidir.
- CAE (Bilgisayar destekli mühendislik): Analiz için kullanılan bir yazılımdır. Bu yazılım ile bir ürünün sıcaklık, basınç ve yük değişimi gibi gerçek koşullara nasıl tepki vereceği ölçülmektedir.

CAx sistemlerinin ve farklı disiplinlerin birlikte nasıl çalıştığına dair Pahl, Beitz, Feldhusen (2007) bakış açısından özeti şekil 2.2'de sunulmaktadır (Kreis, 2018). Bu araçların tarihi 1960'lı yılların başına kadar uzanmaktadır.



Şekil 2.2. Farklı CAX sistemlerinin etkileşimi (Kreis, 2018)

Dr. Patrick J. Hanratty 1957 yılında ilk ticari CAM programını geliştirmiştir. Bu ilk CNC (bilgisayarlı sayısal kontrol) ticari programlama dili olan Pronto'da geliştirilen NC (sayısal kontrol) işleme yazılımıydı. 1957'de Dr. Patrick Jay Hanratty, ilk sayısal kontrol programlama aracı olan Pronto'yu geliştirmesine rağmen, CAD'in buluşçusu genellikle 1963'te Cambridge, Massachusetts'te bulunan özel bir araştırma üniversitesi olan Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde (MIT) doktora tezinin bir parçası olarak bir Sketchpad'i geliştiren Ivan Sutherland olarak kabul edilir. Sketchpad'de kullanıcı, büyük bir eski nesil görüntüleme teknolojisi olan CRT (Katot Işın Tüpü) monitörde bir kalemle yazılımla etkileşime girmiştir. Sketchpad projesi her ne kadar ticari olarak faaliyet göstermese de gelecek nesil CAD yazılımları için önemli bir adımdır. Birinci nesil CAD sistemleri, 1960'ların ortalarında 2 boyutlu (2D) çizim uygulamalarıyla ilgiliydi. 1970'li yıllarda CAD'in ticari kullanımı başlamıştır. 2 boyuttan (2D) 3 boyuta (3D) geçiş çalışmalarının başlamasıyla 1977 yılında 'CATI' isimli 3D modelleme uygulaması piyasaya sürülmüştür. 1979'da Boeing, General Electric ve NIST, 'IGES' adı verilen yeni bir 3D veri alışveriş formatı tanımlamıştır (Tornincasa ve Monaco, 2010).

Şirketler CAX araçlarını kullandıkça mühendislik verilerinin boyutunun zaman içerisinde artması söz konusu olmuştur ve bunun sonucu olarak bilgisayar performans sorunları, veri kayıpları, zaman kayıpları gibi sorunlarla karşılaşmaya başlamıştır. 1980'li yıllarda tasarım zincirini desteklemek için bilgisayar destekli teknolojileri daha verimli yönetmek amacıyla ürün veri yönetimi (PDM) sistemleri geliştirilmiştir (Holler ve diğerleri, 2016).

2.2.2. PDM kavramının ve yazılımının gelişim süreci

Ürün veri yönetimi (PDM) kavramı, yeni bir kavram değildir. İşletmelerde oluşturulan verilerin çok büyük olmadığı 1980'li yılların başında geliştirilmiştir (Kumar ve Midha, 2001). Zaman içerisinde bilgisayarların gelişmesi ile ve çeşitli mühendislik araçlarının kullanımının artmasıyla birlikte üretilen bilgi miktarı artmıştır. Büyük miktarda bilgiyi işleyen ve ihtiyaç duyan herkese tek bir formatta bilgiyi sunabilen bir yazılım ihtiyacı doğmuştur. PDM, farklı formatlardaki farklı veri türlerini bir araya getiren ve istenildiğinde bu bilgilerin belirlenen tek bir formatta açılmasını sağlayan bir yazılımdır. PDM yazılımı aynı zamanda istendiğinde bilgilerin kolayca ve hızlı bir şekilde bulunmasını sağlamaktadır. Böylece mühendislik çalışmalarına daha fazla zaman ayrılabilir (Huhtala, Lohtander ve Varis, 2012).

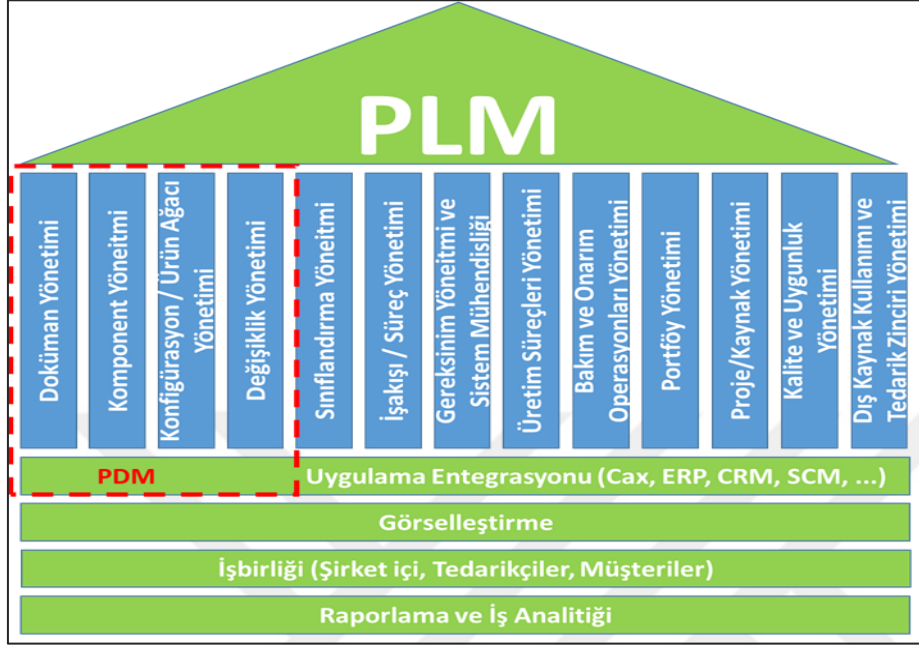
Stark'ın belirttiği gibi: “Kullanıcılar, yararlı olma potansiyeline sahip verileri kaybetmemek için veri yönetim sistemlerinin desteğine ihtiyaç duyarlar.” (Stark, 2005:441).

Günümüzde PDM artık ‘isteğe bağlı bir seçenek’ olmaktan çıkıp, mutlaka sahip olunması gereken bir yazılım haline gelmiştir. PDM yazılımlarının ana prensibinin hiç değişmemesine rağmen literatürde ve endüstride PDM kavramı ile PLM kavramı birbiriyle karıştırılmaktadır (Huhtala ve diğerleri, 2012).

Kemppainen, Kropsu-Vehkaperä ve Haapasalo (2011:39) göre ürün verilerinin kendi yaşam döngüsü (oluşturma, değiştirme, yayın, bakım ve arşivleme gibi farklı aşamaları olan) vardır ve bu döngü boyunca üretilen tüm bilgiler PDM yazılımında saklanmaktadır (Stark, 2005:149). Ürünler artık mevcut olmadığında veya ürünlerdeki revizyon değişikliklerinde, eski ürün verilerine yedek parça açısından ulaşılabilmelinin yolu bu yazılımlardan geçmektedir (Huhtala ve diğerleri, 2012). Örneğin 10 yıl sonra bazı parçalar mevcut olmasa bile ikame parçalarının ürün yapısına tanımlanmasından dolayı istenildiğinde bu bilgilere kolaylıkla ulaşılmış olacaktır.

Stark (2005:233) kitabında “PDM sistemleri, ürün yaşam döngüsündeki faaliyetlerin yönetiminde kullanılmaktadır.” ifadesini kullanmıştır. Şekil 2.3'te PLM'in kapsamı ve PDM ile arasındaki ilişki gösterilmektedir (Huhtala ve diğerleri, 2012). Doğru yönetilen

bir PDM yazılımı olmadan PLM yazılımı düzgün çalışmaz (Kemppainen ve diğerleri, 2011:33; Stark, 2005:233; Kropsu-Vehkaperä, 2009:150).



Şekil 2.3. PLM’in kapsamı ve PDM-PLM ilişkisi (Huhtala ve diğerleri, 2012)

PDM kavramının gelişmesinde özellikle havacılık ve uzay sanayiinin katkısı olmuştur. Uçakların tasarımı ve sanayileşmesi çok karmaşık bir süreçtir. Modern bir uçak ortalama 1 milyon parçadan oluşmaktadır (perçin, civata gibi standart parçalar hariç) ve bu parçalardan bazıları dünyanın dört bir yanındaki ülkelerde tasarlanan ve üretilen montaj, aeroyapı ve ana bileşenlerle montajı yapılmaktadır (Mas ve diğerleri, 2014).

Bir uçağın bir ürün olarak karmaşıklığı sadece fonksiyonel tasarım seviyesinde değildir. Karmaşıklık aynı zamanda uçağın endüstriyel tasarımı ve üretim/kalite belgelerinin oluşturulması ile de ilgilidir. Tipik bir uçağın yaşam döngüsü 50 yıldan fazla olabilmektedir. Revizyon sayısı, varyantların yönetimi, müşterinin özel istekleri, uçuş güvenliği gibi nedenlerle yapılan değişiklikler, iyileştirmeler ve bunları geliştirme ve uygulama ihtiyacı, bir başka önemli karmaşıklık kaynağıdır. Havacılık sanayiinde PDM yazılımlarının uygulanmasına bir örnek, uçak konfigürasyonu/ üretim kaynak yönetimi sistemi tasarımı ve kontrolü için 1994 yılında Boeing tarafından ‘Metaphase PDM’ yazılımının kullanılmasıdır. Başka bir örnek, 1990’lı yılların başında Airbus A340 programı için Airbus Grup tarafından kullanılan ‘Computervision Optegra PDM’ çözümünün benimsenmesidir. İş akışlarının ve mühendislik süreçlerinin tanımlanması ve

desteklenmesi, paylaşılan PDM veritabanına erişimdeki iyileştirme, görselleştirme için geometrik veri formatlarının entegrasyonu (JT, CGR, vb.) ve ilk web tabanlı iş birliği araçları, PDM yazılımlarından mevcut PLM yazılımlarına kadar evrimin başlangıç noktasıydı (Terzi ve diğerleri, 2010: 360,389).

2.2.3. Eşzamanlı ve işbirlikçi mühendislik ve PLM'in gelişim süreci

1990'lı yıllarda, PDM kavramının tüm disiplinlerin eşzamanlı ve işbirlikçi çalışmalarını öne çıkaran yatay entegrasyon ve dikey entegrasyon (müşteriler ve tedarikçiler) ihtiyacı ile 2000'li yıllarda PLM kavramı ortaya çıkmıştır (Eigner ve Stelzer, 2008; Holler ve diğerleri, 2016). PLM kavramının ve yazılımının gelişim süreci aşağıda detayları verilen 3 başlıkta ele alınmıştır.

- Eşzamanlı ve işbirlikçi ürün ve süreç yönetimi yaklaşımının gelişim süreci,
- PLM yazılımının gelişim süreci,
- PLM yazılımının dijital dönüşümdeki yeri.

Eşzamanlı ve işbirlikçi ürün ve süreç yönetimi yaklaşımının gelişim süreci

Teknolojik gelişmelerin ortaya çıktığı 1970'li yıllarda, üretim maliyetlerini teknoloji yardımıyla düşürebilen şirketler daha düşük maliyette rekabet dönemi başlatmışlardır. 1980'li yıllarda ise, maliyet hedefinin yanında rekabet üstünlüğü elde edebilmek için kalitenin önemsendiği bir dönem ortaya çıkmıştır. Zaman içerisinde düşük maliyet ve yüksek kalite hedeflerine esneklik, pazara yeni ürün sunma hızı ve yenilik hedefleri eklenmiştir. Bu sebeple şirketler için ürün geliştirme süreçlerinde değişim ihtiyacı kaçınılmaz olmuştur. Geleneksel ürün geliştirme yaklaşımının artan sorunlarına ve yetersizliklerine çözüm getirmek amacıyla, 1980'li yıllarda Eşzamanlı Mühendislik (EM) kavramı öncelikle imalat sektöründe ortaya çıkmıştır.

1970'lerin sonlarına doğru ilk olarak Japon otomotiv firmaları eşzamanlı mühendislik felsefesini benimsemiştir (Willaert, Graaf ve Minderhoud, 1998). Eşzamanlı mühendislik Japon kökenli bir felsefedir ve çoğu Japon felsefesinde olduğu gibi sonradan keşfedilip başta Amerika olmak üzere diğer ülkelerde de kullanılmaya başlanmış ve adı konmuştur. Amerika'da yaygınlaşan eşzamanlı mühendislik faaliyetleri konusunda ilk olarak Ford

Taurus modeli geliştirilmiştir (Ziemke ve Spann, 1993:37,39). Daha sonra Matsushita, Rank, Xerox, Boing, GM, IBM ve Philips gibi şirketler eşzamanlı mühendisliği benimsemişlerdir (Willaert ve diğerleri, 1998; Üçler ve Vayvay, 2018).

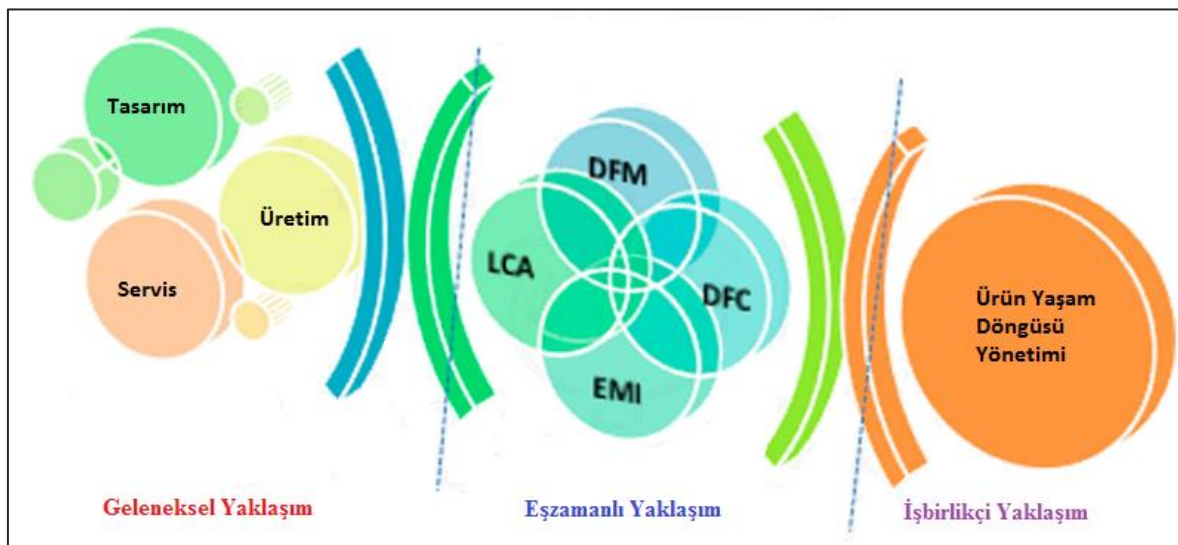
Eşzamanlı mühendislik (EM) felsefesi özellikle havacılık ve savunma sanayiinde mutlaka benimsenmesi gereken kavramlardan birisidir (Monell ve Piland, 2000). Amerika’da ilk kez eşzamanlı mühendislik kavramı 1980’lerde ABD Savunma Bakanlığı İleri Araştırma Projeleri Ajansı (Defence Advanced Research Projects Agency -DARPA) tarafından ele alınmış olup, ABD askeri ve sanayi üssünde eşzamanlı mühendislik uygulamalarını teşvik etmek için 1988 yılında DICE (DARPA Initiative in Concurrent Engineering) isimli bir program başlatılmıştır (Reddy, Wood ve Cleetus, 1991).

Geleneksel/Ardışık/Sıralı mühendislikte ürün geliştirme süreç adımları teker teker sırası ile uygulanmaktadır. Tüm bölümler ayrı ayrı çalışmaktadır ve bir bölümün çalışmasının tamamlanmasından sonra, bir sonraki bölüm çalışmaya başlayabilmekteydi yani bilgi akışı bir sıralamaya göre gerçekleşiyordu (Lämmer ve Theiss, 2015). Bu sıralı yaklaşım nedeniyle, bölümlerin çalışmaları sırasında uyumsuzluklar ortaya çıktığı için ürün geliştirme süreçleri uzun zaman alıyor ve maliyetleri artıyordu. Bu yaklaşımda genellikle üretim departmanı, tasarımın üretim için uygun olmadığı gerçeğiyle karşılaşılıyordu. Tasarım üzerinde ihtiyaç duyulan düzeltmeler nedeniyle de tasarımın sonuca ulaşma zamanı, tasarımın değişim sayısı ile doğru orantılı artıyordu. Bu tarz verimsizlik durumları nihayetinde “eşzamanlı mühendislik” kavramını ortaya çıkarmıştır. Eşzamanlı mühendislik yaklaşımıyla yönetilen bölümler arasındaki koordinasyon ortamının sağlanması sayesinde doğru zamanda doğru kişilerle mühendislik değişiklikleri kontrollü bir şekilde yapıldığından mühendislik değişiklik sayılarında azalma sağlanmıştır. Genel olarak eşzamanlı mühendislik yaklaşımının temel faydaları aşağıdaki gibidir:

- Toplam kalite artışı,
- Tedarik zamanının azaltılması,
- Hurda gibi kayıpların azalması,
- Maliyet azalışı,
- Pazara sunum süresinin kısalması,
- Mühendislik değişikliklerinin azalması.

Eşzamanlı mühendislik, fonksiyonel tasarım ve endüstriyel tasarım arasındaki boşluğu kapatır. Genel olarak ‘X için tasarım’ (Üretim için tasarım (DFM), maliyet için tasarım (DFC), montaj için tasarım (DFA) vb.), yaşam döngüsü tasarımı (LCA) gibi çeşitli grup yöntemleri ürün geliştirme ve üretim için harcanan zaman ve çabaları en aza indirmek için kullanılan eşzamanlı mühendislik yaklaşım kavramları olarak kabul edilmiştir. Bu eşzamanlı mühendislik yaklaşım kavramlarını desteklemek için kullanılan CAD, CAM, CAE, PDM, vb. gibi birçok bilgi teknolojisi aracı bulunmaktadır. Bu yöntemlerin endişe verici yanı, her bir paydaş tarafından ayrı ayrı kullanılan tüm kavramların aynı amaç için entegrasyonunu gerektiren farklı hedeflere sahip bölümlere ayrılmış olmalarıdır (Singh ve diğerleri, 2020a).

Farklı paydaşlar tarafından farklı terimlerin kullanılması, ürün geliştirme süreçlerinde karmaşıklığa yol açmaktadır. Bu noktada işbirlikçi bir yaklaşım tüm paydaşları tek bir çatı altında toplamaktadır. İşbirlikçi yaklaşım bir işin gereksiz tekrarı kaynaklı zaman kaybını azaltır ve karar verme sürecinin daha etkin ve verimli olmasını sağlar. İşbirlikçi çalışma ortamı ile ürünle ilgili verilerin izlenebilir ve ortak bir anlayış içerisinde güvence altına alınması sağlanır (Grieves, 2006). İşbirlikçi yaklaşım, PLM metodolojileri ve PLM yazılımları ile gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.4 PLM ile iş birlikçi yaklaşımının gelişimi gösterilmektedir (Singh ve diğerleri, 2020a).



Şekil 2.4. PLM ile iş birlikçi yaklaşımının gelişimi (Singh ve diğerleri, 2020a)

Günümüzde, mühendislik departmanlarında 3 boyutlu model yazılımlarının kullanımının geliştirilmesi, dijital modellerin kullanımını mümkün kılmaktadır. Sayısal ürün modeli (DMU), gerçek bir ürünün bilgisayar tabanlı oluşturulan bir modelidir. Bir ürünün tüm yaşam döngüsü boyunca 3 boyutlu model olarak tanımlı olmasını sağlayan DMU, görüntüleme ve analiz gibi birçok etkinliği gerçekleştirmek için kullanılabilir.

Eşzamanlı mühendislik iyi tanımlanmış bir DMU yaşam döngüsüne dayanır. Eşzamanlı mühendislik tasarım prosedürleri, kapsamlı bir şekilde tanımlanmış olgunluk durumlarından oluşur. DMU olgunluk durumları, endüstriyel tasarım görevleri için kontrol görevi görür. Farklı endüstriyel tasarım görevleri, DMU'nun karşılık gelen olgunluk durumuna ulaşana kadar başlatılamaz. Ayrıca, tüm paydaşların onayına dayanan bir olgunluk durumundan diğerine geçişleri kontrol eden prosedürler olmalıdır (Mas ve diğerleri, 2013; Mas ve diğerleri, 2015).

PLM yazılımının gelişim süreci

PLM, eşzamanlı mühendisliğin ana aracıdır. Bununla birlikte, eşzamanlı mühendislikten işbirlikçi mühendisliğe geçmek gerekmektedir (Lu, Elmaraghy, Schuh ve Wilhelm, 2007). Bu, PLM yazılımlarının ürün yaşam döngüsü boyunca tüm paydaşlar için ortak bir çalışma ortamı sağlamasını gerektirir. PLM yazılımlarının ana amacı, ürünün ömrü boyunca tüm süreçler arasındaki bilgi akışlarını kolaylaştırmaktır (Mas, Menendez ve diğerleri, 2014).

Mas ve diğerleri (2015), PLM'in ABD ve AB Havacılık endüstrisi üzerindeki etkisini PLM anahtar konuları üzerinden gözden geçirmişlerdir ve çizelge 2.2'yi hazırlamışlardır. Çizelge 2.2'de, 1960'lı yıllardan günümüze kadar olan zamanı kapsayan dört farklı PLM nesli için özellikler tanımlanmıştır. Çizelge 2.2'deki nesil 3, yazarların görüşüne göre, yakın gelecekteki bir PLM nesli için her bir özellikteki eğilimleri ve ihtiyaçları açıklar (Mas ve diğerleri, 2015).

Çizelge 2.2. Havacılık sektöründeki PLM anahtar konular (Mas ve diğerleri, 2015)

	Nesil 0 1960	Nesil 1 1990	Nesil 2 2005	Nesil 3 Gelecek
Yaklaşım	Teknik ressam	Mühendisler	Eşzamanlı Mühendislik	İşbirlikçi Mühendislik
Mühendislik tanımı	Veri girişlerine dayalı formlar	Ürün veri yönetimi (PDM)	Ana ürün tanımı (MPD)	Bütünleyici dijital model (iDMU)

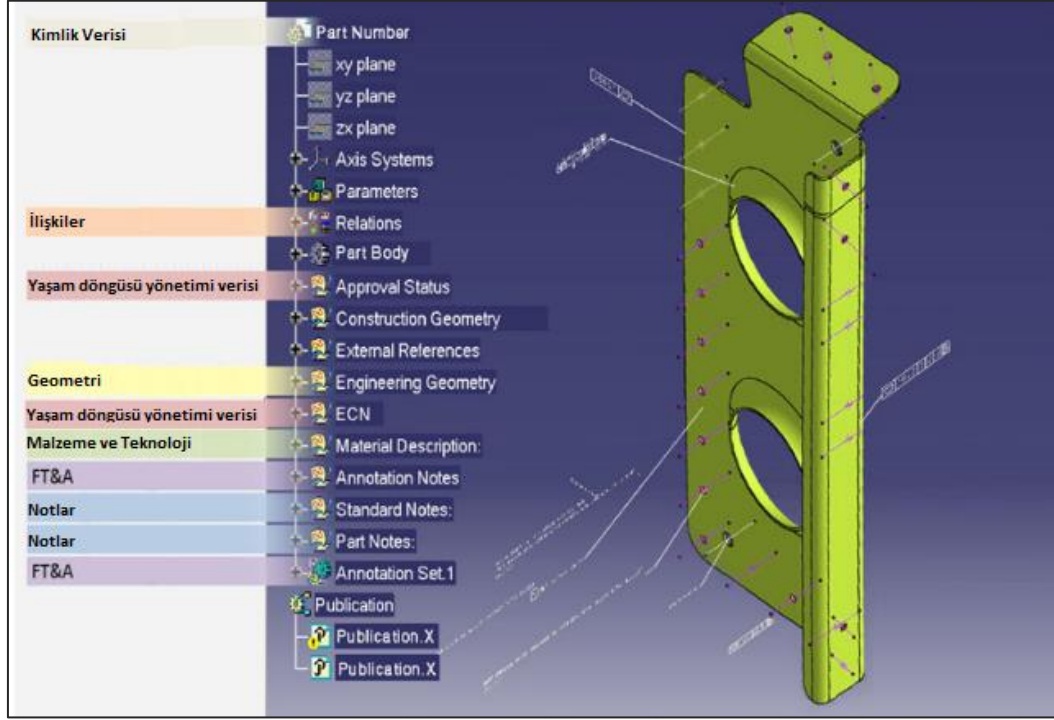
Çizelge 2.2. (devam) Havacılık sektöründeki PLM anahtar konular (Mas ve diğerleri, 2015)

	Nesil 0 1960	Nesil 1 1990	Nesil 2 2005	Nesil 3 Gelecek
Ürün Konfigürasyonu	Açık konfigürasyon	Çoklu konfigürasyon	Tek konfigürasyon	Ürüne göre konfigürasyon (kuyruk numarası, MSN)
Model	Fiziksel model	Temel simülasyon	İleri simülasyon	Tam sanal üretim
Üretim	Manuel yürütülen işler	Otomasyon, NC, CIM	Geniştirilmiş işletme (EE)	Akıllı fabrikalar
PLM aracı	Şirket içi uygulamalar	Özelleştirilmiş ticari kullanıma hazır uygulamalar, şirket içi uygulamalar		Hizmet olarak yazılım (SaaS)
Altyapı	Ana bilgisayar sistemleri	İş istasyonları (UNIX)	Kişisel Bilgisayarlar (Windows)	PC, tablet, telefon, sanallaştırma
Bilgi modeli	Temel yüzeyler ve 2 boyutlu çizimler	3 boyutlu tel kafesler (wireframe), yüzeyler ve 2 boyutlu çizimler	Model tabanlı tanımlama (MBD)	Bilgi tabanlı mühendislik (KBE)
Veri modeli formatı	Yerel: Özel format		Özel formatlar	Uluslararası standartlar
Veri değişimi formatı	Sınırlı veri değişimi	IGES, SET ve DXF		
Uzun süreli arşivleme (LOTA)	Kağıt tabanlı	STEP (ISO 10303)		

Bilgi modeli teknolojisi, nesiller arasındaki bilgi modellerini, veri modeli ve değişim formatlarını ve uzun vadeli arşivleme stratejisini dikkate alır. 1. nesil döneminde, ürün modeli veri değişimi standardı (STEP) olarak bilinen uluslararası standart ISO 10303, uzun vadeli bir arşivleme çözümü (LOTA) olarak piyasaya sürülmüştür. Havacılık endüstrisi, yasal ve sertifikasyon kısıtlamaları nedeniyle ürün bilgilerini uzun süre arşivlemek zorundadır. STEP ve fiziksel dosyası bugüne kadar LOTA için havacılık standardı olmuştur. 3.Nesil PLM, yerel veri modelleme formatlarını uluslararası standartlarla değiştirerek, bilgi alışverişini ve LOTA'yı çözerek bu sınırlamaları ortadan kaldıracaktır (Mas ve diğerleri, 2015).

Model tabanlı tanımlama (MBD), 3 boyutlu bir modelde ürün/süreç verilerini (ek açıklamalar, parametreler ve ilişkileri içeren) toplamanın ve yönetmenin bir yoludur. Şekil 2.5'te gösterildiği gibi modern CAx yazılımları zaten bu verileri parametre olarak saklayabilmektedir (Alemanni, Destefanis ve Vezzetti, 2011). Bilgi modeli olarak MBD kullanan Boeing ve Airbus Group deneyimi, modern ticari uçakların MBD ile ve çizimler

olmadan bilgi tabanlı mühendislik (KBE) ile tasarlanabileceğini ve üretilebileceğini kanıtlamıştır. 3. Nesil PLM'in bilgi modeli olan bilgi tabanlı mühendislik ile önceki ürün ve süreç deneyimlerinin sisteme tanımlanmış olması sayesinde bilginin yeniden kullanılması sağlanacak ve karar verme süreçleri hızlanacaktır (Mas ve diğerleri, 2015).

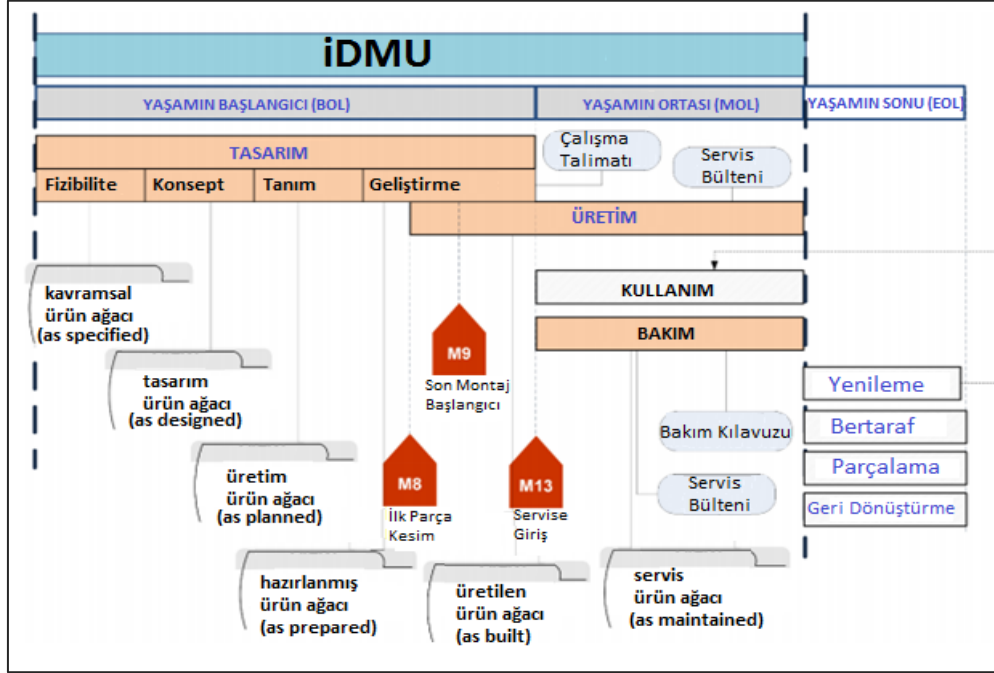


Şekil 2.5. Model tabanlı tanımlama (MBD) yaklaşımı (Alemanni ve diğerleri, 2011)

Ürün yaşam döngüsü boyunca oluşan tüm bilgi akışlarının yönetimi, ana ürün tanımı (MPD) kavramından bütünleyici sayısal ürün modeli (IDMU-Integral Digital Mock-up) dediğimiz kavrama doğru evrilmektedir (Mas ve diğerleri, 2015). Yani IDMU, uçağın fonksiyonel ve endüstriyel tasarımıyla ilgili tüm tanımlarını içeren ve yaşam döngüsü süreçlerinde oluşan tüm bilgilerin entegre edileceği dijital bir modele dayanan bir kavramdır. IDMU, fonksiyonel tasarım ve endüstriyel tasarım arasındaki duvarı yıkmak için işbirlikçi mühendisliğin önemli bir unsurudur (Mas ve diğerleri, 2013).

Şekil 2.6, uçak yaşam döngüsü içindeki IDMU'nun kapsamını göstermektedir (Ríos, Morate, Oliva ve Hernández, 2016). Ürün konfigürasyonunun kontrolü PLM için en önemli bir konulardan biridir. 3.nesil PLM ürün konfigürasyonunda beklenen, ürün konfigürasyonu seçildiği anda IDMU'nun gerçek ürünün birebir sanal tanımını farklı açılardan (kavramsal ürün ağacı, servis ürün ağacı, ...) içermesi gerekmektedir. Böylece

bu tür bir dijital ürün muadili, gerçek ürünün tüm yaşam ömrü boyunca üretilen tüm özel bilgileri (hem meta verileri hem de fiziksel verileri) içerecektir. Kısaca 2000’li yıllardan sonra dijital model prototipler ve sanal gerçeklik (Virtual Reality – VR) fiziksel prototiplerin yerini almıştır.



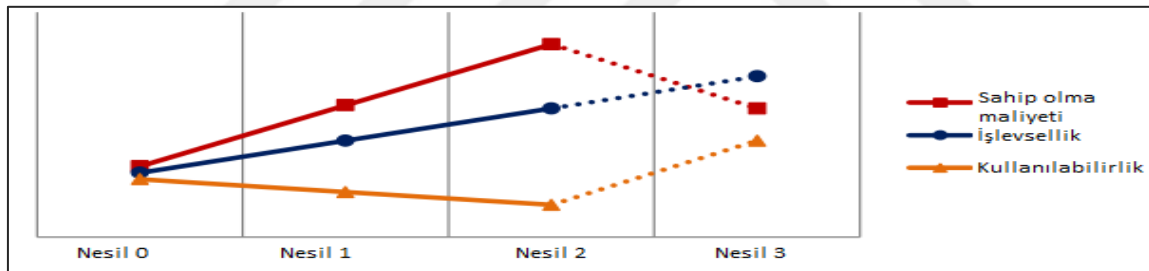
Şekil 2.6. Uçak yaşam döngüsü içerisinde IDMU kapsamı (Ríos ve diğerleri, 2016)

Uçak sanayileşmesi ile ilgili olarak, üretim süreçlerinin tam olarak doğrulanmasına doğru evrimleşmesine, uçağın tam üretiminin, yani tam sanal üretim kapasitesinin simüle edilmesini sağlamak gerekmektedir. Bunun için 3.Nesil PLM yazılımları, komple üretim tesislerinin veya dijital fabrikaların modellenmesini sağlamalıdır (Mas ve diğerleri, 2015).

PLM teknolojisinin gelecekteki kullanılabilirliğine bakıldığında, 3. Nesil PLM’in mevcut ticarileştirme modelinde bir değişiklik düşünülmesi gerekmektedir. Şu anda ERP yazılımları gibi diğer endüstri yazılım çözümlerinde kullanılan bir hizmet olarak yazılım (SaaS) modeli, PLM yazılım endüstrisinde önemli bir etkiye sahip olacaktır. Satınalma işleminin isteğe bağlı işlevsellik aboneliğine dayanabileceği ve kullanım süresine ve kullanıcı sayısına bağlı olarak faturalandırılabilen bir hizmet modeli olan SaaS modeli, faturalandırma değişikliğine ek olarak karmaşık bir donanım ve yazılım sisteminin kurulumundan, yapılandırılmasından ve bakımından kaçınmanın bir yolunu sunmaktadır. Küçük ve orta ölçekli şirketler, PLM teknolojisini kullanmak için yönetimi daha kolay,

daha düşük sahip olma maliyeti sunan bir SaaS PLM çözümünü değerlendirebilirler. PLM sistemine internet erişimi olan bir bilgisayar veya cihaz ve bir web tarayıcısı aracılığıyla erişim imkânı SaaS modelinin benimsenmesini kolaylaştıracaktır. Şu anda, PLM için sunulan bulut tabanlı çözümler SaaS modelinin benimsenmesinde bir başlangıç noktası olarak görülebilir (Mas ve diğerleri, 2015).

Şekil 2.7, Mas ve diğerleri (2015) tarafından yapılan bir araştırmada gözden geçirilen tüm PLM nesillerinde sahip olma maliyetinin, işlevselliğin ve kullanılabilirliğin değişimini göstermektedir. PLM işlevselliğindeki artış, bir süre sonra ihtiyaç duyulandan daha fazla fonksiyonun olmasından dolayı sistemin kullanılabilirliğini tehlikeye atmıştır. Sahip olma maliyeti, işlevsellik artışından daha büyük oranda artmıştır. PLM sağlayıcıları, yeni işlevleri dahil etmek için bir fırsat olarak yeni teknolojileri kullanmaktadır. Ancak PLM sağlayıcıların stratejilerinde kullanılabilirliği bir öncelik olarak ele almaları gerekmektedir ve en nihayetinde işlevsellik, kullanılabilirlik ve maliyet arasında bir denge olmalıdır (Mas ve diğerleri, 2015).



Şekil 2.7. Maliyet, işlevsellik ve kullanılabilirlik faktörlerinin değişimi (Mas ve diğerleri, 2015)

PLM yazılımlarının dijital dönüşümdeki yeri

PLM yazılımları, endüstrileri dijitalleşmeye zorlayarak Endüstri 4.0'a katkıda bulunur ve bilginin yönetimini sağlar. Dijital üretim, PLM teknolojisi ile ilişkilidir. Silva ve diğerleri (2015) yaptıkları çalışmada dijital fabrika ve PLM arasındaki ilişkiyi gösteren bir model önermişlerdir. PLM yazılımları, organizasyon genelinde farklı sistemlerde bulunan verileri entegre etmektedir (Marchetta, Mayer ve Forradellas, 2011). Xin ve Ojanen (2018), ürünlerin farklı yaşam döngüsü aşamalarını yönetmek için dijitalleşmenin etkisini ve başlangıç aşamalarında pazara sunma süresinin nasıl kısaltılabileceğini, ardından orta

aşamalarda azalan maliyeti ve ürün yaşam döngülerinin sonraki aşamalarında kalite iyileştirmelerini araştırmışlardır.

Dijital ikiz kavramı NASA'nın danışmanlık görevini yapan Dr. Michael Grieves tarafından 2002'de ortaya atılmıştır. "Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi" isimli kitabının da yazarı olan Michael Grieves'e göre dijital ikiz kavramını içeren sanal bir yapıyı kurgulamak üç faktörü gerektiriyor: Dijital ikizi oluşturulacak ürünün gerçek ortamdaki hali, sanal hali ve gerçek ürün ile sanal ürün arasındaki bağı oluşturan verilerdir (Innova, 2021).

Son zamanlarda dijital ikiz kavramı nesnelerin interneti (IoT) teknolojisinin yaygınlaşmasıyla birlikte daha fazla karşımıza çıkmaktadır. Dijital ikiz, 'canlı veya cansız fiziksel bir objenin dijital ortamdaki kopyası' olarak tanımlanmaktadır. Ürünü fiziksel olarak üretmeden dijital ortamda kopyasının oluşturulmasına dayanan dijital ikiz teknolojisi, Endüstri 4.0 vizyonunun bir parçasıdır. Dijital ikiz teknolojisi sayesinde öngörülemeyen proje gecikmeleri sorunu azalmaktadır ve yapılacak değişikliğin sonuçları öngörülebilinmektedir. Test edilmesi zor ve maliyetli olan kompleks ürünlerin denenmesi konusunda dijital ikiz teknolojisinden yararlanmak eşsiz bir avantajdır (Innova, 2021).

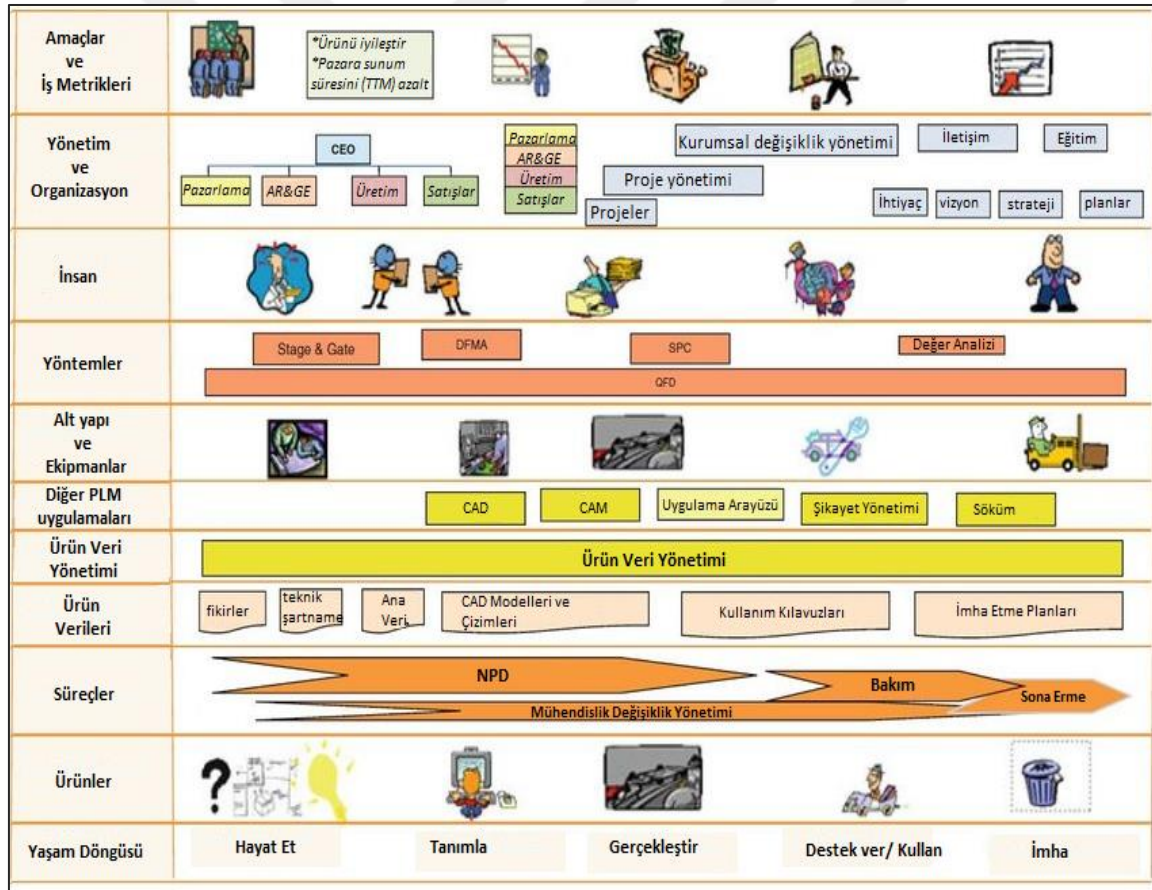
2.3. PLM Yazılımının Özellikleri ve Kuruma Faydaları

Yeni küresel dijital pazarda şirketler stratejik olarak çok önemli olan hızlandırılmış inovasyona ve kitlesel ürün özelleştirmeye ulaşmak için yeni çözümler bulmaya çalışmaktadır. Bu bağlamda, ürün yönetimi için bilgi teknolojileri desteği de önemli bir konu haline gelmektedir. Birçok şirket PLM'i temel stratejilerinden biri olarak benimseme sürecindedir. Fakat az sayıda şirket PLM sistemlerinin gerçek faydalarını değerlendirmektedir. Bunun nedeni, PLM'in ne olduğu ve şirketlerin ürün yönetimi açısından ihtiyaç ve gereksinimlerine nasıl uyarlanabileceği konusunda net bir anlayış eksikliğinden kaynaklanmaktadır (Savino ve diğerleri, 2012). Myung (2008), PLM'in inovatif girişimlerinden biri olduğunu belirtmiştir. PLM'i bir grup bilgi teknolojisi sistemlerinden biri olarak düşünmemek gerektiğini ve PLM'in bir felsefe olarak benimsenmesi gerektiğini vurgulamıştır (Myung, 2008).

Dinamik ve rekabetçi pazarlarda faaliyet gösteren kuruluşlar için PLM'in giderek daha önemli hale geldiğini ifade eden Batenburg ve diğerleri (2005), PLM'in ana dayanak

noktasının çeviklik ve yenilik yoluyla rekabet avantajını artırmak olduğunu ve PLM'in bir yazılımdan çok bir kavram olarak düşünülebileceğini ifade etmişlerdir. Bu kavram, şirket içindeki ve dışındaki aktörler arasında fonksiyonel ve çapraz fonksiyonel olarak uzun vadeli iş birliğini gerektirmektedir. Bu karmaşıklık, gerçekten tüm organizasyonel yönleri ve seviyeleri bir araya getiren sağlam bir PLM yaklaşımının elde edilmesini zorlamaktadır (Savino ve diğerleri, 2012).

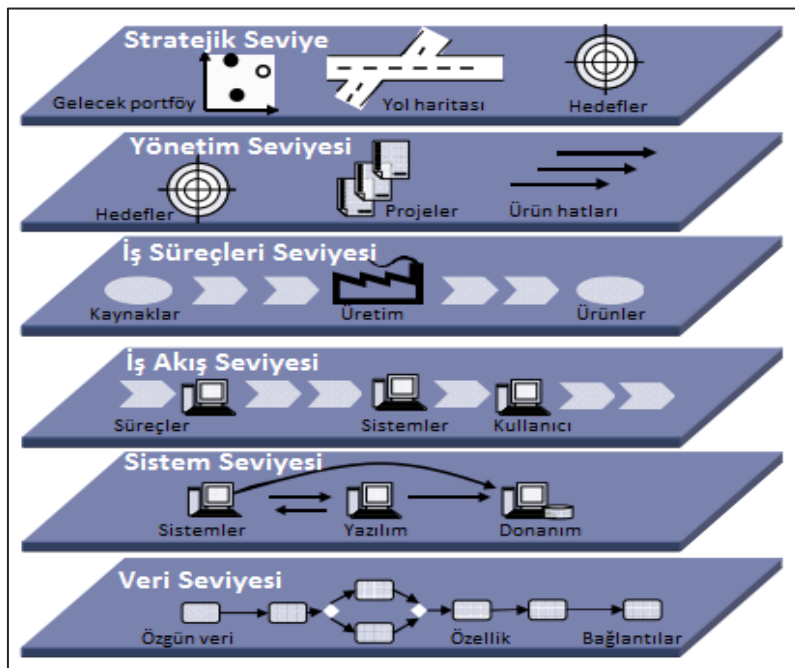
Şekil 2.8'deki görsel, PLM kavramının kapsamının genişliğini, karmaşıklığını ve yönetilmesinin ne kadar zor olabileceğini de göstermeye yardımcı olmaktadır. Tek ve merkezi bir PLM yazılımı ile bu süreçlerin tamamını birbiriyle ilişkili olarak yönetmek, analiz etmek ve kayıt altına alabilmek mümkün olabilmektedir.



Şekil 2.8. PLM kapsamı (Stark, 2005)

Bir şirket içindeki hiyerarşik seviyelerin genel sınıflandırmaları; vizyoner, stratejik ve operasyonel seviye olarak ele alınmaktadır. PLM'de bu yaklaşımı şekil 2.9'da gösterildiği gibi genişletmek gerekmektedir (Bitzer, Eigner ve Vielhaber, 2008). Birinci seviyedeki

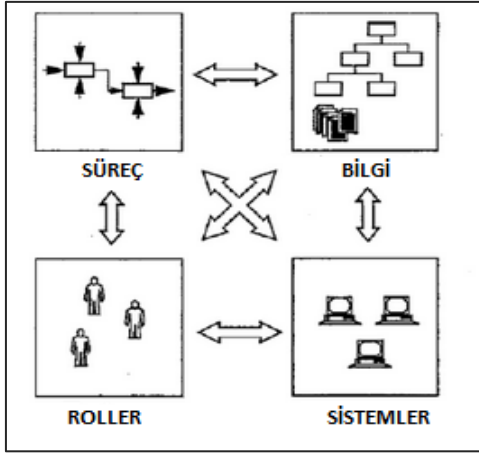
stratejik seviye, vizyoner ve stratejik süreçleri kapsamaktadır. Stratejik seviye ve yönetim seviyesi, genel iş yönlerini ifade etmektedir ve herkesi etkilemektedir. Bir şirket içindeki tüm operasyonel faaliyetler, iş süreci seviyesinde yer almaktadır. İş süreçleri, katma değer sağlayan ve destekleyen süreçlerden oluşmaktadır. PLM’de en kritik seviye iş akışı seviyesidir. Bu seviyede, iş süreci ve sistem seviyesinden gelen bilgilerin bağlantılı olmasından dolayı iş süreçleri ile BT alt yapısı entegre bir görünümde dir. Son iki seviyede yani sistem ve veri seviyesinde daha fazla teknik bilgi ve veri bulunmaktadır (Bitzer ve diğerleri, 2008).



Şekil 2.9. PLM süreç seviye modeli (Bitzer ve diğerleri, 2008)

PLM yazılımları kavramsal tasarımdan ürünün bertaraf edilmesine kadar insan (rol), süreç, bilgi ve sistem görünümelerini içeren merkezi tek bir bilgi havuzunda herkesin güncel bilgiyi paylaşmasını ve bilgilere anlık ulaşmasını sağlayan bir mühendislik bilgi yönetim sistemidir.

Mühendislik bilgi yönetim sistemlerinin dört görünümü ve bu görünümün birbiriyle ilişkileri Şekil 2.10’da gösterilmektedir (Bokinge, 2012).



Şekil 2.10. Mühendislik bilgi yönetim sisteminin dört görünümü (Bokinge, 2012)

PLM yazılımları nesne yönelimli bir mimariye ve altyapıya dayanmaktadır. Nesneler PLM yazılımlarında tanımlanan veri modeli ve süreçlere göre ilişkilendirilmektedir ve sınıflandırılmaktadır. Süreç anlamında PLM yazılımlarının temel odak noktasında malzeme ve ürün ağacı yönetimi vardır. Ürünü oluşturan komponentler, parçalar (montaj ve detay) ve malzemeler PLM yazılımında birer nesne olarak yer almaktadır. Ürün yaşam döngüsü boyunca ürün ile ilgili tüm bilgiler (CAD/CAM/CAE verileri, teknik dokümanlar, bilgi formları, test verileri vb.) ilgili nesneye referans olarak bağlanmaktadır. Yetkilendirme yönetimi ile tanımlanan farklı rollerdeki kişiler tarafından yetkileri çerçevesinde bu bilgiler tek kaynaktan tanımlanmaktadır ve tanımlanan bu bilgiler iş akışları ve değişiklik yönetimi ile belirlenen aşamalarda farklı rollerdeki kişiler tarafından gerekli değişikliklerin yapılması ve onaylanması ile kontrollü bir şekilde belirli olgunluk seviyelerinde yayınlanmaktadır. Bu olgunluk bilgisine göre satınalmalar yapılmakta, üretilmekte ve servis edilmektedirler. Ürün yaşam döngüsü boyunca oluşan tüm verilerin ve bilgilerin onaylı olması ve her zaman tek kaynaktan bulunması, güncellik kaygısını tamamen ortadan kaldırmaktadır. Kısaca PLM yazılımları ürün yaşam döngüsü boyunca güncel ve doğru veriler üzerinde mühendislik disiplinlerinin entegrasyonunu ve mühendislik iş birliğini sağlamaktadır. Devam eden alt başlıklarda PLM yazılımının hizmet modelleri, sistem mimarisi, temel uygulamaları ve potansiyel faydalarından bahsedilecektir.

2.3.1. PLM yazılımı hizmet modelleri

Son yıllarda web tabanlı kurumsal yazılımların şirketlere olan servis ve satış modeli hızla değişim göstermiştir. Geçmiş zamanlarda yaygın olarak tercih edilen On-Premise (kurum içi) modeli, yerini bulut bilişim sektöründe hızla yükselmeye devam eden SaaS modeline bırakmaktadır (plm ve otesi, 2021).

Şirketler web tabanlı bir yazılım hizmeti almadan önce, PLM yazılım sağlayıcıların kurum içi, bulut ve hibrit kurulum gibi seçeneklerini değerlendirmelidir. PLM yazılım sağlayıcıları tarafından sıklıkla bahsedilen yazılım hizmet modelleri aşağıda açıklanmıştır:

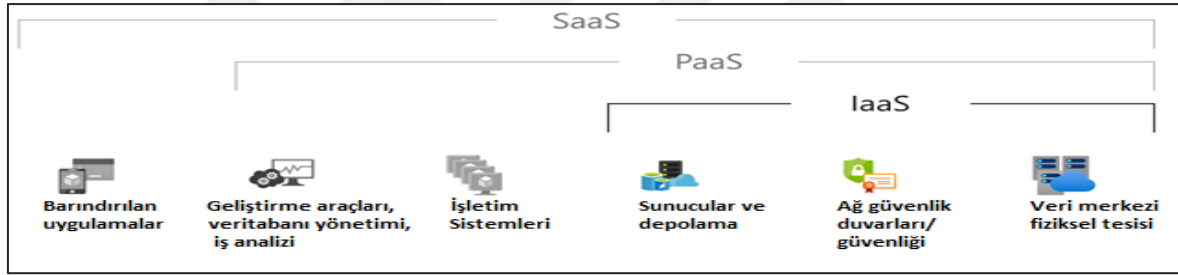
1. Kurum içi (On-Premise): PLM yazılımını kurum içerisinde sunucularda kurma ve yönetme modelidir.
2. Bulut ortamında PLM (PLM-in-the-cloud): PLM yazılımını sunucu üzerinde değil de bir bulut servis sağlayıcısının sunucusunda yönetme modelidir. Bulut ortamındaki PLM (PLM-in-the-cloud) çözümleri; kurum içi (On-Premise) çözümlere kıyasla toplam sahip olma maliyeti daha düşüktür. Ayrıca daha kısa sürede kullanıma hazır hale gelmesi, ölçeklendirilebilmesi ve sürdürülebilir olması açısından avantajlıdır.

Hizmet olarak yazılım (SaaS), hizmet olarak platform (PaaS), hizmet olarak altyapı (IaaS) ve sunucusuz bilgi işlem olarak 4 farklı bulut hizmet türü bulunmaktadır (Microsoft Azure, 2021).

- Servis olarak yazılım (As SaaS), tüm donanımların, işletim sisteminin ve PLM yazılımının hazır şekilde kiralama yöntemi ile bulut ortamında sunulmasıdır. Google Mail gibi e-posta hizmetleri örnek olarak verilebilir. SaaS olarak PLM yazılım ile kullanıcı, verilen bağlantıya girdikten sonra sadece kullanıcı adı ve şifresi ile sisteme erişip, kendisine verilmiş yetkiler çerçevesinde işlemlerini gerçekleştirebilmektedir. Toplam sahip olma maliyetinin azalması, dünyadaki tüm kullanıcılar ile aynı platformun kullanılması ile küresel iş birliklerinin kolaylıkla sağlanması, sistemin otomatik olarak güncellenmesi gibi avantajları bulunmaktadır. Fakat güvenlik riskleri ve şirket özelinde çok detaylı bir sistem özelleştirmesine izin vermemesi gibi dezavantajlar da söz konusudur.

- Servis olarak altyapı (As IaaS), servis sağlayıcısının ekran kartı, işlemci, depolama alanı gibi gereksinimleri hazır şekilde sunucu üzerinde sunması ve kullanıcının istediği işletim sistemini ve istediği yazılımı kurup yönetmesidir. Microsoft-Azure gibi servis hizmetleri örnek verilebilir.
- Servis olarak platform (PaaS), servis sağlayıcısının kullanıcılara ait uygulama geliştirme ortamı için gerekli tüm yazılım ve donanım platformunu sunmasıdır. Microsoft-Azure gibi servis hizmetleri örnek verilebilir.
- Sunucusuz bilgi işlem, servis olarak platform (PaaS) ile aynı mantıkta ama sunucusuz mimariler ile uygulama işlevlerini geliştirmeye ve bunu yapmak için gerekli olan altyapıyı oluşturmaya odaklanmaktadır.

Şekil 2.11’de SaaS, PaaS ve IaaS farkını göstermektedir.



Şekil 2.11. SaaS, PaaS ve IaaS farkı (Microsoft Azure, 2021)

3. Kullanıma hazır veya önceden tanımlı PLM (PLM-out-of-the-box) çözümü: Kullanıcıların önceden tanımlanmış tüm program işlevlerine ve özelliklerine tam erişime sahip olarak yükledikleri ve hemen kullanmaya başladıkları yazılımı ifade etmektedir.

Eskiden PDM ve PLM yazılımları temel olan belirli işlevsellikleri sağlayan bir araç seti olarak sunulmaktaydı. Zaman içerisinde bu yazılımlar farklı sektörlerde farklı amaçlar için kullanıldıkça yazılımı kullanan şirketler tarafından daha esnek, özelleştirilebilir ve kullanımı kolay hale getirme talepleri gelmeye başlamıştır. Bu talepleri karşılayabilmek için sektörde biriken bilgi birikimi ve tecrübelerle PLM yazılım sağlayıcıları tarafından kullanıma hazır çözümler (OOTB- out of the box) sunulmaya başlanmıştır. Böylece belirli PLM çözümleri çok fazla çaba harcamadan kurulabilecek ve kullanıma hazır olabilecektir. Kullanıma hazır çözümler (OOTB), sektöre özgü çözümler, temel işlevsellikleri içeren

çözümler, esnek ve özelleştirilebilir platform çözümleri gibi farklı paketlerden oluşabilmektedir.

Zhang, Sekhari, Ouzrout, Bouras ve Yu (2014b) küçük ve orta ölçekli şirketlerin PLM uygulama sürecinin iyi planlamasına yardımcı olmak amacıyla yaptıkları bir çalışmada, PLM yazılım satıcılarının sunduğu beş PLM modelini aşağıda belirtmişlerdir:

- Kurum içi (On-Premise),
- Bulut ortamında PLM (PLM-in-the-cloud),
- Servis olarak yazılım (As SaaS),
- Kullanıma hazır veya önceden tanımlı PLM (PLM-out-of-the-box),
- Hazır çözüm mimarisi (PLM-in-a-box): Önceden hazırlanmış belirli PLM işlevlerinin kurumun değer zincirindeki tüm fonksiyonlarında (kurum içi iş birimlerinde, varsa farklı konumlardaki şirketlerinde) ortak uygulanmasıdır (Zhang ve diğerleri, 2014b).

Günümüzde bilgi teknolojisi alt yapısı ile ilgili esnek Gelişlet (DevOps) altyapısına sahip yapılandırılabilir çevrimiçi platformlara talep artmaktadır. Bulut ve çevrimiçi sistemlerin yeni teknolojisi ve mimarisi, sürüm yükseltme sorunlarını ortadan kaldırabilir ve yeni bir esneklik düzeyi ve PLM yazılım yapılandırmasını getirebilir (Shilovitsky, 2021a).

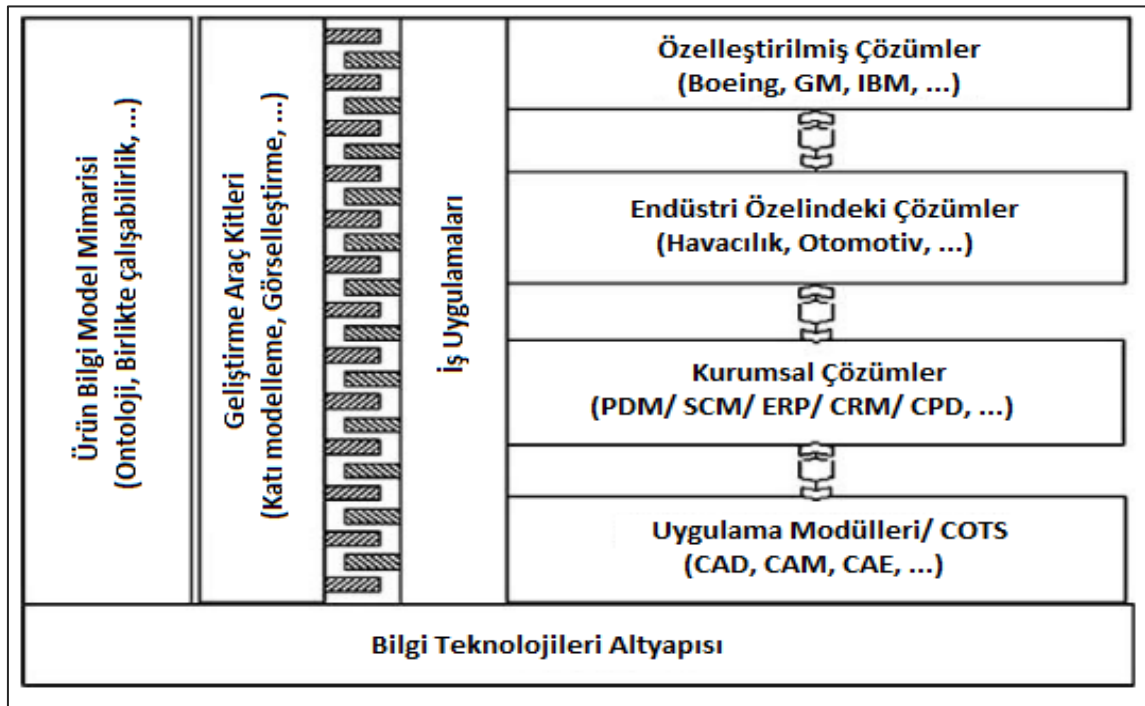
2.3.2. PLM sistem mimarisi

PLM yazılımları, şirketler için PLM konseptlerinin uygulanmasına yardımcı olan araçlardır. PLM yazılımlarının mimarisinin anlaşılması, şirketin hedefleri, yapısı, işleyişi, kullandığı sistemler ve bu sistemlerde kullanılan teknolojiler hakkında bilgi vermesi açısından önemlidir.

Sudarsan, Fenves, Sriram ve Wang (2005) yaptıkları çalışmada PLM yazılımlarıyla ilgili temel sorulardan birinin "PLM yazılımlarının işlevselliğini oluşturan nedir?" olduğunu ve tam PLM yazılım işlevselliğinin, şekil 2.12'de gösterilen aşağıdaki bileşenlerle elde edileceğini ifade etmişlerdir:

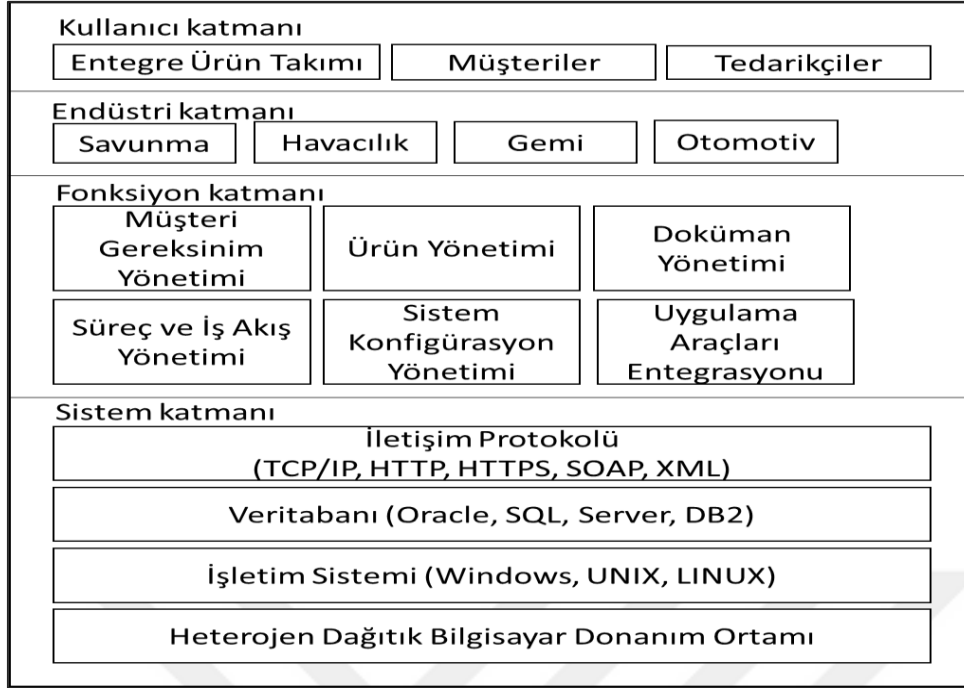
- Bilgi teknolojisi (BT) altyapısı; donanım, yazılım ve internet teknolojilerini içermektedir.

- Ürün bilgisi modelleme mimarisi; ürün ontolojisi ve birlikte çalışabilirlik standartlarını içermektedir.
- Geliştirme araç kitleri; PLM kavramının işlevselliğini artıran iş uygulamalarını oluşturmak için kullanılmaktadır. Veri değişim standartlarını ve mekanizmalarını, çekirdekleri (örneğin geometrik modelleme), görüntüleme araçlarını ve veritabanlarını içermektedir.
- İş uygulamaları; kurumsal entellektüel sermayeyi işleyen PLM işlevselliğini içermektedir (Sudarsan ve diğerleri, 2005).



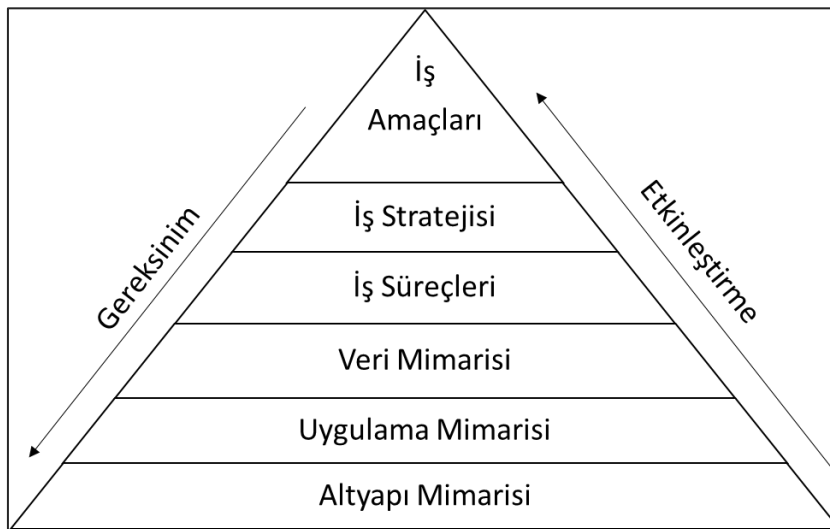
Şekil 2.12. PLM sistem mimarisi (Sudarsan ve diğerleri, 2005)

Lin, Jun, Yangxi ve Jianqiang (2009) tarafından yapılan çalışmaya göre tanımlanan PLM sistem mimarisi katmanları şekil 2.13'te gösterildiği gibidir. Fonksiyon katmanı, çekirdek fonksiyonları ifade etmektedir. PLM, diğer araç ve sistemlerle entegre edilmektedir ve PLM sistem katmanı endüstri özelliklerine göre önceden yapılandırılmıştır (Lin ve diğerleri, 2009).



Şekil 2.13. PLM sistem mimarisi temel katmanları (Lin ve diğerleri, 2009)

Zimmerman (2008), Zachman (1987) ve Schekkerman (2003), bir şirketin kurumsal mimarisinin genel bir modelinin PLM alanına da uygulanabileceğini önermişlerdir. Bokinge (2012) bu çalışmalara dayanarak şekil 2.14’te gösterilen PLM mimarisi katmanlarını tanımlamıştır ve piramidin üst katmanlarındaki öğelerinin alt katman öğelerini gerektirdiğini, alt katmanlardaki öğelerin ise üst katmanların öğelerini etkinleştirdiğini belirtmiştir. İnsan boyutu açıkça modellenmemiştir, ancak dolaylı olarak süreçlere dahil edildiği anlaşılmaktadır.



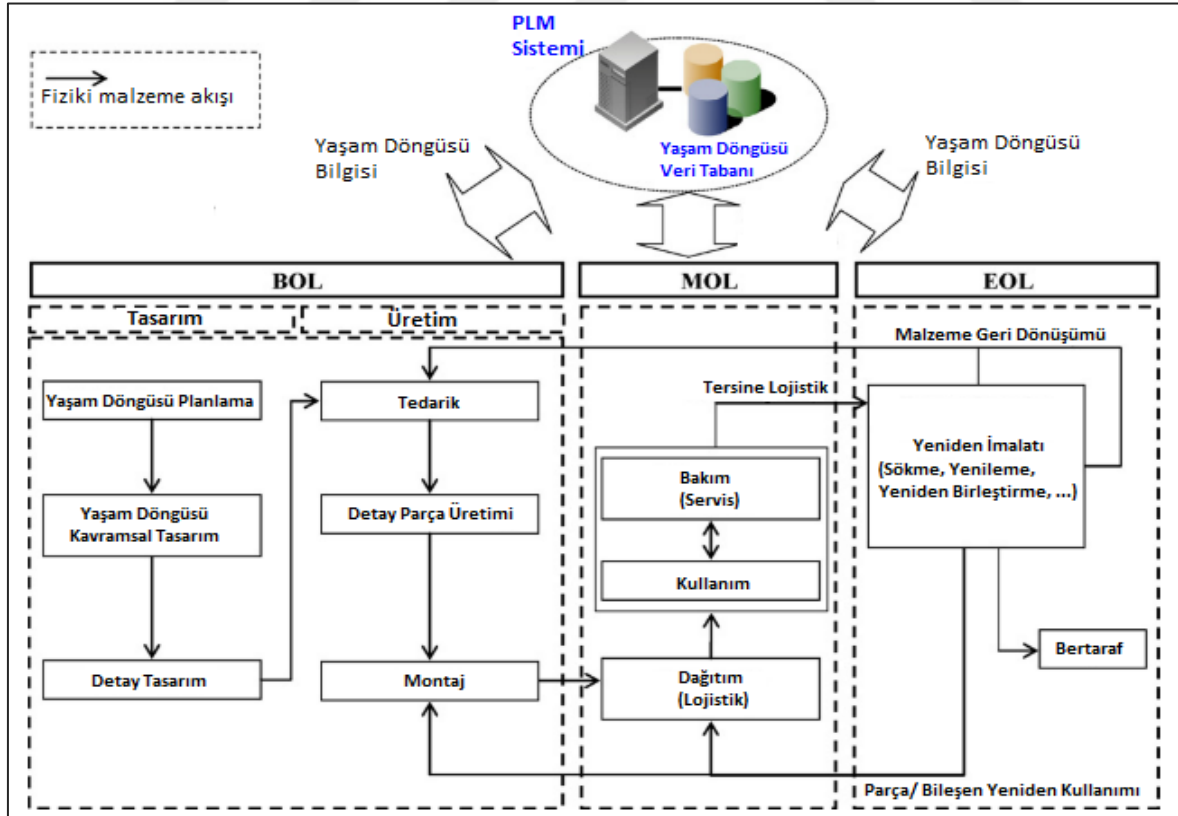
Şekil 2.14. PLM mimari katmanları (Bokinge, 2012)

Çalışmamızda kurumsal PLM sistem mimarisi; iş mimarisi (iş süreçleri, iş stratejisi ve iş amaçları), veri mimarisi (bilgi mimarisi), uygulama mimarisi ve teknoloji mimarisi (alt yapı mimarisi) olarak dört başlıkta ele alınmıştır.

1. İş mimarisi

İş birimlerinin hedeflerine ulaşabilmek ve stratejilerini gerçekleştirmek için uygulayacağı süreçleri belirlemektedir. İş operasyonlarının temel prensibi ile, PLM iş mimarisi şekil 2.15'te gösterilen üç önemli aşama ile karakterize edilmektedir (Jun, Shin, Kiritsis ve Xirouchakis, 2009):

- Tasarım ve üretim süreçlerini içeren yaşamın başlangıcı (BOL),
- Lojistik (dağıtım), kullanım, servis ve bakım süreçlerini içeren yaşamın ortası (MOL)
- Tersine lojistik (toplama), yeniden imalatı (demonte edilmesi, yenilenmesi veya tekrar birleştirilmesi, vb.), yeniden kullanımı, geri dönüşümü, onarılması veya bertaraf edilmesi süreçlerini içeren yaşamın sonu (EOL).

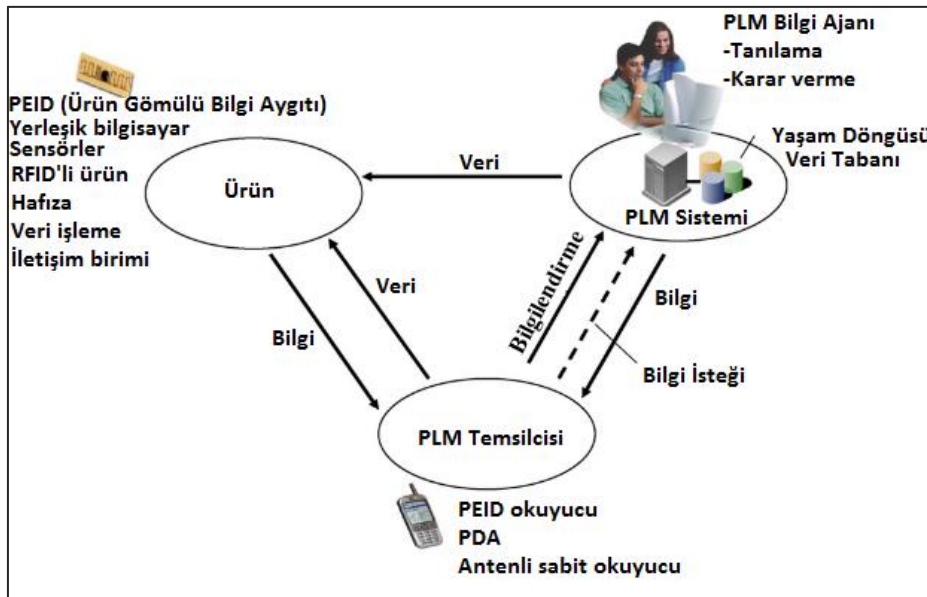


Şekil 2.15. PLM iş mimarisi kapsamı (Jun ve diğerleri, 2009)

Literatürdeki çalışmaların çoğu BOL (tasarım ve üretim) aşamasına odaklanmaktadır. Aslında şirketlerin odak noktası, BOL aşamasından geniş ürün yelpazesine ulaşmak ve şirketlerin PLM sürdürülebilirliğini sağlamak için EOL aşamasına kadar uzanmalıdır. Jun ve diğerleri (2009) çalışmalarında EOL optimizasyonuna vurgu yapmışlardır.

Araştırmacılar çalışmalarında kapalı döngü PLM'i, ürünle ilgili tüm bilgileri ürün yaşam döngüsü boyunca (BOL, MOL, EOL) verimli bir şekilde yönetmek için yeni bir stratejik kavram olarak tanımlamışlardır (Kiritsis, 2011; Board, 1983; Jun, Kiritsis ve Xirouchakis, 2007; Jun ve diğerleri, 2009).

Jun ve diğerlerine (2007) göre kapalı döngü PLM'deki iş süreçleri, şekil 2.16'da gösterildiği gibi üç bileşen (PLM aracı, PLM sistemi ve ürün) arasındaki etkileşimlere dayanmaktadır. Ürün gömülü bilgi cihazları (PEID) okuyucuları, kablosuz olarak bulunduğu ortamdan her bir ürünün PEID'inde oluşan bilgileri hızlı bir şekilde toplayabilmektedir. Her bir iş biriminden (perakende, dağıtım, geri dönüşüm gibi iş birimleri) ürün ile ilgili toplanan bilgiler, internet vasıtasıyla PLM sistemine gönderilmektedir. PLM sistemindeki PLM bilgi araçları, ilgili veri dönüştürme yöntemlerinin desteğiyle toplanan bilgilere dayanarak otomatik olarak yakalanamayan yeni veriler/bilgiler üretir ve bunları PLM sistemindeki ürün veri ve bilgi yönetimi (PDKM) deposunda saklar. Bu sayede PLM sistemi ile ürün yaşam döngüsü bilgileri iş birimleri tarafından istenildiği anda doğru olarak temin edilmiş olacaktır (Kiritsis, 2011).



Şekil 2.16. Kapalı döngü PLM iş mimarisi (Jun ve diğerleri, 2007)

2. Veri mimarisi

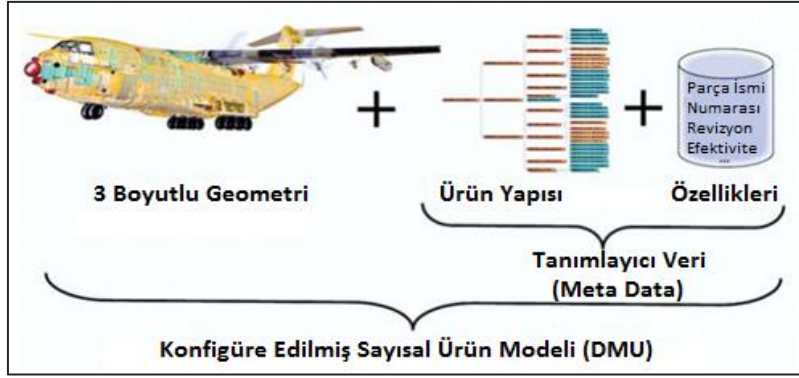
Sääksvuori ve Immonen'e (2008) göre, ürün verileri kabaca üç kategoriye ayrılmaktadır:

- a) Ürün tanım verileri,
- b) Yaşam döngüsü verileri,
- c) Ürün ve yaşam döngüsü verilerini tanımlayan meta veriler.

Ürün tanım verileri, bir ürünün karakteristiklerini ve özelliklerini (ürün numarası, ürünün adı, geometrik bilgiler vb.) açıklamaktadır. Yaşam döngüsü verileri, bir ürünün kavramsal tasarımından bertaraf edilme aşamasına kadar farklı aşamalardaki bilgileri tanımlamaktadır ve ürün yaşam döngüsünü kontrol etmek için kullanılmaktadır. Örneğin, ürün çizimleri onaylanmadıkça, bir ürünün üretimi başlatılamaz. Meta veriler, bilgi türünü, bilginin nerede depolanacağını, kim tarafından oluşturulabileceğini, bilgiye nereden ve ne zaman ulaşılabilceğini ve bir veri kümesindeki belirli öğeler için önceden tanımlanmış değerleri tanımlamaktadır (Saaksvuori ve Immonen, 2008).

Ürünlerin bilgi sistemlerinde temsili için öncelikle ürün veri modellerinin oluşturulması gereklidir (McKay, Bloor ve Pennington, 1996). Bir ürün veri modeli, ürünlerin nesne sınıfının özniteliklerini ve sınıflar arasındaki ilişkileri açıklamaktadır (Otto, 2012). Fakat bir veri modeli bu verilerin anlamı ve nasıl kullanılacağı ile ilgili tam bir açıklama içermez. Veri üzerinde yapılmasına izin verilen işlemlerin belirlenmesi ve veri modelinde tanımlanması gereklidir.

PLM yazılımlarında ürünle ilgili tüm bilgilerin tutulmasının yanında istendiğinde bu bilgilerin yapılandırılmış bir şekilde gösterimi beklenmektedir. Şekil 2.17'de örnek olarak gösterilen konfigüre edilmiş DMU yapısı, tek bir uçağın dijital kopyasından daha fazlasını kapsamaktadır (Garbade ve Dolezal, 2007). Farklı disiplinlere ve veri olgunluğuna göre farklı görünümde de içerebilmektedir. Bunlar etkin bir veri mimarisinin işletilmesi ile sağlanabilmektedir.



Şekil 2.17. Konfigüre edilmiş bir sayısal ürün modeli yapısı (Garbade ve Dolezal, 2007)

Verinin nasıl toplanacağı, saklanacağı, dönüştürüleceği, dağıtılacağı ve kullanılacağını tanımlamak üzere veri modeli, kurallar ve standartların belirlendiği daha kapsamlı kavrama ‘veri mimarisi’ denmektedir. Veri mimarisi, bir şirketin bilgi teknolojisi sistemlerinde veri akış yönetiminin nasıl yapıldığına ilişkin resmi bir yaklaşım sağlamaktadır (Techopedia, 2021). Veri mimarilerinin geleceğe yönelik olarak ve esnek bir yapıda kurgulanması çok kritik bir öneme sahiptir. Çünkü süreçler zaman içerisinde değişecektir ve değiştiğinde saklanan veri modeline müdahale etmek mümkün olmayacaktır. Ayrıca dikkatli bir şekilde veri mimarisi yönetilmezse farklı veri yapılarında bir bilginin birden çok farklı ifadesine rastlamak da söz konusu olacaktır.

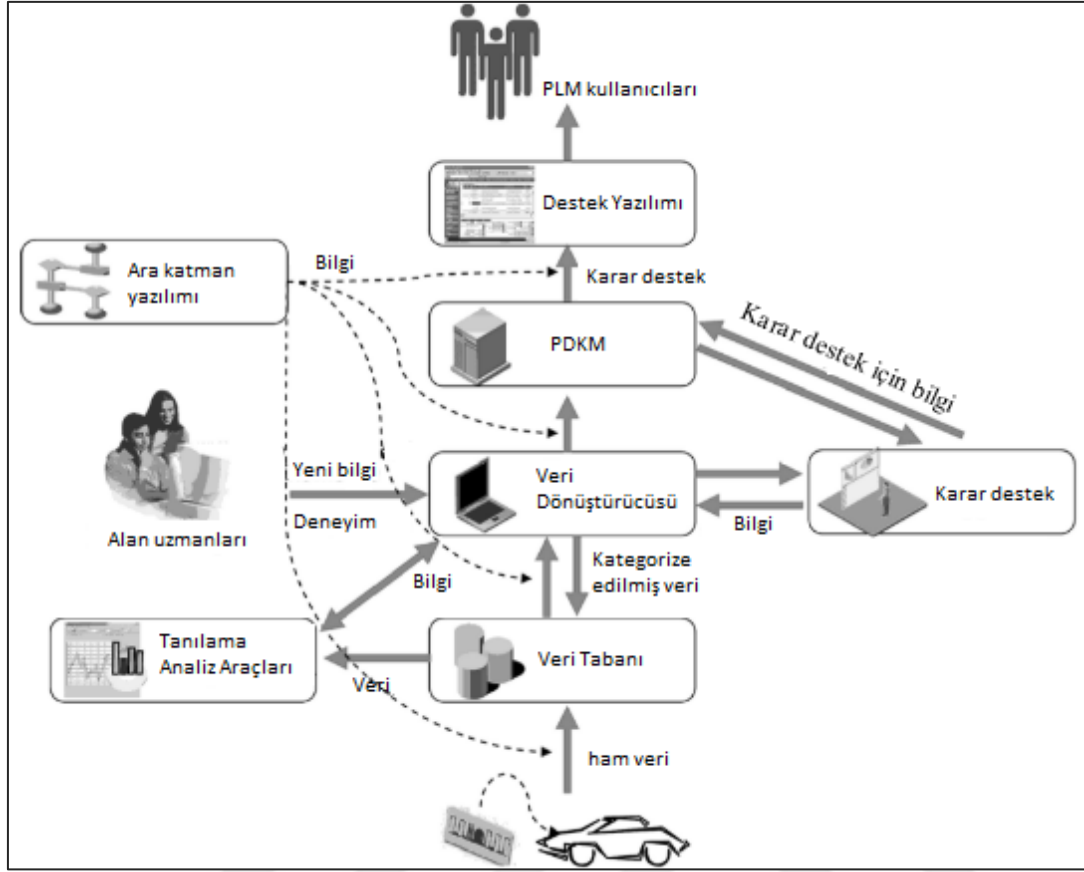
PLM yazılımlarında veriler farklı veri yapıları içerisinde tutulabilmektedir. Mesela kullanıcı bilgileri LDAP (basit izin erişim protokolü) içerisinde tutulurken, organizasyon ağacı ilişkisel bir veritabanında tutulabilmektedir. Şirketin güvenlik politikasına göre farklı dağıtık yapılarda veriler yönetilebilmektedir.

3. Uygulama mimarisi

İşletme içerisinde ihtiyaç duyulan uygulamaları ve bunların birbirleriyle olan ilişkilerini kapsamaktadır. PLM’in kurumsal bir çözüm olarak ortaya çıkması nedeniyle ve PLM’de ürün yaşam döngüsü boyunca üretilen tüm bilgilerin hızlı ve doğru şekilde paylaşımı için çeşitli paydaşlar (iş birimleri, tedarikçiler, müşteriler) tarafından kullanılan tüm yazılım araçları / sistemleri / veritabanları entegre edilmelidir. Bu yüzden de ürün bilgisini ve operasyonları yönetmek için PLM’deki uygulama yazılımlarının birbiriyle olan ilişkilerini ve uyumlarını anlamak önemlidir (Kiritsis, 2007). Uyum ve entegrasyon için alt yapısı iyi

bir yazılım mimarisi gerekmektedir. Yazılım mimarisi, bir yazılım sisteminin üst seviye görünümü olup, yazılım bileşenlerinin nasıl tasarlanacağı ve birlikte çalışacağıyla ilgilidir.

Şekil 2.18, kapalı döngü PLM için yazılım mimarisini göstermektedir (Kiritsis, 2007). Kapalı döngü mimari yapısı, ham verilerin toplanmasından iş uygulamalarına kadar kapalı döngü PLM yazılımının bir hiyerarşisini temsil etmesi anlamında dikey bir bakış açısına sahiptir. Burada PEID'de yerleşik olan gömülü yazılım (firmware), PEID verilerini kontrol etme ve yönetme rolünü oynamaktadır. Gömülü yazılım, gerektiğinde çeşitli sensörler tarafından toplanan ham verileri filtreleyerek (bu işlev ara katman yazılımında (middleware) da yapılabilir) tekrarlanan ve gereksiz verileri kaldırarak PEID'deki bellek boyutu sorununu çözebilmektedir. Buna ek olarak, toplanan verilere dayanarak basit analizler yapabilmektedir. İşlenen verileri depolamak ve verimli bir şekilde yönetmek için veritabanı (DB) yazılımı gereklidir ve ayrı ayrı dağıtılabilir veya merkezi bir sunucuda bulunabilir. Veri tabanı konfigürasyonu, duruma göre farklı olan veri yönetiminin maliyeti ve verimliliği arasındaki dengeye göre belirlenmelidir. Karar destek sistemi (DSS) yazılımı, belirli uygulamalar için gerekli bilgiyi ve kurumsal hafızayı yaşam döngüsü aktörlerine aktaran önemli bir bileşendir. Kapalı döngü PLM, PEID okuyucularından toplanan daha az anlamlı verileri, DB/PDKM (veri tabanı/ ürün veri ve bilgi yönetimi) alanı ve PLM iş uygulamaları gibi diğer üst düzey uygulamalardaki daha anlamlı verilerle eşleme rolüne de sahiptir (Kiritsis, 2007).

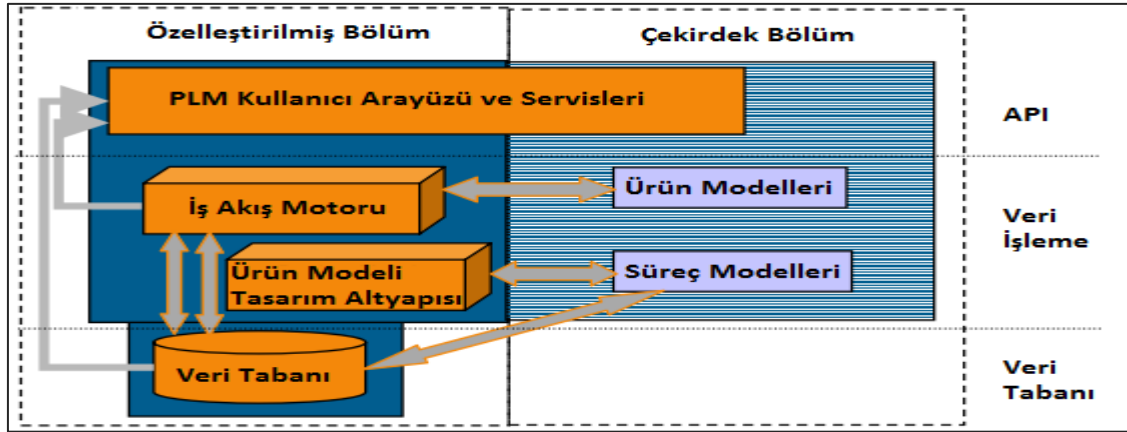


Şekil 2.18. Kapalı döngü PLM yazılım mimarisi (Kiritisi, 2007)

Bir PLM uygulama mimarisinin ana bileşenleri; PLM uygulamaları, kurumsal sistemlerle entegrasyonu ve iş zekâsı platformları olarak üç ana kategoride ele alınmaktadır.

PLM uygulamaları: PLM uygulamaları, genellikle disipline özgü olup, PLM yazılım sağlayıcıları tarafından 100'den fazla uygulama çeşidi sunulmaktadır. PLM temel uygulamaları "2.3.4. PLM yazılımının temel uygulamaları" bölümünde detaylı anlatılacaktır.

PLM yazılımlarının Microsoft Office gibi masaüstü uygulamalar, ERP gibi kurumsal uygulamalar ve Matlab, Rhapsody gibi farklı uygulamalar ile entegre olabilmesi hem veri alışverişi hem de süreç yönetimi açısından çok önemlidir. Bunun için gerekli XML, JDBC / ODBC, API gibi bağlantı teknolojileri ile veri ve süreç bütünlüğü sağlanabilmektedir. Şekil 2.19'da örnek bir uygulama mimarisi, süreçlere göre özelleştirme yapmadan öncesi ve sonrası olarak iki bölüme ayrılarak gösterilmiştir (Izadpanah, Tollenaere ve Gzara, 2008).



Şekil 2.19. PLM uygulama mimarisi (Izadpanah ve diğerleri, 2008)

Kurumsal sistemler: Farklı sistemlerin birbiriyle konuşmasını sağlayarak farklı kaynaklardan gelen ürün verilerini yakalamak, verilerin doğru yere adreslenmesini ve sorunsuz bilgi akışını sağlamak ürün yaşam döngüsü yönetiminde rekabet avantajı için kritiktir. Bunun için PLM uygulamaları ile kullanılan diğer temel sistemler arasında entegrasyon şarttır.

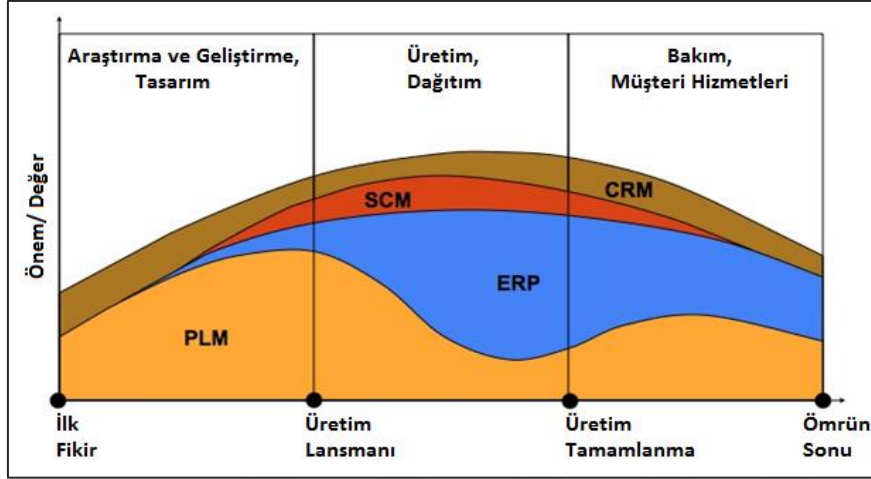
PLM'in ana odak noktası, ERP, CRM, SCM vb. tarafından kapsanan müşteri, tedarik zinciri, şirketin finansmanı, insan kaynakları değil, ürün üzerinedir. Odak noktası, ürünün mevcut ve gelecekteki değerini en üst düzeye çıkarmaktır (Stark, 2007).

Ürün verileri içeren PLM ile etkileşimde olan altı ana kurumsal sistem aşağıda detaylıca açıklanmıştır.

- Müşteri ilişkileri yönetimi (CRM), müşterilerle ilişkileri yöneten bir yazılım sistemidir.
- Kurumsal kaynak yönetimi (ERP), mali muhasebe, satış ve dağıtım, maliyet muhasebesi ve kontrol, üretim planlama, insan kaynakları, kalite yönetimi ve lojistik gibi süreçleri yöneten bir sistemdir.
- Tedarik zinciri yönetimi (SCM), hammadde tedarikinden ürünün teslimine kadar tüm tedarik ağının iş birliğini sağlayarak, ürün veya hizmetle ilgili veri akışını yöneten bir sistemdir. ERP ile yakından bağlantılıdır.
- Üretim yürütme sistemleri (MES), her ürün için üretim verilerini ve süreçlerini yöneten bir sistemdir. Günümüzde, ERP ya da PLM yazılımları bünyesinde yer alabilmektedir.
- Bakım, onarım ve operasyon (MRO), operasyonları devam ettirmek için envanter yönetimini, kesinti yönetimini, bakım onarım yönetimini, risk yönetimini ve fiziksel

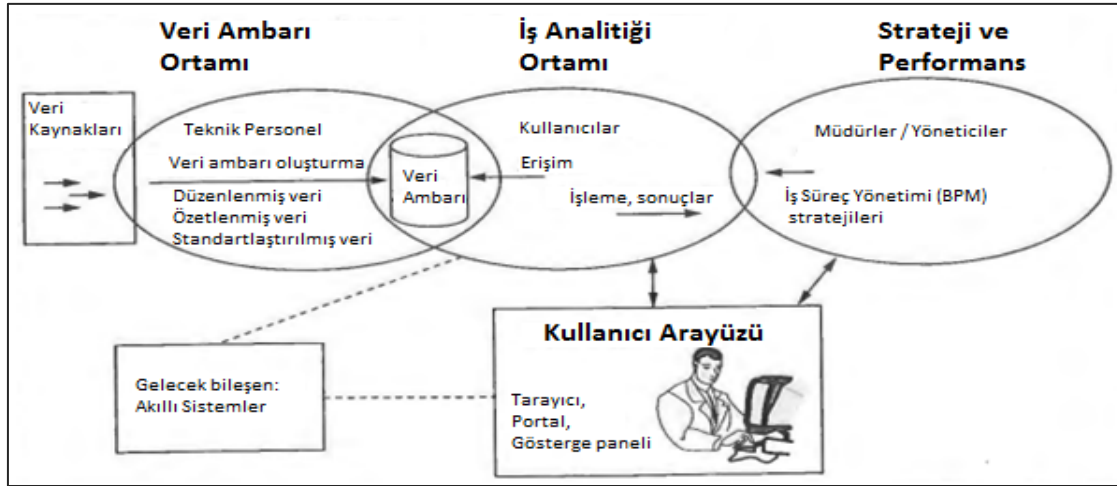
varlıkları yönetmeye odaklanan bir yönetim sistemidir. Özellikle karmaşık ürünlere veya uzun ürün yaşam döngülerine sahip endüstrilerle ilgilidir. Günümüzde ERP ya da PLM sistemlerine entegre edilmektedir.

Şekil 2.20’de bu sistemlerden en temel olanların ürün yaşam döngüsü fazlarına göre önem değerlerinin değişimi gösterilmektedir (Ammann, 2021).



Şekil 2.20. Ürün yaşam döngüsü fazlarına göre kurumsal sistemlerin önem değerinin değişimi (Ammann, 2021)

İş zekâsı: İş zekâsı platformları, verileri sunmak ve ölçülebilir içgörüler elde etmek için kullanılır (Lenuxia, 2021). Turban, Sharda, Delen ve King (2010), şekil 2.21’de gösterildiği gibi iş zekâsı (BI) sistemini; bir veri depolama ortamı, iş analitiği, iş süreç yönetimi (BPM) ve kullanıcı arayüzü olarak dört ana bileşende sınıflandırmıştır (Chuah ve Wong, 2012).



Şekil 2.21. İş zekâsı (BI) üst seviye mimarisi (Turban ve diğerleri, 2010)

4. Teknoloji mimarisi

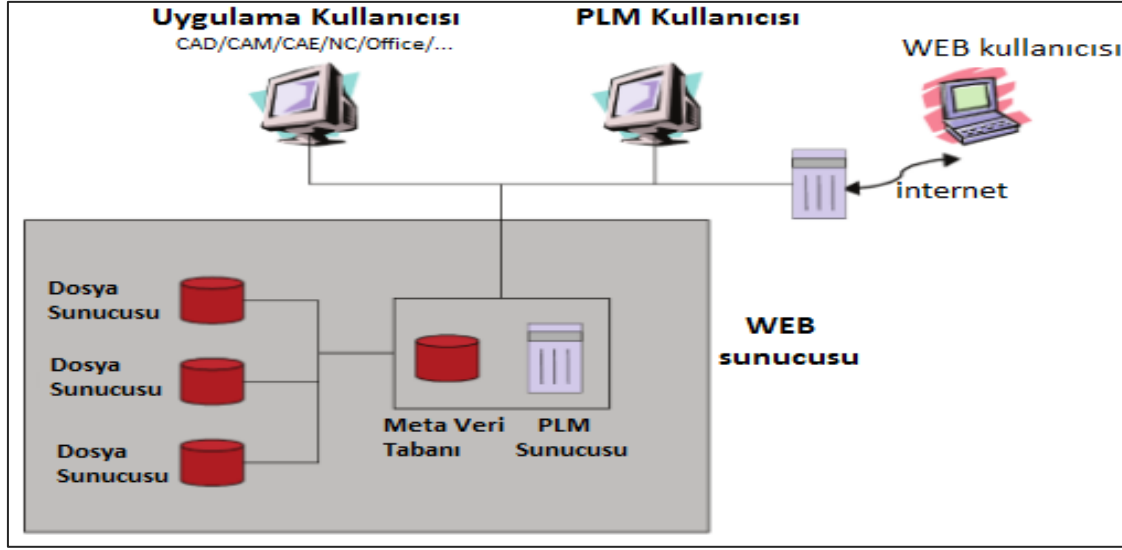
Kurumun bilgi sistemlerinin çalışması için gerekli donanımsal bileşenleri ve ortamı tanımlamaktadır. Bu aşamada kurumun bilgi sistemleri alt yapısına odaklanılmaktadır. PLM bilgi sisteminin genel yapısıyla ilgili bazı temel kavramlar aşağıda açıklanmıştır (Lenuxia, 2021):

- İstemci (Client), genellikle son kullanıcılardır ve kullanıcıdan gelen isteklerin ve sonuçların bildirildiği katmandır. Örneğin; bir CAD programı her açıldığında, istemci bilgisayarı bir sunucudan bu görevleri tamamlamak için bir şeyler yapmasını ister.
- Sunucu (Server), işlemlerin yapıldığı katmandır. Bir sunucu bir istek aldığında, bu isteği işler, gerekli verileri bulur ve bir yanıt oluşturur. Çoğu zaman bu istekler veritabanlarını içermektedir. Sunucu (server) çeşitleri aşağıdaki gibidir:
 - Web sunucuları, HTTP isteklerine yanıt veren ve genellikle Apache gibi web server yazılımı çalıştıran bir bilgisayarı ifade etmektedir.
 - Uygulama sunucuları, PHP, ASP.NET gibi web geliştirme teknolojilerinde olan web uygulamalarını barındıran (hosts) ve yürüten (executes) bir bilgisayarı ifade etmektedir.
 - Veritabanı sunucuları, web uygulamaları tarafından kullanılan bir veritabanı yönetim sistemi (Database Management System — DBMS) çalıştırmaya ayrılmış bir bilgisayarı ifade etmektedir. Veritabanları, NoSQL veya ilişkisel olabilmektedir. En popüler ilişkisel veritabanı yönetim sistemleri (RDBMS); Microsoft SQL Server, IBM DB2, Oracle ve MySQL'dir. Birkaç farklı veri tabanı türünün kullanılmasını içeren sistem

ortamları, PLM yazılımı ve diğer farklı yazılımlar arasında entegrasyon ve veri aktarımı için büyük bir zorluk oluşturmaktadır (Stark, 2005).

- Mail sunucuları, genellikle SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) kullanan posta isteklerini (mail request) oluşturan ve karşılayan (creating and satisfying) bir bilgisayarı ifade etmektedir.
- Kimlik doğrulama sunucuları, web uygulamalarının en yaygın güvenlik gereksinimlerini karşılayan bir bilgisayarı ifade etmektedir. Bu, LDAP (basit dizin erişimi protokolü) veya Active Directory gibi yerel ağ kaynaklarıyla etkileşimi içerebilir.
- Media sunucuları (gerçek zamanlı aktarım sunucusu), görüntü ve video isteklerine yanıt veren özel bir sunucu türüdür.
- İstemci-Sunucu mimarisi, en temelde bir istemci, bir sunucu ve istemciyi sunucuya bağlayan bir ağ olarak üç temel bileşeni içermektedir.
- Veri tabanı, kolayca erişilebilen, yönetilebilen, korunabilen ve güncellenebilen yapıda düzenlenmiş bir bilgi koleksiyonudur. Bir veritabanı bir kütüphane olarak düşünüldüğünde sunucu istenen kitapları istenildiği anda sağlayan bir kütüphaneci olarak tanımlanabilir.
- PLM için geçerli olan bazı yeni teknolojiler arasında web hizmetleri, kurumsal arama platformları (Rao, 2005), normatif süreçler (konfigürasyon yönetimi (CM) planı ve CMII kuralları) (Vincent ve Guess, 2006), STEP, Ürün Veri Yönetimi (PDM) Şeması (Ungerer ve Buchanan, 2002), XML, SysML, ebXML, iş akışı standartları (Palmer, 2009) bulunmaktadır (Terzi ve diğerleri, 2010).

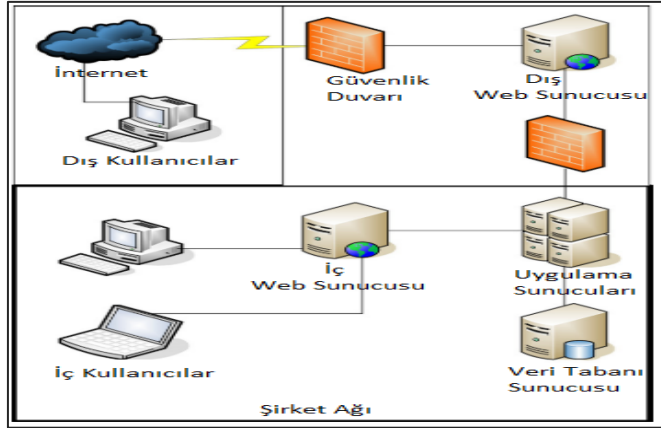
PLM sisteminin temel teknoloji mimarisi şekil 2.22’de gösterilmektedir. Burada örneğin son kullanıcı CAD uygulamasından bir ürün yapısı açmak istediğinde uygulama sunucusu, modeli bir araya getirmek için veritabanından ve dosya sunucusundan gerekli bilgileri toplar ve ardından kullanıcıya sunar.



Şekil 2.22. PLM temel teknoloji mimarisi (Saaksvuori ve Immonen, 2008:247)

İstemciden gelen talebi karşılamak ve yetki kontrolünden sonra sunucuya iletmekle görevli bir ara katmanın olmadığı 2 katmanlı mimaride güvenlik açıklarının önüne geçmek için güvenli giriş katmanı (Secure Socket Layer- SSL) kullanılmaktadır. Yüksek performans ve güvenlik gerektiren durumlarda 3 katmanlı mimari (sırasıyla istemci – uygulama – sunucu katmanı) kullanılmaktadır. Çok daha yüksek güvenlik gerektiren durumlarda uygulama katmanının sayısının artırıldığı 4, 5 ve 6 katmanlı mimariler de kullanılmaktadır. Şekil 2.23, çok katmanlı mimari yaklaşımının bir örneğini göstermektedir (Faircloth, 2011).

İstemci-Sunucu mimarisi sunucu yerleşimlerine göre ayrılmakta olup, çoğu kurumsal uygulamalar çok katmanlı bir mimari ile tasarlanmıştır. Çok katmanlı mimaride genel uygulama çerçevesi, veritabanı sunucusunun uygulama sunucusundan ayrı olduğu web servis adı verilen birden fazla uygulama arayüzüne bölünmektedir. İstemci katmanlar görevlerini bu servisleri kullanarak yürütmektedir. Web servislerinin etkin kullanıldığı, her hizmetin farklı iş birimleri tarafından birbirinden bağımsız çalışmasını sağlayan bu tür yapılarda SOA (Servis Odaklı Mimari-Service Oriented Architecture) kullanılmaktadır.



Şekil 2.23. Çok katmanlı bir mimari (Faircloth, 2011)

2.3.3. ERP ve PLM yazılımlarını entegre etmenin önemi

PLM ve ERP yazılımları birbiriyle entegre çalıştıkları durumda kurumların performansı ve verimlilikleri de artmaktadır. PLM ile ERP yazılımları birbirlerinden farklı yapıda olsalar da bu farklılıklar sayesinde birbirlerini de tamamlamaktadırlar. PLM ile ERP yazılımları arasındaki farklar şekil 2.24'te ifade edilmiştir.

PLM		ERP
Ürün/ Hizmet bilgi yönetimi desteği	AMAÇ	Operasyonel iş süreçleri desteği
İşbirliği ve inovasyon	ODAK	Tedarik zinciri yönetimi ve TZY ticari faaliyet takibi
Ürün geliştirme	SÜREÇ	Ürün üretimi
Ürünü/ Hizmeti pazara zamanında sunma	NİHAİ HEDEF	Siparişi müşteriye zamanında sunma
Teknik kısıtlar	KISITLAR	Ticari kısıtlar
Mühendislik ürün ağacının (eBOM) tanımlanması	BOM ODAĞI	Üretim ürün ağacının (mBOM) yürütülmesi
Yapısal olan ve olmayan tüm verilerin yönetimi	N	Hammadde ve bitmiş ürünlerin envanter yönetimi
Konfigürasyon yönetimi, Değişiklik yönetimi	E	Sipariş yönetimi, Müşteri İlişkileri Yönetimi, Satınalma
Gereksinim yönetimi, Proje Yönetimi	?	Satış ve Operasyon Planlama, Üretim Planlama ve Kontrol
Doküman Yönetimi, İçerik Yönetimi		Finans Yönetimi, İnsan Kaynakları Yönetimi

Şekil 2.24. PLM-ERP yazılımları arasındaki farklılıklar

PLM ve ERP yazılımlarının entegrasyonu ile, her iki yazılımda da en güncel ürün bilgilerine sahip olunması ve anlık olarak bu bilgilere ulaşılabilmesi sayesinde planlama ve ticari faaliyetlerin etkin bir şekilde yönetilmesi sağlanmaktadır. Bir arada çalışmalarının neden önemli olduğu aşağıda kısaca açıklanmaktadır:

- Güvenilir bilgi ve veri akışını sağlar: Entegrasyonunun en büyük faydası kurumsal süreçlerin daha etkin yürütülmesi sayesinde güvenilir veri akışının sağlanmasıdır. Bu özellikle son anda yapılan değişikliklerden etkilenen bölümlerin mümkün olan en kısa sürede haberlerinin olmasını sağlamaktadır. Güncellenmiş verilere anlık ulaşmanın yanında ürün ve süreçlerin geçmiş revizyon bilgilerine de kolaylıkla ulaşarak izlenebilirlik ve denetlenebilirlik sağlanmaktadır.
- Verimliliği artırır: Entegrasyon sayesinde bu yazılımlara ayrı ayrı veri girişi yapmak yerine sadece bir kez veri girişi yapmak yeterli olacaktır. Tekrar eden işlerden kurtulunması, bilgilere ulaşımın kolay olması sayesinde iş yükünü de azaltmaktadır. Dolayısıyla şirketlerin verimlilikleri ve geliri artmaktadır.
- Aşırı stok birikimi problemine engel olur: Değişikliklerin doğru bir şekilde takibi ve doğru yapılan planlamalar sayesinde hatalı stok yönetimi ve depolama alanı yetersizliği problemi önlenabilmektedir (PLM ve Ötesi, 2021). Sıfır stok yönetimi hedefine de yardımcı olur.
- Ürünlerin pazara sunulma süresi kısalmır: Ürün planlama, üretim ve kaynak planlama süreçleri hızlanacağı için, ürünler pazara daha kısa sürede sunulabilmektedir. Bu sayede müşteri memnuniyeti de artmaktadır.
- Maliyet tasarrufları sağlanır: PLM ve ERP entegrasyonunun en büyük avantajlarından biri de maliyet tasarruflarıdır. Entegrasyon sayesinde veriler otomatik olarak ileri geri aktığından dolayı hata yapma olasılığı azalmaktadır. Böylece doğru, tutarlı ve anlık bilgi akışı sayesinde daha doğru tahminler yapılabilmektedir. Örneğin, satınalma siparişleri daha güvenli bir şekilde verileceğinden gereksiz sarf malzemelere para harcanmayacaktır ya da eksik sipariş kaynaklı beklemlerden dolayı kayıplar olmayacaktır.
- İş birimleri arasındaki iletişim sorunları azalacaktır: Entegrasyon olmadığı durumda özellikle büyük kuruluşlarda farklı bölümlerdeki çalışanların bu iki yazılıma hatalı veya uyumlu olmayan veri girişi yapması durumunda veya erişimleri gereken verilere erişemedikleri durumda bölümlerde karışıklık ve iletişim bozukluğu söz konusu

olabilmektedir. Bu durum geri dönülemez hatalara ve ciddi maliyet kayıplarına yol açabilmektedir.

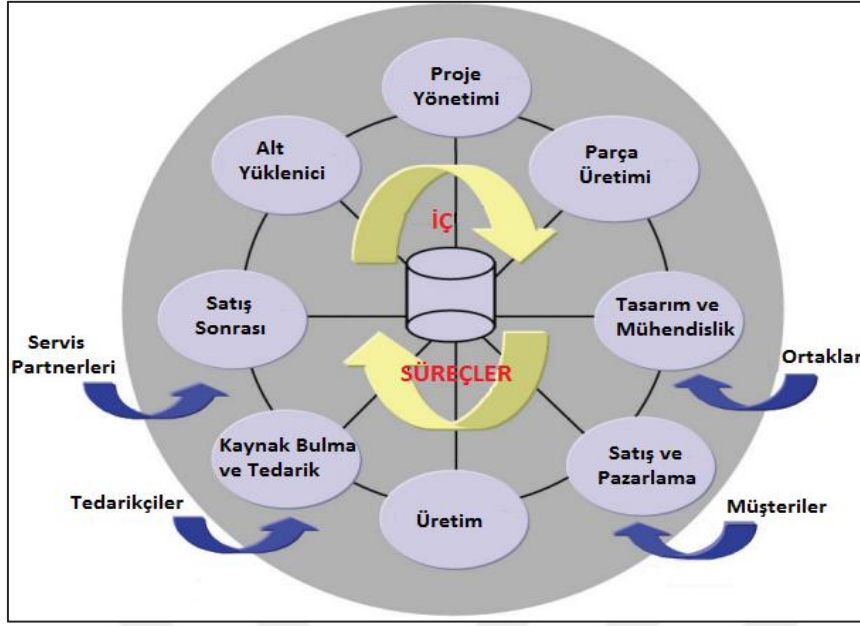
2.3.4. PLM yazılımının temel uygulamaları

PLM uygulamaları modüler bir yapıya sahiptir. Uygulamalar birbirlerinden bağımsız çalışmalarına rağmen birbiriyle entegre bir yapı içerisinde fonksiyonlarını yerine getirmektedir.

Yazar John Stark, “Ürün yaşam döngüsü yönetimi” isimli kitabında PLM uygulamalarını, genel uygulamalar ve özel uygulamalar olmak üzere iki ana gruba ayırmıştır (Stark, 2016: 199,231).

- Genel uygulamalar, sektör, ürün tipi ve kullanıcı rolü farketmeksizin herkesin kullanabileceği uygulamalardır. Bunlar veri/doküman yönetimi, parça/ ürün/ konfigürasyon yönetimi, iş akışı yönetimi, program/ proje yönetimi, iş birliği yönetimi, görselleştirme, entegrasyon, altyapı yönetimi, fikir yönetimi, ürün geri bildirim yönetimidir (Stark, 2016: 199,231).
- Özel uygulamalar ise göreve özgü daha spesifik uygulamalar olup, belirli rollerdeki kişiler, bölümler ve endüstriler tarafından ihtiyaç duyulan daha özel uygulamaları içermektedir. Bunlar ürün portföy yönetimi, fikir yönetimi, gereksinimler ve spesifikasyon yönetimi, işbirlikçi ürün tanımı yönetimi, tedarikçi ve kaynak yönetimi, üretim yönetimi, bakım yönetimi, çevre, sağlık ve güvenlik yönetimi, fikri mülkiyet yönetimidir (Stark, 2016: 199,231).

PLM yazılımları şekil 2.25’te belirtilen iç ve dış paydaşlar arasında genellikle bilginin oluşturulması, kaydedilmesi, güncellenmesi, dağıtımı, kullanımı ve erişimini içeren farklı süreçleri desteklemek için geniş bir fonksiyon ve özellikleri içermektedir (Cerqueiro, López, Pose ve Cerqueiro, 2011).



Şekil 2.25. PLM paydaşları (Saaksvuori ve Immonen, 2008)

Literatürde yapılan araştırmalara dayanarak çizelge 2.3'te PLM yazılımının temel modülleri birleştirilmiştir (Zancul, 2012; Stark, 2016: 199,231; Kow, Lim, Abu Bakar ve Mahdzir, 2015).

Çizelge 2.3. PLM yazılımının temel modülleri

Modül	Fonksiyonel Grup
Fikir ve Gereksinim Yönetimi	Fikir yönetimi
	Gereksinim yönetimi ve sistem mühendisliği
Proje ve Kaynak Yönetimi	Kaynak yönetimi ve takvim yönetimi
	Risk yönetimi
	Proje portföy yönetimi
Ürün Maliyet Analizi	Ürün maliyet tahmini
	Yaşam döngüsü maliyet analizi
Ürün Yapısı Yönetimi	Bileşen/Malzeme yönetimi
	Sınıflandırma
	Entegre ürün ağacı yönetimi
	Varyant yönetimi
	Sayısal ürün modeli (DMU) yönetimi
Ürün Veri Yönetimi	Tasarım ve mühendislik veri yönetimi (CAD, CAM, CFD, ...)
	Analiz ve simulasyon araçları (CAE, CFD, FEM, Orbit, ...)
	Görselleştirme ve biçimlendirme (markup)
	Doküman ve içerik yönetimi
Değişiklik ve Konfigürasyon Yönetimi	Sürüm, durum ve geçerlilik yönetimi
	İş akışı yönetimi
	Mühendislik değişiklik yönetimi
	Üretim sipariş değişiklik yönetimi
	Varyant ve ürün konfigürasyon yönetimi
Tedarikçi İlişkileri Yönetimi	Dış kaynak kullanım yönetimi
	Tedarikçi ilişkileri yönetimi

Çizelge 2.3. (devam) PLM yazılımının temel modülleri

Modül	Fonksiyonel Grup
Üretim Süreçleri Yönetimi	Üretim kaynakları yönetimi
	Süreç planlama
	Tesis planlama
Kalite ve Uyumluluk Yönetimi	Kalite yöntemleri (örn. FMEA)
	Kalite planlama, kontrol ve denetimi
	Standart ve mevzuat uyumluluğu
	Müşteri şikâyet yönetimi
Sürdürülebilirlik ve Çevresel Uyum	Mevzuat ve malzeme uyumluluğu
	Yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA)
	Atık yönetimi
Bakım, Onarım ve Yenileme (MRO) Yönetimi	Yedek parça yönetimi
	Bakım ve onarım operasyonları yönetimi
Karar Destek ve İş Analitiği	Raporlama ve iş analitiği
Entegrasyon ve Dağıtılmış İş Birliği	Entegrasyon standartları
	Kurumsal uygulamalarla entegrasyon (ERP vb.)
	CAD / CAM / CAPP gibi araçların entegrasyonu
	Donanım/Yazılım entegrasyonu
	İnternet teknolojileri (XML, UML, HTTP vb.)
	İş birliği ve sistem araçları entegrasyonu (MS Office vb.)
	İş akışı/Süreç yönetimi
	Bilgi yönetimi (Şirket içi, tedarikçiler ve müşteriler arasında)
Sistem Yönetimi	Veri depolama ve yedekleme yönetimi
	Veri değişimi yönetimi
	Yazılım konfigürasyon yönetimi
	Yetkilendirme yönetimi
	Veri modeli yönetimi
	Platform genişletilebilirlik
	Alt yapı yönetimi (Veri tabanı, entegrasyon yönetimi vb.)

Literatürde PLM uygulamaları bazı çalışmalarda “TIFOS” kavramına göre kategorize edilmiştir. İlk olarak, Sharif’in bakış açısından, “TIHO” çerçevesinde (TechnoWare, InforWare, HumanWare ve OrgaWare) PLM uygulamalarını dört kategoriye ayırmıştır (Zhang, Ouzrout, Bouras, Mazza ve Savino, 2013b):

- TechnoWare: Bilgi teknolojileri, entegrasyon, bilgi güvenliği, teknoloji ve mimariyi kapsamaktadır (Zhang ve diğerleri, 2014b; Zhang, Ouzrout, Bouras, Selva ve Savino, 2013a; Savino ve diğerleri, 2012; Vengugopalan ve diğerleri, 2008).
- InforWare: Belge, bilgi yönetimi, standartları içermektedir. Doküman yönetimi, kalite ve uyum yönetimi, operasyonlararası standartlar (MIL/ AP233/ PLCS/ SysML/ EDI/ XML /JT) bu kapsamdadır (Zhang ve diğerleri, 2014b; Zhang ve diğerleri, 2013a; Savino ve diğerleri, 2012; Vengugopalan ve diğerleri, 2008).

- HumanWare: İş ile ilgili bileşenleri kavrama ve teknoloji bileşenlerini kullanma becerisini kapsamaktadır (Zhang ve diğerleri, 2013a).
- OrgaWare: Organizasyon, süreç yönetimi konularını içermektedir. İş kırılım yapısı, proje ve program yönetimi, mühendislik değişiklik yönetimi, iş akış yönetimi bu kapsamdadır (Zhang ve diğerleri, 2014b; Zhang ve diğerleri 2013a; Savino ve diğerleri, 2012; Vengugopalan ve diğerleri, 2008).

Vengugopalan ve diğerleri (2008), PLM uygulamalarını “TIFO” çerçevesinde (TechnoWare, InfoWare, FunctionWare ve OrgaWare) dört ana kategoriye ayırmıştır. Humanware'i “OrgaWare” ile birleştirip yeni bir “FunctionWare” kategorisi eklediler (Zhang ve diğerleri, 2013b):

- FunctionWare: İşlevselliklerin derinliği ve genişliğini içermektedir. PDM, bilgi tabanlı mühendislik (KBE), konfigürasyon yönetimi, görselleştirme ve biçimlendirme, ürün ağacı yönetimi, gereksinim yönetimi bu kapsamdadır (Zhang ve diğerleri, 2013b; Zhang ve diğerleri, 2014b; Zhang ve diğerleri, 2013a; Savino ve diğerleri, 2012; Vengugopalan ve diğerleri, 2008).

PLM sürdürülebilirliği, ürün yaşam döngüsünün uzun süreli yönetilebilmesi için önemlidir. Zhang ve diğerleri (2013b) “TIFO” çerçevesini “SustainWare” adlı yeni bir kategori ekleyerek “TIFOS” olarak genişletmiştir. “SustainWare” kategorisinin içeriği aşağıdaki gibidir:

- SustainWare: atık ve kirliliği azaltmak, çevre dostu ürünler tasarlamak, çevreye ve insana verilen zararı en aza indirmek, düşük enerji tüketimi bu kapsamdadır (Zhang ve diğerleri, 2014; Zhang ve diğerleri, 2013a; Zhang ve diğerleri, 2013b).

Myung ve diğerleri (2008), bir sistem perspektifinde, 12 fonksiyon bloğu tanımlamışlardır. Çalışmalarında bunları Ar-Ge strateji yönetimi, proje yönetimi, performans yönetimi, portföy yönetimi, geliştirme mühendisliği, üretim mühendisliği, pazarlama ve ürün planlama, gereksinim yönetimi, geliştirme kalite yönetimi, ürün bilgi yönetimi, teknik varlık yönetimi ve dış kaynak kullanımı ve iş birliği olarak belirtmişlerdir (Myung, 2008).

Kow ve diğerleri (2015) çalışmalarında PLM teknoloji bileşenlerini veri, süreç ve metodoloji olarak gruplandırmışlardır. Veri ve süreç yönetimi PLM uygulamaları ile yürütülmektedir. Veri bileşenleri; PDM, kütüphane yönetimi, proje/ program yönetimi, mühendislik malzeme ürün ağacı (EBOM) yönetimi, varyant ve ürün denetimi, gereksinim yönetimi, maliyet analizi ve CAD verilerini kapsamaktadır. Süreç bileşenleri; mühendislik değişiklik süreci de dahil olmak üzere verilerde belirtilen bileşenleri kapsamaktadır. Metodoloji bileşenleri; şirket ve endüstri içerisindeki en iyi uygulamalar olarak belirtilmiştir. Metodoloji bileşenlerini DFMEA (tasarım hata türleri ve etkileri analizi) ve PFMEA (proses hata türleri ve etkileri analizi), kurumsal parça numaralandırma/ taksonomi, tasarım metodolojisi, BOM metodolojisi ve mühendislik değişiklik yönetimi metodolojisi olarak tanımlamışlardır (Kow ve diğerleri, 2015).

2.3.5. PLM yazılımının potansiyel faydaları

PLM yazılımlarının pazara ürünü sunma süresini kısaltması, ürün işlevselliğini geliştirme ve kişiselleştirme yeteneğini artırması gibi çok fazla avantajı bulunmaktadır. Beklenen iyileştirmeler ve faydalar aslında PLM ile şirketin iş süreçlerindeki değişikliklerden kaynaklanmaktadır. Yani beklenen faydaları elde etmek için referans süreçler oluşturulabilir ve bir şirket içindeki hedefler PLM süreçlerini geliştirme yönünde belirlenebilir (Schuh, Rozenfeld, Assmus ve Zancul, 2008).

Aşağıda PLM yazılımının genel fonksiyonları üzerinden faydaları belirtilmiştir.

Fikir ve gereksinim yönetimi

- Artan ürün çeşitliliği ve ürün inovasyonu (Schuh ve diğerleri, 2008),
- Müşteri beklentilerine odaklı ürün ve hizmet tasarımıyla gelen müşteri memnuniyeti (Schuh ve diğerleri, 2008),
- İş tekrarlarının azaltılması ve onaylanmış tasarımların yeniden kullanımı ile azalan hata riski (Schuh ve diğerleri, 2008),
- Paydaşlar arası fikir birliği ortamının oluşmasıyla proje planındaki gecikmelerin ve uzlaşmazlıkların önlenmesi,
- Değişikliklerin ve etkilerinin belgelenmesi (Schuh ve diğerleri, 2008),

- Dokümanların tekrar kullanımı ile hızlı ürün dokümantasyonu (Schuh ve diğerleri, 2008),
- Ürün, mühendislik, üretim, tedarik zinciri kısıtlarının takip edilebilmesi sayesinde daha hızlı ve etkin kararlar alma,
- Pazara doğru ürünü doğru zamanda sunma imkanıyla gelir potansiyelinin artırılması.

Proje ve kaynak yönetimi

- Daha iyi kaynak tahsisi ile geliştirme sürecinde artan çalışan verimliliği (Schuh ve diğerleri, 2008),
- Daha iyi bilgi kullanılabilirliği sayesinde proje sapmalarının erken tanımlanması imkânı, daha etkin ve hızlı karar verme (Schuh ve diğerleri, 2008),
- Proje bilgilerini toplama çabalarının otomasyon yoluyla azalması (Schuh ve diğerleri, 2008),
- Risk yönetimi ile tehditlerin etkilerinin minimize edilmesi, ortaya çıkan fırsatlardan faydalanılması.

Ürün maliyet analizi

- Tasarım aşamasında ürün maliyetlerinin simüle edilebilmesi sayesinde maliyet etkin tasarımların yapılabilmesi.

Ürün yapısı yönetimi

- Bileşenlerin, malzemelerin veya mevcut çözümlerin verimli bir şekilde yeniden kullanılmasıyla daha hızlı ürün geliştirme süreci (Schuh ve diğerleri, 2008),
- Ürün konfigürasyonlarının oluşturulmasının ve yönetiminin kolaylaşması (Svensson ve Malmqvist, 2002),
- Ürün tanımı verilerinin ilişkilendirildiği ürün yapısının ve entegre veri modelinin oluşturulmasıyla çeşitli disiplinlere özgü görünümünün kolaylıkla oluşturulması,
- Yasal uyumluluğun denetlenebilmesi ve ürün doğrulama için belgelendirme imkânı,
- Ürün konfigürasyonlarının etkin yönetimi ile müşterilerin seçimine göre maliyetleri artırmadan çeşitli ürün teklifleri yapabilme.

Değişiklik ve konfigürasyon yönetimi

- Ürün verilerindeki değişikliklerin tanımlanması, farklı disiplinler arasında yetkilendirilmiş kişilerin gerekli aksiyonları alması ve onayı ile ürün bütünlüğünün korunması,
- İş akış ve değişiklik süreçlerinin standartlaştırılmasıyla müşteri ve kurum içi değişiklik taleplerine daha etkin ve hızlı tepki verilmesi (Schuh ve diğerleri, 2008),
- Revizyonların, etkinliklerin ve tasarım konfigürasyonlarının izlenebilirliği (Svensson ve Malmqvist, 2002),
- Güncel ve doğru bilgiye hızlı erişim ile koordinasyon problemlerinin azaltılması,
- Fikri mülkiyetin (IP) korunması.

Ürün veri yönetimi

- Merkezileştirilmiş veri depolama ile ürün verisinin hiyerarşik yapılarını ve ilişkilerini dikkate alarak tekil ürün tanımlarının oluşturulması,
- Tasarım değişikliklerinin senkronizasyonun kolaylaştırılması (check-in ve check-out mekanizması ile),
- Veri dönüşümleri kaynaklı veri kayıplarının ortadan kaldırılması (Ceran ve Okur, 2016),
- Fiziksel bir prototip üretmeden dijital prototiplerle ürünü belirli bir güvenilirlikte inceleyerek (analiz ve simülasyon araçları ile) ürün doğrulamalarının yapılabilmesi sayesinde daha az prototiple, daha az maliyetle, daha doğru ürünlerin oluşabilmesi,
- Farklı departmanlardaki ekiplerin bileşenleri ya da montaj parçalarını üç boyutlu olarak görmesini, model üzerinde ölçümler yapıp, kesit almasını ve farklı versiyonlar arasında karşılaştırma yapmasını sağlaması ve gerçek-zamanlı olarak kompleks ürün yapılarının analiz edilebilmesinin sağlanması (Ceran ve Okur, 2016),
- Doküman yönetimi çözümleri ile doküman dağıtımlarının daha iyi kontrol edilmesini ve güvenlik, mevzuatlara uygunluk denetim kayıtları, arşivleme ve afet yedeklemesi konularında iyileşme imkânı (Ceran ve Okur, 2016).

Tedarikçi ilişkileri yönetimi (SRM)

- Parçalı seviyede tedarik zinciri tasarım / süreç verileri yönetimi (Endüstri 4.0, 2021),

- Nihai ürün üzerinde tedarikçiye maliyet etkisi iç görüşünü sağlamak için, ürün ağacı kaynak verilerini paylaşma imkânı (Endüstri 4.0, 2021),
- Tedarikçiye kapsamlı bilgi erişimi ve teklif verme gibi işlevlerde daha fazla çeviklik.

Üretim süreçleri yönetimi

- Esnek üretim planları oluşturabilir, ürün ve üretim takımlarının paralel çalışması sağlanarak planlama süresi %40-%50 seviyesinde azaltılması (Endüstri 4.0, 2021),
- Sanal fabrikaların oluşturulabilmesi ve üretim simülasyonları ile verimliliğin artırılması (Endüstri 4.0, 2021),
- Değişiklik süreç yönetimi ile tetiklenen BOM ve BOP aktivitelerinin senkronize bir şekilde çalışmasıyla tasarım, üretim ve sevkiyat birimlerinin değişikliklere kolay uyumu ve çeviklik.

Kalite ve uyumluluk yönetimi

- Uyumsuzluk risklerini en aza indirgeyerek ürünün tüm yaşam döngüsü boyunca düzenlemelerinin yapılması,
- Hesap verilebilirlik, düzenleme, denetim, mülkiyet ve yasal uygunluk gereksinimlerini eksiksiz bir şekilde belgelemesi (Endüstri 4.0, 2021),
- Pano özetleri, sistem denetimleri, en kötü durum analizi ve risk değerlendirme raporlarıyla farkındalık sağlama (Endüstri 4.0, 2021),
- Şikayetlerin ve uyumsuzluk bildirimlerinin değerlendirilmesi yoluyla düzeltici ve önleyici faaliyetlerin planlanabilmesi.

Sürdürülebilirlik ve çevresel uyum

- REACH gibi mevzuatlarla olan uyumsuzluk riskinin en aza indirilmesi,
- Yaratıcı ve çevre dostu ürünlerle müşteri sadakatini artırma,
- Tehlikeli malzemelerin kullanımının limitlenmesi.

Bakım, onarım ve yenileme (MRO) yönetimi

- Bakım, onarım ve revizyon hizmetlerinin daha etkin olabilmesi için hizmet organizasyonu sağlanması,
- İhtiyaç halinde hizmet ekiplerine ürün bilgisinin tedarik edilmesiyle gereksinimlerin ve taleplerin en iyi şekilde anlaşılmalarının sağlanması,
- Geri bildirim döngüleri ortamı sayesinde servis endişelerinin giderilmesi ve ürün geliştiricilerin dikkatinin çekilebilmesi (Endüstri 4.0, 2021).

Karar destek ve iş analitiği

- Raporlama ve çözümlemeden doğacak maliyetlerin azaltılması (Endüstri 4.0, 2021),
- Organize edilmiş, paylaşılmış, tutarlı ürün bilgisinin oluşturulabilmesi sayesinde etkili iş kararlarının verilmesinin sağlanması (Singh ve diğerleri, 2019b).

Entegrasyon ve dağıtılmış iş birliği

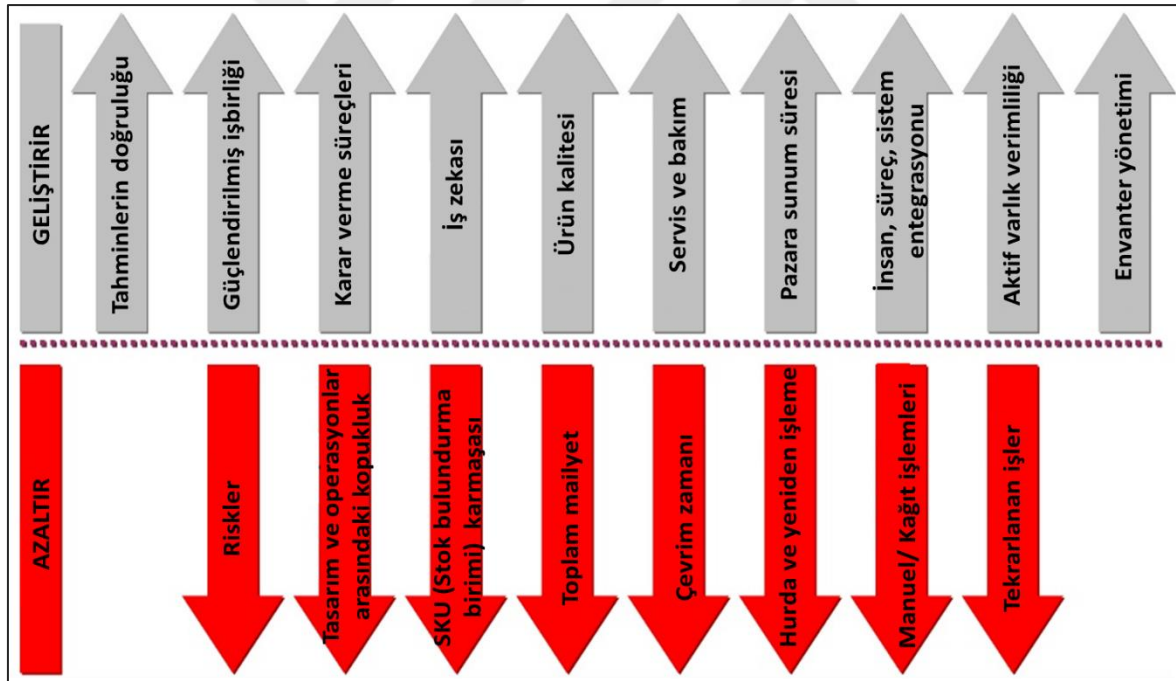
- Gelişmiş entegrasyon özellikleri şirket içerisindeki çalışanların, birden çok arayüzde gezinmek ve dosyaları taşımak yerine yenilikçi ürünlere odaklanmalarını sağlaması,
- Lokasyondan bağımsız arama araçları ve internet tabanlı erişim sayesinde ürün bilgilerine hızla ulaşılmasına ve tasarımların veya çözümlerin tekrar kullanılmasına imkân vermesi,
- Teklif verme, kaynak bulma, tedarik ve üretim gibi işlevlerde daha fazla çeviklik sağlaması,
- Şirketlerin farklı alanlarda ürünler geliştirmelerine ve üretmelerine yardımcı olurken, tasarım zinciri ve tedarik zinciri boyunca da iş birliğini sağlaması.

PLM yazılımlarının temel ve en önemli işlevlerinden birisi de bilgi yönetimidir. Bu bağlamda PLM yazılımları, coğrafi olarak dağılmış tüm paydaşları bir araya getirmek, ürünle ilgili bilgileri gerçek zamanlı olarak paylaşmak, izleyebilmek ve diğer kurumsal sistemlerle entegrasyon sağlamak için işbirlikçi bir ortam sağlama potansiyeline sahiptir. Yukarıda belirtilen pek çok faydanın ve iş birliği ortamının gerçekleşmesi için oldukça önemlidir.

PLM yazılımlarının sistem kararlılığı, süreç standardizasyonu ve düzeltme ve iyileştirme olarak belirlenen 3 temel verimliliği sağlayabilmesi için aşağıdakilerin sağlanması gerekmektedir.

- Sistem kararlılığı: Tüm kullanıcılar için tek ve tutarlı bir veri kaynağına erişmesi gerekir.
- Süreç standardizasyonu: Standart referans süreçlerinin tanımlanması, benimsenmesi ve uygulanması gerekmektedir.
- Düzeltme ve iyileştirme: Sorunlar ve iyileştirme fırsatları hızlı bir şekilde tanımlanmalı, analiz edilmeli ve ortadan kaldırılmalıdır (Dassault Systèmes, 2012).

PLM yazılımlarının temel faydalarının özeti görsel olarak şekil 2.26'da gösterildiği gibi özetlenebilir (Subramaniam, 2021).



Şekil 2.26. PLM yazılımlarının faydalarının genel bir özeti (Subramaniam, 2021)

2.4. PLM Uygulamasının Performansına Etki Eden Faktörler

Genellikle modelleme ve PLM yazılımlarından beklenen faydalar görünmemektedir. Karmaşık olarak algılanmaktadır ve çalışanlar hayal kırıklığına uğrayabilmektedir. Bu sebeple de çalışanlar mevcut iş uygulamalarıyla çalışmaya devam etmek isteyebilmektedir.

Halbuki standartlaşmış ve sürdürülebilir PLM yazılım çözümleri, üretilen bilgileri yeniden kullanmakla kalmayıp, aynı zamanda mühendislik süreçlerinin daha esnek olmasını sağlayabilmektedir. Örneğin, mühendisler zaman baskısı altında son dakika gelen değişikliklere daha kolay ve hızlı geri dönüşler yapabilecek ve düzeltmeler sırasında potansiyel hatalardan kaçınarak daha doğru ve kapsamlı çözümler üretebilecektir. Standartlaştırılmış PLM çözümlerine sahip olmak, organizasyon yükü yerine gerçek teknik zorluklara odaklanmaya izin verir ve mühendislik süreçlerinin verimliliğini ve etkinliğini artırmasından dolayı ürünlerin yaşam döngüsü süresini doğrudan etkilemektedir (Ebert, 2013).

Sistemden istenilen verimi alabilmek için PLM yazılımlarının uygulanmasını planlamadan önce bu uygulamaların performansına etki eden faktörlerin incelenmesi gerekmektedir. Böylece projenin erken safhasında gerekli önlemlerin alınması ile başarı kaçınılmaz olacaktır.

2.4.1. PLM yazılım uygulamaları için kritik başarı faktörleri

PLM, kurum içi ve kurumlar arası uygulamalarda çok kapsamlı değişiklikler içermektedir. Bu yüzden birçok kurum PLM uygulamalarını devreye alma konusunda zorlanmaktadır (Silventoinen, Papinniemi ve Lampela, 2009).

Kritik başarı faktörleri, PLM uygulama sürecindeki her bir aşamanın daha etkin yürütülmesi ve başarılı bir PLM yazılım sisteminin uygulanması için gerekli faktörlerdir. Grieves (2006), PLM uygulama projelerinde başarı için koordine edilmesi gereken insanlar, süreçler, uygulamalar ve teknoloji olarak dört boyut olduğunu vurgulamaktadır. Bowler ve Rohde (1995), General Motors'ta Bryant yasası olarak bilinen eşitlik 2.1'deki başarı denklemine atıfta bulunmuştur (Bokinge, 2012):

$$S = 100E + 10P + T \quad (2.1)$$

Eşitlik 2.1'deki başarı denklemi; bir PLM uygulamasının başarısının (S) çoğunlukla yetkilendirilmiş insanlardan (E), daha sonra tanımlanmış süreçlerden (P) ve son olarak da uygun teknolojiden (T) etkilendiğini göstermektedir (Bokinge, 2012).

Singh ve diğerleri (2020a), PLM sistemlerinin etkili bir şekilde uygulanması için kritik başarı faktörlerini araştırmışlardır. Otomotiv ve havacılık sektöründen olmak üzere toplamda iki firmada yaptıkları uygulamada çizelge 2.4’te gösterilen 17 başarı faktörünü “teknoloji”, “iş süreçleri ve uygulamaları” ve “insanlar” olarak üç boyutta incelemişlerdir. Çok kriterli karar verme yöntemlerinden gri dematel tabanlı analitik ağ süreci (DANP) yöntemi ile başarı faktörlerini değerlendirmişlerdir. Uygulama çalışmaları sonucunda PLM yazılımlarının başarılı bir şekilde uygulanmasında sırasıyla önce ‘teknoloji’ boyutunun geliştirilmesi, ardından ‘iş süreçleri’ ve son olarak ‘insanlar’ boyutunun geliştirilmesi gerektiği sonucuna ulaşmışlardır. Teknoloji boyutundaki faktörlerden, ‘bilgi teknolojisi altyapısı’ en kritik olan faktördür. Bunu her iki firmada da ‘veri güvenliği’ ve ‘birlikte çalışabilirlik’ faktörleri takip etmiştir (Singh ve diğerleri, 2020a).

Çizelge 2.4. PLM yazılım uygulanmasında başarı faktörleri (Singh ve diğerleri, 2020a)

Boyutlar	Faktörler	Referanslar
İş Süreçleri ve Uygulamaları	İş sürecinin yeniden yapılandırılması ve özelleştirme	(Grieves, 2006; Terzi ve diğerleri, 2010; Ashja, Moghadam ve Bidram 2015; Singh ve Misra, 2018b)
	Bilgi paylaşımı veya iletişim	(Ashja ve diğerleri, 2015; Singh ve Misra, 2018b)
	Risk yönetimi	(Machac ve Steiner, 2014; Singh ve Misra, 2018b)
	Net iş hedefleri	(Ashja ve diğerleri, 2015; Singh ve Misra, 2018b)
	PLM yazılımlarının değerlendirilmesi ve seçimi	(Savino ve diğerleri, 2012; Eastham, Tucker, Varma ve Sutton, 2013; Ashja ve diğerleri, 2015; Singh ve Misra, 2018b)
	PLM yazılımları çözüm sağlayıcısının seçimi	(Singh ve Misra, 2018b)
	Uygulama bütçesi	(Singh ve Misra, 2018b)
	Uygulama metodolojisi	(Terzi ve diğerleri, 2010; Singh ve Misra, 2018b)
	PLM proje izleme ve kontrol	(Terzi ve diğerleri, 2010; Ashja ve diğerleri, 2015; Singh ve Misra, 2018b)
İnsanlar	Liderlik ve bağlılık	(Ashja ve diğerleri, 2015; Singh ve Misra, 2018b)
	Eğitim ve öğretim	(Rangan, Rohde, Peak ve Bliznakov, 2005; Grieves, 2006; Mas ve diğerleri, 2015; Ashja ve diğerleri, 2015; Singh ve Misra, 2018b)
	Önceki deneyimlerden elde edilen bilginin paylaşımı	(Rangan ve diğerleri, 2005; Grieves, 2006; Singh ve Misra, 2018b)
	Organizasyon kültürü	(Ameri ve Dutta, 2005; Grieves, 2006; Singh ve Misra, 2018b; Marchetta ve diğerleri, 2011; Ashja ve diğerleri, 2015; Singh ve Misra, 2018b)
	Proje ekibi ruhu ve bağlılığı	(Thamhain, 2004; Singh ve Misra, 2018b)
Teknoloji	Bilgi teknolojisi (BT) altyapısı	(Schuh ve diğerleri, 2008; Rachuri ve diğerleri, 2008; Singh ve Misra, 2018b)
	Tüm sistemler arasında birlikte çalışabilirlik ve entegrasyon	(Rachuri ve diğerleri, 2008; Terzi ve diğerleri, 2010; Marchetta ve diğerleri, 2011; Singh ve Misra, 2018b)
	Veri güvenliği-kullanıcı kimlik doğrulaması	(Rachuri ve diğerleri, 2008; Marchetta ve diğerleri, 2011; Savino ve diğerleri, 2012; Singh ve Misra, 2018b)

İş süreçlerinin yeniden yapılandırılması ve özelleştirme: Sektördeki en iyi uygulamalara göre yapılandırılmış PLM yazılımları, iş süreçlerini iyileştirmeye yardımcı olurken aynı zamanda iş süreçlerinin yeniden yapılandırılmasını ve standartlaştırılmasını gerektirmektedir (Singh ve Misra, 2018b). Rangan ve diğerleri (2005), PLM'in uygulanmasında iş süreçlerinin önemini şöyle tanımlamıştır: "Süreçlerin yapılandırılması konusundaki eksiklikler genellikle PLM'in standartlaştırılmamış ve optimal olmayan bir şekilde uygulanmasına yol açmaktadır ve bu durum süreç entegrasyonlarında yüksek maliyetlere neden olmaktadır.". İş süreçlerinin yeniden yapılandırılmasının PLM'in potansiyel faydalarından yararlanmak için şart olduğu bilinmelidir (Garetti, Terzi, Bertacci ve Brianza, 2005; Singh ve diğerleri, 2020a). PLM uygulamalarının başarısız olmasının en büyük nedenlerinden biri de şirketlerin etkin olmayan iş süreçlerine yazılımı uydurmaya çalışmalarıdır.

Samsung Electronics gibi çok çeşitli ürünler (TV, cep telefonu, buzdolabı gibi) üreten bir şirket için entegre bir PLM sistemini devreye almak zorlayıcı bir süreçtir ve bu süreç farklı PLM çözümleri ve iş süreçlerinin yeniden yapılandırılmasını gerektirmektedir (Myung, 2008). Kung, Ho, Hung ve Wu (2015) çalışmalarında, kurumsal bilgi sistemleri için iş süreci yeniden yapılandırmasının (BPR) önemine dikkat çekmiştir. BPR, ERP gibi çeşitli büyük kurumsal sistemlerin uygulanması durumunda ele alınması gereken kritik bir başarı faktörü olarak kanıtlanmıştır (Ram, Wu ve Tagg, 2014; Singh ve diğerleri, 2020).

PLM projelerinde ana amaçlardan biri de minimum özelleştirme ile süreçleri yönetmektir. Bu yüzden PLM yazılım seçiminde yazılımının iş süreçleriyle uyumu açısından işlevsellik ve uyarlanabilirlik özellikleri dikkat edilmesi gereken kriterlerdendir. Şirketler, PLM yazılımını iş süreçlerine göre özelleştirmeye çalışmak yerine iş süreçlerini PLM yazılımına göre uyarlamalıdır. Çünkü özelleştirme (modifikasyon), hem maliyetlerin artmasına neden olmaktadır hem de yazılım bakımı ve güncellenmesi konusunda zorluklar çıkarmaktadır.

Bilgi paylaşımı/İletişim: PLM yazılımlarının temel fonksiyonlarından biri de şirket içerisindeki ürünle ilişkili veriler, kişiler, süreçler ve sistemler arasında tamamen entegre iş birliği ortamını sağlamaktır (Stark, 2015). Bu nedenle, PLM yazılımlarının uygulanması, kuruluşun tüm paydaşları arasında etkin iletişim yönetimini hedeflemelidir. Çünkü iletişim, çıkabilecek kullanıcı direncini minimuma indirmek ve PLM yazılımından maksimum fayda elde etmek için özel dikkat ve önceliği hak etmektedir (Singh ve diğerleri, 2020b).

Risk yönetimi: Riskler teknoloji, veri ve iş süreçleriyle ilgili riskler gibi bir PLM sisteminin her ögesiyle ilişkilidir. Sağlam risk yönetimi, başarısızlık olasılığını azaltmaya yardımcı olmaktadır ve risklerin ortaya çıkma olasılığının ve ciddiyet seviyesinin tahmin edilmesine katkıda bulunmaktadır. Risk tanımlama ve etkisini azaltma değerlendirmesi, PLM uygulama sürecinde dönüşüm ilerledikçe eşzamanlı olarak çalışılması gereken en önemli çalışmalardandır (Machac ve Steiner, 2014).

Net iş hedefleri: Bir şirketin iş hedefleri, en iyi sonuçları verecek şekilde PLM yazılımının hedefleriyle uyumlu olmalıdır ve projeye yön vermesi açısından işlevsel ve özel hedefleri içermelidir. Net iş hedefleri sadece PLM ihtiyacını değerlendirmekle kalmaz, aynı zamanda daha iyi kullanımını planlamaya da yardımcı olmaktadır (Ashja ve diğerleri, 2015). Seçilecek PLM yazılımının kullanım kapsamı ve ön koşulları iyi incelenmeli ve uygulama süreci iyi planlanmalıdır (Singh ve Misra, 2018b). Organizasyon kültürü, iş süreçleri gibi örgütsel faktörler, PLM iş amaç ve hedefleriyle uyumlu hale getirilmelidir. Çünkü PLM uygulaması, organizasyonda çalışma kültürü ve şirket felsefesi ile ilgili birçok değişikliği gerektirmektedir (Savino ve diğerleri, 2012; Eastham ve diğerleri, 2013; Singh ve Misra, 2018b; Singh ve diğerleri, 2020a).

Bir organizasyonda, PLM uygulaması projesi, tek bir iş biriminde gerçekleştirilemeyen, bir dizi küçük faza bölünerek yönetilmesi gereken çok kapsamlı bir değişim sürecidir (Vezzetti, Violante ve Marcolin, 2014). Garetti ve diğerleri (2005) de değişim yönetimi yaklaşımının kademeli olması gerektiğini önermiştir ve başlangıçta, PLM uygulamasını küçük bir projede başlatmayı, sonrasında yavaş yavaş diğer projelere uygulamayı ve en sonunda tüm organizasyona yayılabileceğini tavsiye etmişlerdir (Garetti ve diğerleri, 2005).

PLM yazılım alternatiflerinin değerlendirilmesi ve seçimi: Şirket içerisinde PLM felsefesinin benimsenmesi iş ihtiyaçlarını tam anlamıyla karşılamak için bir ön gerekliliktir. Şirket için en uygun PLM yazılımının seçimi, uyarlanması ve uygulanması konularına gereken önem verilmelidir.

PLM yazılımları çözüm sağlayıcısının seçimi: Son kullanıcıların PLM yazılımının etkinliği ve performans verimliliği konusundaki memnuniyetleri, PLM felsefesinin benimsenmesini ve PLM uygulamasının başarılı olmasını doğrudan etkilemektedir.

Uygulama bütçesi: Uygun olmayan 'kaynak tahmini', teknolojik gereksinimleri ve teknolojinin iş ihtiyaçları ile uyumunu etkilemektedir. Ayrıca, yetersiz tahminler gerekli bilgi teknolojisi altyapısını, işgücünü ve lisans sayısını etkilemektedir. Singh ve diğerleri (2020b)'ın yaptığı bir vaka çalışmasında lisans sayısının ve gerekli işgücünün hafife alınmasının PLM uygulamasının başarılı olmasını engellediğini ve uygulama süresini ve maliyetini gereksiz yere arttırdığını tespit etmişlerdir.

Uygun kaynaklara sahip olmamak, istenen entegrasyonun doğru planlanması ve yeni teknolojinin süreçler ve iş stratejileri ile uyumlulaştırılması için bir engel olabilmektedir (Singh ve diğerleri, 2020b). Ayrıca ihtiyaç duyulandan daha fazla fonksiyonun satın alınması ya da gözden kaçırılmış bir iş süreci için gerekli bir fonksiyonun satın alınmaması hem para hem de zaman kaybına neden olmaktadır. Dolayısıyla şirket için en uygun fonksiyonların dikkatli bir şekilde tespit edilip buna göre satın alım yapılmasına özen gösterilmelidir.

PLM çözüm sağlayıcıları şirket içi farklı lisans politikaları sunmaktadır. Bu karmaşık lisanslama politikaları, şirketleri PLM yazılım lisansları ve sürüm güncellemeleri için ayrı ayrı ödemeye bağlamıştır. Singh ve Misra (2019) çalışmalarında, PLM yazılımlarının uygulanmasıyla ilgili maliyetleri ele almıştır. Bu şartların ve koşulların, bir şirkette kullanıcı lisanslarının sayısını ve iş birliğini sınırladığını belirtmişlerdir ve bunun PLM yazılımlarının şirket içerisinde tam kurumsallaşmasını ve kabulünü engelleyebilecek ölçüde ciddi kaynak kısıtlamaları olduğunu öne sürmüşlerdir (Singh ve diğerleri, 2019b). Jun ve diğerleri (2007) daha az sayıda lisansın, paydaşların aynı anda tek seferde PLM yazılımlarına giriş yapmalarını engellediği için PLM kullanımına engel olduğunu belirtmişlerdir. Leeder (2017) PLM lisanslama politikasının karmaşıklığını, PLM'in genel faydalarını elde etme konusunda bir engel olarak bildirmiştir ve lisanslama politikalarının yatırım getirisini (ROI) gerekçelendirmedeki etkisini doğrulamıştır (Singh ve diğerleri, 2019a).

Uygulama metodolojisi: Her PLM çözüm sağlayıcısı, PLM'i uygulama konusunda farklı bir uygulama metodolojisine sahiptir (Lee ve diğerleri, 2008a). Uygulama metodolojisi, organizasyonel ihtiyaç ve çalışma kültürüne göre özelleştirilmelidir (Singh ve diğerleri, 2020a).

PLM proje izleme ve kontrol: PLM uygulamasının ilerleme aşamalarını değerlendiren bir faktör olarak kabul edilmektedir. PLM yazılımının uygulanmasının başarısını ya da başarısızlığını gösterebilen iş metrikleri (ölçüm göstergeleri) tanımlanmalıdır ve sürekli izlenerek kontrolü sağlanmalıdır.

Liderlik ve bağlılık: Şirket yöneticileri veya üst düzey yöneticiler, örgüt kültürünün iyileştirilmesi ve geliştirilmesinden büyük ölçüde sorumludur (Schein, 1995). Bu nedenle, yönetim desteği, bir organizasyonda teknoloji değişikliği yönetimi sırasında çalışanlara motivasyonel rehberlik desteği olarak kabul edilmektedir. Organizasyonun üst düzey yöneticilerinin özverisi ve liderliği, herhangi bir yeni teknolojinin uygulanması sürecinde son derece önemlidir (Singh ve Misra 2018b; Gibson, 2003). Üst yönetim, yapılan değişikliklerin ardındaki amaç ve hedefleri belirterek çalışanlara faydalarını açıklamalıdır (Brueck, 2002; Singh ve diğerleri, 2020a).

Proje liderleri ürün geliştirme süreçlerine hâkim, organizasyon kültürünü tanıyan ve PLM yazılımının gereksinimlerini iyi bilen kişiler olmalıdır. Bu kişiler organizasyonel politikalarla uğraşmamalıdır ve üst yönetim tarafından tam olarak desteklenmelidir.

Eğitim ve öğretim: PLM uygulamaları, organizasyon kültürünün değişimini gerektirmektedir. Ürün yaşam döngüsü sürecindeki her paydaş, PLM felsefesinden ve faydalarından haberdar edilmelidir. Değer zincirindeki bir katılımcıyla bile bağlantının kesilmesi ürün bilgisini değiştirebilir ve yanlış iş ve mühendislik kararlarına yol açabilmektedir. Bu nedenle, bir organizasyonda eğitim, bilgi ve farkındalık yaratma eksikliği, daha sonraki aşamalarda ciddi tökezlemelere neden olabilmektedir. Organizasyonda eğitim, bilgi ve farkındalık yaratma faaliyetleri değişime karşı genel direnci azaltmaya yardımcı olmak için gereklidir (Galli, 2018; Singh ve diğerleri, 2019b).

PLM yazılımının olanakları hakkında farkındalık yaratmak için, tüm paydaşların PLM eğitimlerine katılmaları gerekmektedir (Bokinge ve Malmqvist, 2012; Singh ve diğerleri, 2019a). Rangan ve diğerleri (2005), yöneticilerin de tüm uygulamaları daha iyi anlamalarını sağlamak için PLM eğitimi almalarının gerekliliğini belirtmiştir (Singh ve Misra, 2018b).

Kullanıcılar dışında sistem yöneticileri ve geliştiricileri tarafındaki teknik bilgi (know-how) eksikliği, PLM yazılımlarını son kullanıcıda özelleştirmek için bir engeldir. PLM yazılımının teknik özelliklerini kullanmak ve anlamak için iyi düzeyde teknik bilgi gereklidir (Singh ve diğerleri, 2019a; Mas ve diğerleri, 2015; Singh ve diğerleri, 2019a). Bu bağlamda Ravichandran (2005), PLM yazılım sağlayıcıların vereceği teknik eğitim ve desteğin bu bilgi engelini azaltmadaki ana rolünü vurgulamıştır (Ravichandran, 2005; Singh ve diğerleri, 2019a). PLM yazılım seçiminde dikkat edilmesi gereken bir kriterdir.

Önceki deneyimlerden elde edilen bilginin paylaşımı: Genellikle yeni teknoloji uygulamalarıyla ilgili deneyimler ve öğrenmeler uzmanlarla veya uygulayıcılarla sürdürülmektedir. Rangan ve diğerleri (2005), PLM uygulamasının yeni başlayanlar için daha iyi anlaşılmasını kolaylaştırmak adına önceki PLM uygulamalarında tüm paydaşlar tarafından elde edilen bilgilerin paylaşılmasını önermektedir. Ayrıca geçmiş deneyimlerin sadece gelecekteki dağıtımları (deployment) değil, aynı zamanda insanlarla ve süreçle ilgili gerekli değişikliklerin de doğru anlaşılmasını sağladığını öne sürmüşlerdir (Rangan ve diğerleri, 2005). Başkalarının deneyimlerinden öğrenme, bilinmeyen durumlarla mücadelede muazzam zaman ve maliyet tasarrufu sağlamaktadır (Grieves, 2006; Singh ve Misra, 2018b; Singh, Misra ve Chan 2020). Bu bağlamda PLM sağlayıcısının ilgili sektördeki tecrübesi, PLM yazılım seçiminde dikkat edilmesi gereken bir kriterdir.

Organizasyon kültürü: Yeni teknolojinin benimsenmesinde örgüt kültüründeki değişim her zaman ciddi tutum değişikliklerini gerektirmektedir. Bununla birlikte, bu değişikliklerin insanların zihninde güven kaybı ve işle ilgili güvensizliğe bağlı rahatsızlıklar yaratması muhtemeldir (Brueck, 2002). Araştırmacılar, yöneticilerin teknik ve örgütsel değişiklikler yapmak istediklerinde direnişle karşı karşıya kalmamaları için insanların değerini dile getirmişlerdir (Saaksvuori ve Immonen, 2008; Grieves, 2006; Singh, Misra ve Chan, 2020). Tomovic, Ncube, Walton ve Grieves (2010) ve Singh ve Misra (2018b) örgütsel değişim yönetiminin bir organizasyonda PLM uygulamasının başarısı üzerindeki etkisini vurgulamışlardır.

PLM uygulamaları, kurum içi ya da kurum dışı olmak üzere neredeyse tüm departmanları ilgilendirmektedir. Bu yüzden organizasyonun değişimden en çok etkilenen çalışanların PLM uygulama proje planlamasında yeterince erken bir aşamada temsil edilmedikleri

durumda, değişime karşı direnç riskinin önemli ölçüde artacağı unutulmamalıdır (Singh, Misra ve Chan, 2020).

Proje ekibi ruhu ve bağlılığı: Proje planı hakkında etkilenen tüm departmanları bilgilendirmek ve bu departmanlarla iletişim içerisinde olmak gerekmektedir. Bir projenin başarısı, çalışanların sorumluluklarını bilmesine ve proje ekibine güvenmesine bağlıdır. Önemli faydalar göstermesi uzun zaman alabilecek bir projeye ilgi ve desteği sürdürmek zordur (Siddiqui ve diğerleri, 2004).

İnsan faktörleri ve davranışları oyun değiştiricidir (Kung ve diğerleri, 2015). Dijital olarak iş birliği yapmak için ayrı sistemler ve veritabanları kullanımının kaldırıldığı PLM yazılımı tarafından sağlanan ortak bir platform çalışmasına geçiş ile insanların alıştıkları iş yapma biçimlerini değiştirmeleri gerekmektedir ve bu yüzden bu insanları ikna etmek önemli bir husustur. PLM yazılımları, ürün yaşam döngüsünün tüm aşamalarında ve her paydaş tarafından uyumlu bir şekilde kullanılmalıdır. İşbirliğini sınırlayan değişime direnç davranışları, çalışanlar ve departmanlar tarafından harcanan benzer ya da aynı çabanın birden fazla sayıda tekrarlanmasına neden olmaktadır (Singh ve diğerleri, 2019b).

Boudouh ve Gomes (2017) yaptıkları bir vaka çalışmasında PLM yazılım entegrasyonunun önündeki engellerden biri olarak “değişime direnç” faktörünü tespit etmişlerdir. Değişime direncin olmadığı bir ortamda çalışanların aktif katılımı PLM uygulamasını başarılı kılmaktadır (Soto-Acosta, Placer-Maruri ve Perez-Gonzalez, 2016; Singh ve diğerleri, 2019a). Çünkü PLM uygulama projesi, tüm veritabanını tek bir sisteme entegre etmek için çok çaba gerektirmektedir. Veri geçişi çalışmaları sıkıcı, riskli ve zaman alıcı bir görevdir. Etkilenen kullanıcıların ve uygulayıcıların bu zorlu görevle mücadele etmek için takım ruhunu kararlı ve canlı tutmaları gerekmektedir (Singh ve Misra, 2018b).

Bilgi teknolojisi (BT) alt yapısı: PLM yazılımının uygulanması için bir ön koşuldur ve en kritik başarı faktörü olarak kabul edilmektedir (Singh ve Misra, 2018b). Bileşenlerin üç boyutlu (3D) görselleştirilmesi ve sanal üretimi için veya çeşitli kurumsal sistemleri entegre etme gibi girişimler için BT alt yapısının yeterli olması gerekmektedir (Saaksvuori ve Immonen, 2008; Singh, Misra ve Chan, 2020).

PLM'i kurumsallaştırmanın temel zorluğu, bilginin genel yayılımının kuruluşu nasıl entegre edileceğidir. BT alt yapısı, tüm verileri herhangi bir formattan çevirecek kadar uyumlu olmalıdır (Grieves, 2006; Singh, Misra ve Chan, 2020). Gerekli veri dönüşümlerinde uyumsuzluk olması, verileri tutarlı bir biçime dönüştürmek için ek çaba gerektirir ve hatalı veri geçişine neden olabilmektedir. Bu risk doğrudan kullanıcı direncine neden olabilir. Kısaca altyapının yetersiz olması, tüm paydaşlar arasındaki bilgi akışını ve kurumsal sistemler arasındaki veri alışverişini engeller ve bu da şirketlerin performansını etkileyecektir. Böyle riskler, mevcut altyapıların uygun zamanda yükseltilmesiyle ortadan kaldırılabilir (Singh, Misra ve Kumar, 2020).

PLM sistemlerini daha iyi kullanmak için teknolojik becerilere ihtiyaç bulunmaktadır. Çoğu üretim şirketinde, PLM yazılımı harici bir satıcıdan satın alınır. Buna karşılık, şirketler dış satıcılara bağımlı kalırlar ve organizasyon içerisindeki teknik becerileri geliştiremezler. Bu bağımlılık, PLM yazılımının uygulanmasını olumsuz yönde etkileyebilmektedir ve özelleştirme ve uygulama süresini artıracak bir risk oluşturmaktadır (Singh, Misra ve Kumar, 2020).

Tüm sistemler arasında birlikte çalışabilirlik ve entegrasyon: Ortak bir platformda iş birliği yapılmaması, PLM'in kavramsallaştırmasını sınırlamaktadır. Kullanıcılar görevlerini tamamlamak için çeşitli uygulamalara ve veritabanlarına başvurmaktadır. Bu nedenle, kullanıcılar yeni kurulan PLM yazılım uygulamasını kullanmak yerine önceki sistemleri kullanmaya devam etmek isteme eğilimindedir. PLM, araçların, kişilerin ve süreçlerin iş birliği ile ilgilidir (Grieves, 2006; Sharma, 2005; Singh ve diğerleri, 2019a). İnsanların ve süreçlerin entegrasyonunu etkileyen araçlar arasında birlikte çalışabilirlik eksikliği ortadan kaldırıldığında ve PLM yazılımının diğer yazılımlarla (örneğin ERP yazılımı ile) entegre edilmesi durumunda iş mükemmelliğinde önemli bir sıçrama durumu söz konusu olacaktır. Wu, Fang, Wang, Yu ve Kao (2014), bu tarz entegrasyonların yanında uçtan uca iş birliği ortamı gerektiren CMII (Konfigürasyon Yönetimi 2) tabanlı mühendislik değişim yönetimi çerçevesini önermişlerdir (Singh, Misra ve Chan 2020).

Bir danışmanlık firması olan Cimdata (2017) tarafından paylaşılan bir raporda; entegrasyon konusuna ve veri aktarımına yeterli önemin verilmemesinin ve bu konuda bilgisizliğin olmasının yüksek dereceli risklere yol açabileceği belirtilmiştir. Sistem entegrasyonunun olmaması, PLM yazılımının sınırlı kullanımının başlıca nedenlerinden

biri olarak kabul edilmektedir (Singh ve Misra 2019; Singh, Misra ve Kumar, 2020). Bu entegrasyon ve birlikte çalışılabilirlik, dahili ve harici olarak değer zinciri boyunca tutarlı ürün bilgisi oluşturmak ve tekrarlanan çabaların azaltılması için gereklidir (Singh ve diğerleri, 2019b).

Birlikte çalışılabilirlik ve veri entegrasyonu, Endüstri 4.0'ın temel ilkeleri olarak kabul edilmektedir (Lu, 2017). Kung ve diğerleri (2015), seçilen PLM yazılımının ERP gibi diğer kurumsal sistemlerle bağlantı ve entegrasyon yetenek kriterlerini karşılaması gerektiğini belirtmiştir. PLM yazılım seçiminde dikkat edilmesi gereken bir kriterdir.

Veri güvenliği- kullanıcı kimlik doğrulaması: PLM yazılımları için temel gereksinimlerden biri de doğru verinin, doğru yere, zamanında ve güvenli olarak aktarılması ihtiyacıdır. Çeşitli iş birliği avantajlarına rağmen, veri güvenliği PLM yazılımı uygulama sürecinde ciddi bir endişe kaynağı olmaya devam etmektedir. Veri erişim hakları, farklı paydaşların gereksinimlerine göre dağıtılmalı ve sınırlandırılmalıdır (Rangan ve diğerleri, 2005; Marchetta ve diğerleri, 2011; Singh, Misra ve Chan, 2020). Bilgi güvenliği, yetkilendirme yönetimi, yedekleme ve kurtarma politikaları gibi bazı faktörlerin PLM yazılım seçim sürecinde detaylı incelenmesi veri güvenliği açısından önemlidir. Savunma sanayii projeleri için oldukça önemlidir.

2.4.2. PLM yazılım uygulamalarında karşılaşılan risk faktörleri

PLM yazılımları şirketler için önemli faydalar sağlama potansiyeline sahiptir. Fakat PLM yazılımının uygulanması sürecinde uygun bir yol izlenmediği durumda çok sayıda risk faktörü bulunmaktadır. İstenen faydaları elde etmek için bu risklerin iyi tanımlanması ve yönetilmesi gerekmektedir (Singh, Misra ve Kumar, 2020).

Singh, Misra ve Kumar (2020), PLM yazılımlarının uygulanması sürecinin risk değerlendirmesi için (risk faktörlerinin karşılıklı bağımlılıklarını, ilişkilerini ve sıralamasını bulmak için) hibrit çok kriterli karar verme yöntemlerinden gri DANP (dematel tabanlı ANP) ve gri TOPSIS yöntemlerini kullanılarak havacılık sektöründeki bir firmada uygulama gerçekleştirmiştir. Çalışmalarında riskleri teknoloji, süreç ve insanla ilgili riskler olarak üç boyutta incelemiştir ve bu boyutlara karşılık olarak belirlenen riskler çizelge 2.5'te gösterilmiştir. Uygulama sonucunda 'teknolojik beceriler', 'teknoloji-süreç

uyumu', 'teknoloji-iş uyumu', 'kaynak tahmini' ve 'veri güvenliği' en önemli beş risk faktörü arasında yer almaktadır. Bu tür risklerle başa çıkmak için bir risk eylem planı yapılmasının ciddi bir ihtiyaç olduğunu belirtmişlerdir (Singh, Misra ve Kumar, 2020).

Çizelge 2.5. PLM yazılım uygulamalarında karşılaşılan risk faktörleri

Boyutlar	Faktörler	PLM yazılım uygulamaları risk faktörlerinin tanımı	Referanslar
İnsanla ilgili riskler	Göz ardı edilen kültürel değişimler	Kültürel değişim ihtiyacını hafife almak	(Graham, 2010; Hung, Hsu, Su ve Huang, 2014; Liu ve Wang, 2014; López ve Salmeron, 2012)
		İşbirlikçi ve iletişim ortamı eksikliği	
		Yönetim desteği eksikliği	
	Kullanıcı kabulü eksikliği	Kullanıcı katılımı eksikliği, kullanıcı direnci	(Hung ve diğerleri, 2014)
		Kullanıcının teknolojiyi ve kullanımını yanlış anlaması	
	Teknolojik becerilerin eksikliği	Kullanıcının öğrenme ve teknik becerileri	(Graham, 2010; Hung ve diğerleri, 2014; Liu ve Wang, 2014; López ve Salmeron, 2012)
		Kullanıcıların ek uygulamalı eğitime ihtiyaç duyması	
Süreçle ilgili riskler	Teknoloji-Süreç uyumu eksikliği	PLM'in süreç gereksinimlerinin uyumsuzluğu	(Graham, 2010)
	Uygun olmayan veri geçişi	CAD, CAM, vb. gibi diğer bilgi sistemlerinden gelen verilerin PLM'e konsolidasyon zorluğunu hafife almak	(Graham, 2010)
	Yetersiz kaynak tahmini	PLM'in tam olarak uygulanması için yetersiz bütçe beklentisi	(Graham, 2010; Hung ve diğerleri, 2014; Sundararajan, Bhasi ve Vijayaraghavan, 2014; Liu ve Wang, 2014; López ve Salmeron, 2012)
		Yazılım tedarikçilerinden / iç yönetim ekibinden zorunlu yöneticilerin eksikliği	
	Teknoloji-İş uyumu eksikliği	Sistem gereksinimleri ve kuruluşun iş stratejisi arasındaki uyumsuzluk	(Sumner, 2000)
	PLM yazılımının uygunsuz seçimi	PLM yazılımının hatalı seçimi	(Singh, Misra ve Kumar, 2020)
Teknoloji ile ilgili riskler	Altyapı eksikliği	Yeterli teknoloji altyapısının olmaması	(Cimdata, 2017)
	Sistem entegrasyonu eksikliği	ERP, CAD, CAM, vb. gibi diğer sistemler arasında entegrasyon eksikliği	(Graham, 2010; López ve Salmeron, 2012)
	Veri biçimlerinde uyumsuzluk	Geçiş sırasında veri biçimindeki değişiklikler	(Singh, Misra ve Kumar, 2020)
	Veri güvenliği tehdidi	Ürünle ilgili verilerin yanlış kullanımı	(Singh, Misra ve Kumar, 2020)
		Ürün tasarımlarında / süreçlerinde yetkisiz değişiklikler	

2.4.3. PLM yazılım uygulamalarının başarısızlık nedenleri

Arthur D. Little Global isimli yönetim danışmanlık şirketinin yaptığı araştırmalarda, PLM yatırımlarının %70'inin yönetimin beklentilerini karşılamadığı sonucuna ulaşılmıştır (Johansson, Kazemahvazi, Henriksson ve Johnsson, 2013). İşletmeler bu başarısız uygulamaların nedenlerini araştırmalı ve bilinen hatalardan kaçınıp yeterli önlemleri almalıdırlar. Böylece PLM uygulamalarının başarı şansını artırabilirler. Siddiqui ve diğerleri'nin (2004) yaptığı bir anket sonucunda PLM uygulamalarının başarısının önündeki en önemli üç engelin kullanıcıların ve üst yönetimin katılım eksikliği ve yazılımın gerektirdiği değişikliklere uyum sağlamanın zorluğu olarak tespit etmişlerdir.

Singh ve diğerleri (2019a), PLM yazılımının uygulanması sürecinde başarıyı engelleyen faktörleri değerlendirmek için yaptıkları çalışmada çok kriterli karar verme yöntemlerinden gri Dematel yöntemini kullanmıştır. Uygulama sonucunda yine en önemli 3 engeli sırasıyla: 'BT altyapısı', 'birlikte çalışabilirlik ve entegrasyon eksikliği' ve 'PLM yazılımı hakkında farkındalık ve eğitim eksikliği' olarak tespit etmişlerdir.

Singh ve Misra (2019) çalışmalarında PLM'in kurumsallaşmasının önündeki dokuz engeli araştırmışlardır ve çizelge 2.6'da belirtilen bu engellerden en temel dört engeli Dematel yöntemi ile tespit etmişlerdir. Bu engeller sırasıyla: 'PLM yazılımı hakkında farkındalık ve eğitim eksikliği', 'PLM yazılımlarının gerektirdiği yüksek yatırım', 'karmaşık lisanslama politikaları' ve 'PLM yazılım geliştiricilerinin teknik bilgi eksikliği'dir.

Çizelge 2.6. PLM yazılım uygulamalarının başarısızlık nedenleri

Başarısızlık Nedenleri	Tanım	Referanslar
Gelişmiş BT altyapısının eksikliği	BT altyapısı, PLM yazılımlarının uygulanması için önemli bir gerekliliktir.	(Brown, 2016; Ronzulli, Garetti ve Terzi, 2006; Silcher, Minguez, Scheibler ve Mitschang, 2010; Singh ve diğerleri, 2019a)
Birlikte çalışabilirlik ve entegrasyon eksikliği	ERP gibi diğer kurumsal sistemler arasında birlikte çalışabilirliğin olmaması.	(Gopsill, McAlpine ve Hicks, 2011; Singh ve diğerleri, 2019a)
PLM yazılımı hakkında farkındalık ve eğitim eksikliği	PLM yazılımı ile ilgili gerekli eğitimler ile farkındalık sağlanmalıdır.	(Tomovic ve diğerleri, 2010; Singh ve diğerleri, 2019a)
Benzer ya da aynı çabanın birden fazla sayıda tekrarlanması	Tasarım, üretim ve finansal çalışmalar için ayrı ayrı birden fazla sistem üzerinde tekrarlanan çalışmaların artması.	(Singh ve diğerleri, 2019a)

Çizelge 2.6. (devam) PLM yazılım uygulamalarının başarısızlık nedenleri

Başarısızlık Nedenleri	Tanım	Referanslar
Değişime karşı direnç	Uygulama öncesindeki yazılımları kullanmaya devam etme isteği ve değiştirmeye karşı direnç.	(Kung ve diğerleri, 2015; Singh ve diğerleri, 2019a)
PLM yazılımlarının yüksek yatırım gerektirmesi	PLM yazılımlarında çeşitli modüllerin kurulumunun yüksek maliyetli olması.	(Wildeman, 2009; Batchelor ve Andersen, 2012)
Karmaşık lisanslama politikaları	Karmaşık lisanslama politikaları, kullanıcılara sınırlı sayıda lisans sağlanması dolaylı olarak PLM kullanımını sınırlar.	(Brown, 2016; Jun ve diğerleri, 2007; Singh ve diğerleri, 2019a)
Ortak platformda iş birliği yapılmaması	Diğer sistemlerle olan iş birliği eksikliği, diğer paydaşlarla bilgi alışverişini zorlaştırır.	(Corallo ve diğerleri, 2013; Saaksvuori ve Immonen, 2008; Singh ve diğerleri, 2019a)
PLM yazılım geliştiricilerinin teknik bilgi eksikliği	PLM yazılımında teknik uzmanlık eksikliği, geliştiricilerin dışındaki sistemlere bağımlılık yaratır.	(Kung ve diğerleri, 2015; Singh ve diğerleri, 2019a)

İş yöneticileri ve bilgi teknolojileri uzmanları, iş süreçlerini ve bilgi sistemlerini kökten değiştirecek yeni bir PLM uygulamasına hazırlanmak için ihtiyaç duyulan planlama, geliştirme ve eğitim karmaşıklığını hafife alabilmektedirler. Etkilenen çalışanları süreç geliştirme planlama aşamalarına ve değişim yönetimi programlarına zamanında dahil etmemek veya dönüştürme sürecinde uygulamaları çok hızlı devreye almaya çalışmak başarısız PLM projelerinin tipik nedenlerindendir. PLM yazılımının gerektirdiği yeni iş görevlerinde yetersiz eğitim, yetersiz veri dönüştürme ve test faaliyetlerinin yeterli biçimde yapılmaması diğer başarısızlık nedenlerindendir. Bunların dışında PLM başarısızlıkları, şirketin veya BT yönetiminin PLM yazılım satıcılarına veya uygulamayı yönetmek için anlaşma yapılan prestijli danışmanlık firmalarının yardımına olan aşırı güvenden kaynaklanmaktadır (Chuang, 2009).

2.4.4. PLM yazılımını uygulama süreci

PLM'in şirkete büyük değerler getireceği bilinmesine rağmen, dönüşüm büyüklüğü nedeniyle kontrollü ve uygun bir PLM yazılımının uygulaması pratikte çok zor olabilmektedir (Batenburg, Helms ve Versendaal, 2006; Kärkkäinen ve diğerleri, 2012). Genellikle şirketler PLM uygulama projelerinin kapsamının ve etkilerinin büyüklüğünü, dağınıklığını ve dolayısıyla yönetiminin ne kadar zor olacağını tahmin edememektedir. Bunun nedeni, PLM'in ne olduğu ve şirketlerin ürün yönetimi açısından ihtiyaç ve

gereksinimlerine nasıl uyarlanabileceği konusunda net bir anlayış eksikliğinden kaynaklanmaktadır. Bu bağlamda, bir şirketin tam bir PLM uygulamasından ne kadar uzakta olduğunu değerlendirmek önemlidir (Silventoinen, Pels ve Lampela, 2011).

Bokinge ve Malmqvist (2012), PLM uygulama kılavuzları ile ilgili yaptıkları literatür araştırmalarında derin bir inceleme yapmışlardır. Bunu çizelge 2.7’de gösterildiği gibi dört kategoride (proje süreci, hedefler, sistem ve süreç tasarımı, organizasyon) ve yirmi alt başlık altında özetlemişlerdir (Bokinge ve Malmqvist, 2012).

Çizelge 2.7. PLM uygulama kılavuzlarının özeti (Bokinge ve Malmqvist, 2012)

Kılavuz kategorisi	Kılavuz
Proje Süreci	Projeyi alt projelere bölün.
	Bir pilot proje gerçekleştirin.
	Yazılım seçiminden önce ön çalışma yapın.
	Dikkatlice planlayın.
	Proje sürecini takip edin ve kontrol edin.
	İş tanımı değiştiğinde planı değiştirmeye hazır olun.
Hedefler	Tüm paydaşlar için faydaları tanımlayın.
	Optimize etmek yerine tatmin etmeyi hedefleyin.
	Aynı çözümü tüm organizasyon üzerinde zorlamayın.
	Değişimin büyüklüğünü dikkatlice tahmin edin.
Sistem ve Süreç Tasarımı	Tutarlı bir PLM mimarisi oluşturun.
	PLM projeleri öncesinde veya bunlarla eşzamanlı olarak süreçleri iyileştirin.
	Süreçleri sistem yetenekleriyle uyumlulaştırın.
	Sadece denenmiş yazılım sürümlerini kullanıma sunun.
	Özelleştirmeyi en aza indirin.
Organizasyon	Yönetim desteğini sağlayın.
	Tüm bölümlerden ve disiplinlerden kullanıcıları dahil edin.
	Proje katılımcılarını yetkilendirin.
	Üçüncü tarafların uzmanlığını kullanın.
	Sistem kullanıcılarını eğitin.

Bokinge ve Malmqvist (2012) PLM uygulama süreciyle ilgili yaptıkları araştırmalar sonucunda yazılımı kurmadan önce yapılan çalışmanın çok değerli olduğu sonucuna

PPA yaklaşımı dört aşamada yapılandırılmıştır (Bitzer ve diğerleri, 2008):

Faz 1 – Süreç Analizi: Kurumsal PLM yazılımını uygulamadan önce, şirkette ürün yaşam döngüsü aşamalarında kullanılan mevcut yazılımları ve süreçleri incelemek gerekmektedir (Myung, 2008). ‘Konfigürasyon yönetimi’, ‘yayınlama yönetimi’ gibi tipik PLM işlevlerinin sınıflandırılarak mevcut durumun (as-is) belirlenmesi ve belgelenmesi gerekmektedir (Bitzer ve diğerleri, 2008).

Faz 2 – Süreç gereksinimlerinin önceliklendirilmesi: Faz 1’de analiz edilen süreçlerin karmaşıklığına bağlı olarak, ortaya çıkan gereksinimlerin sayısı çok yüksek olabilmektedir. Bu nedenle, gereksinimleri önceliklendirmek gerekmektedir. Bu süreci desteklemek için ekonomik ve etki analizi olmak üzere iki kriter boyutu belirlenmiştir. Bir gereksinimin ekonomik kalitesi, bir PLM yazılımının ihtiyaç duyduğu özel gereksinimi gerçekleştirmek için gerekli olan maliyetleri tanımlamaktadır. Etki kalitesi ise gereksinimlerin kendi aralarındaki ilişkiyi ifade etmektedir. Bu yöntemle, birbirleri üzerinde olumlu etkiye sahip olan gereksinimler bulunabilir ve PLM uygulama sürecini etkili ve verimli bir şekilde desteklemek için kullanılabilirler. Ekonomik ve etki analizinin sonuçlarına dayanarak, süreç gereksinimi portföyü bu aşamanın çıktısı olarak oluşturulmaktadır (Bitzer ve diğerleri, 2008).

Faz 3 – Mimari analiz: Gereksinim portföyü temelinde ‘olması gereken süreçler’ (to-be) geliştirilmeli ve optimize edilmiş tüm süreçlerin belgelenmesi gerekmektedir. Önceki aşamalarda elde edilen tüm bilgileri bir mimariye aktarmak için şekil 2.28’de gösterilen ‘PLM matrisi’ yöntemi kullanılmaktadır (Bitzer ve diğerleri, 2008). PLM matrisi, olası PLM çözümlerini bulmak için hiyerarşik bir mimari (model) ile ilgili bilgileri haritalamak için kullanılan pragmatik bir yöntemdir (Bitzer ve diğerleri, 2008).

İlk aşamada, ilgili tüm süreç gereksinimleri matriste satır satır listelenir. Tipik PLM ile ilgili işlevler (değişiklik yönetimi, yayın yönetimi gibi) sütun olarak listelenir ve matrise işlenir. PLM matrisini tamamlamak için, tipik PLM katmanları (CAx, PLM ve ERP gibi) işlevsellik çizgisinin üstünde listelenir. Bir sonraki adım, PLM matrisini doldurmak ve bilgileri belirli PLM mimarilerine aktarmak için bu yöntemi kullanmaktır. İlk olarak, satır satır, tüm gereksinimler PLM ortamında gerçekleştirilmesi gereken işlevlere atanır. Ayrıca, her işlev, işlevin gelecekte bulunması gereken bir PLM katmanına eşleştirilir. Haritalama

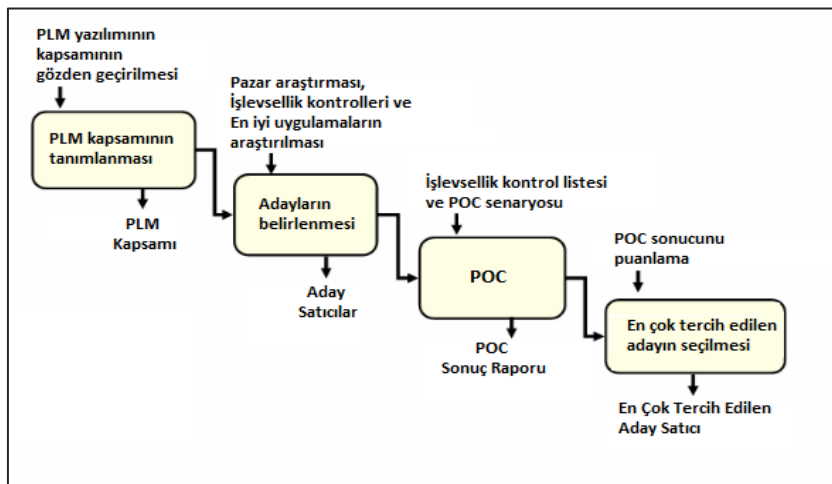
süreci, PLM uzmanları dahil olmak üzere, mümkünse tüm PLM proje ekibi tarafından uzlaşma yolu ile yapılması gereken bir süreçtir (Bitzer ve diğerleri, 2008).

			X	PLM-Katman 1
		X		PLM-Katman 2
	X			...
	PLM-İşlevi 1	PLM-İşlevi 2	...	
PLM-Gereksinim 1	X			
PLM-Gereksinim 2	X			
PLM-Gereksinim 3		X		
PLM-Gereksinim 4			X	
...			X	

Şekil 2.28. PLM matrisi (Bitzer ve diğerleri, 2008)

Faz 4 – Satıcı analizi: Önceki aşamada geliştirilen süreç odaklı mimarilere dayanarak, satıcı analizi aşamasında, çizilmiş PLM mimarisine uyan ilgili satıcıların mevcut PLM araçları ve sistemleri araştırılmaktadır (Bitzer ve diğerleri, 2008).

Myung (2008) kurumsal PLM yazılımının kapsamını tanımladıktan sonra, her bir işlev için aday PLM çözüm satıcılarının incelenmesi gerektiğini belirtmiş ve şekil 2.29’da gösterilen PLM yazılım sağlayıcısı seçim prosedürünü önermiştir.



Şekil 2.29. PLM yazılımı sağlayıcısı seçim prosedürü (Myung, 2008)

Eastham ve diğerleri (2014) ve Myung (2008) sayıca çok olan potansiyel alteratifler arasında ön değerlendirme ve eleme yapmak için 2 adım önermiştir (Myung, 2008; Eastham ve diğerleri, 2013):

1. Diğer şirketlerin PLM uygulamalarının incelenmesi: Sektörler ve gereksinimlere göre bazı farklılıklar olsa da diğer şirketlerin PLM uygulamalarının incelenmesi çok önemlidir. İşletmenin PLM kapsamına odaklanarak oluşturduğu kontrol listelerine göre (check-list) gittikleri şirketlerde kullanılan PLM yazılımlarının uygulanma durumlarının incelenmesi ve bu şirketlerden uygulama tavsiyelerinin alınması önerilmektedir (Myung, 2008; Eastham ve diğerleri, 2013).
2. PLM sağlayıcılarının ve çözümlerinin kıyaslanması: Seminer, eğitim, araştırma şirketlerinin raporları, kataloglar, referans sitelerin ziyareti gibi yollarla bu yapılabilir (Myung, 2008). Endüstri deneyimine ve hedef şirket büyüklüğüne göre seçenekler sıralanır (Eastham ve diğerleri, 2013).

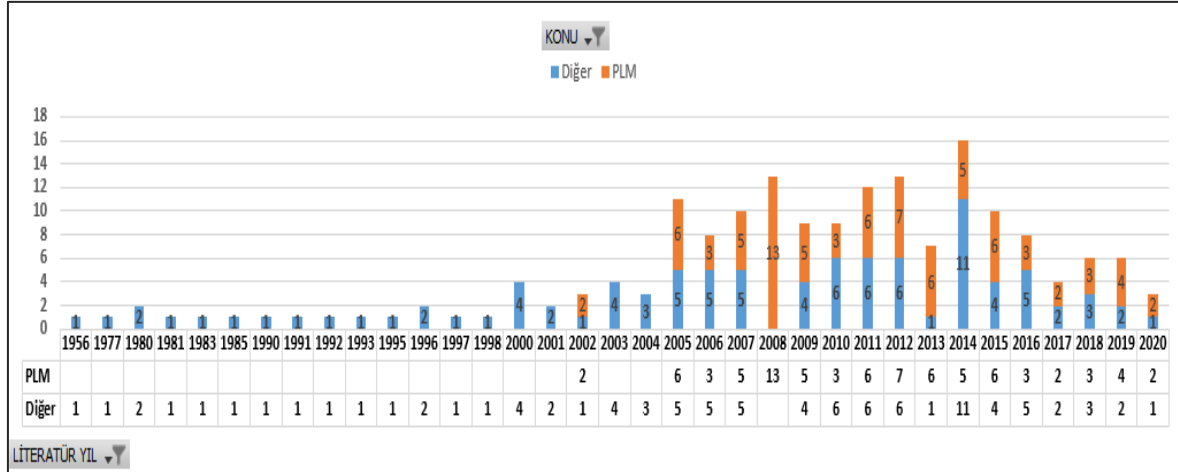
Aday sayısı azaltıldıktan sonra seçim süreci için PLM uygulaması tamamlanan referans projelerin ziyaret edilmesi, demo gösterim, uygulama (workshop) ve POC (kavram kanıtı) çalışması yapılır. POC (kavram kanıtı) satış öncesi yazılım sağlayıcısı tarafından önerilen sistemin şirket lokasyonunda bir tür demo ortamının oluşturulduktan sonra denenmesinin sağlanmasıdır.

POC (kavram kanıtı) için gereken teklif talebi (RFP) yapılır. RFP, PLM kapsamını karşılayan teklif, POC senaryoları ve işlev listesi için bir kılavuz sağlar. İki tür POC kriteri vardır; biri işlevlerin kanıtı, diğeri ise uygulamanın kanıtıdır. Satıcı adayları, her bir işlevi yerine getirmek için çözümünü açıklamalı ve POC senaryolarına göre PLM yazılımının nasıl uygulanacağını göstermelidir. Teklif, teklife genel bakış, PLM çözüm tanıtımı, sistem gereksinimleri, POC sonuçları, uygulama planı, proje ve çözüm maliyeti ve bazı önerileri içerir. Tekliflerin değerlendirilmesi ile yazılım alternatifleri netleştirilmiş olur (Myung, 2008).

3. PLM YAZILIM SEÇİMİ KAPSAMINDA YAPILAN LİTERATÜR ANALİZİ

Buraya kadar olan bölümde PLM kavramının ve yazılımının ne olduğu, nasıl geliştiği, faydaları, temel uygulamaları ve uygulanma sürecini etkileyen faktörler ile ilgili bilgilere yer verildi. Bu bölümde ise şirketler için uygun PLM yazılımını seçmek için literatürdeki yazılım seçim kriterleri ve yazılım seçiminde kullanılan çok ölçütlü karar verme yöntemlerine yer verilecektir. Literatürde PLM alanındaki çalışmalar diğer yazılımlarla ilgili yapılan çalışmalara göre nispeten yenidir. Son yıllarda PLM konusuyla ilgili araştırmaların sayısı ve kalitesinde kayda değer bir ilerleme olmaya başlamıştır.

Literatür araştırması için incelemeler gerçekleştirilirken Gazi Üniversitesi Elektronik Kütüphanesi, Google Scholar, ScienceDirect, Scopus, Elsevier, IEEEExplore veri tabanları kullanılmıştır. Literatür taraması sürecinde; “Product Lifecycle Management”, “PLM Software Selection”, “Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi”, “Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi Yazılım Seçimi”, “Multiple-Criteria Decision-Making”, “Çok kriterli karar verme”, “ANP”, “TOPSIS” gibi anahtar ifadeler ve varyasyonları kullanılmıştır. Bu çalışmalar arasından çalışma konumuz ile ilgili olanları detaylı incelenmiştir. Çalışmada yapılan literatür araştırmasında kitaplar, makaleler, ulusal ve uluslararası standartlar, konferans bildirileri ve teknik raporlar yer almaktadır. Bu kapsamda incelenen 177 çalışmadan 81’i PLM alanında yapılan çalışmalardır. PLM alanında ve diğer alanlarda incelenen çalışmaların yıllara göre dağılımı şekil 3.1’de verilmiştir. Literatürde PLM yazılım seçimi sürecinde çok kriterli karar verme yöntemlerinden yararlanan çalışmalar araştırıldığında toplam 4 makale elde edilmiştir.



Şekil 3.1. Tez kapsamında incelenen çalışmaların yıllara göre dağılımı

Literatürde yazılım seçim problemleri için; puanlama, sıralama, matematiksel optimizasyon ve çok kriterli karar verme yöntemleri gibi yöntemler uygulanmaktadır (Wei, Chien ve Wang, 2005). Yazılım seçimleri genellikle zaman ve maliyet baskısı altında yapılmaktadır. Karar vericiler bu konuda yeterli bilgi ya da tecrübeye sahip olmadığında karar vermekte zorlanırlar ya da hızlı karar alarak hatalı seçimler yapabilmektedirler.

Dünyada PLM sağlayıcıları rekabet edebilmek için teknolojinin gelişmesi ile çözümlerini gün geçtikçe geliştirmektedir. Sektöre göre, şirket büyüklüğüne ve özel gereksinimlere göre farklı çözümler sunmaktadırlar. Fakat ne yazık ki ciddi yatırım gerektiren bu çözümlerin sadece satın alınması ile süreç bitmemektedir. Bu çözümlerin şirkette kullanılan sistemlerin entegrasyonu ile desteklenmesi gerekmektedir. Maalesef şirketlerin tam olarak istediği kapsamı hedefleyen hiçbir çözüm bulunmamaktadır ve bu nedenle şirketler süreçlerine en uygun PLM yazılımını seçmenin yollarını aramaktadırlar (Myung, 2008). Uygun olmayan bir PLM yazılım seçimi, geri dönülemez sonuçlara neden olabileceğinden seçim sürecinin sistematik yollar ile yapılması gerekmektedir.

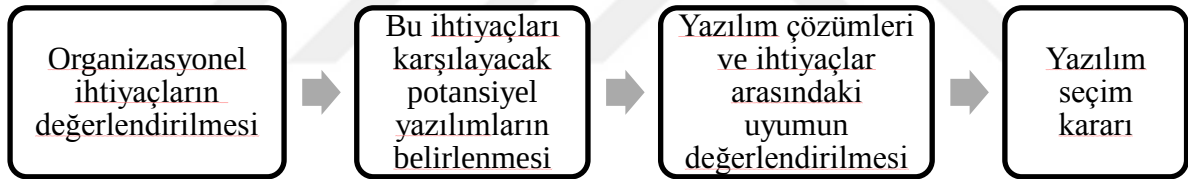
Eastham ve diğerleri (2014) proje yönetimi bilgi birikimine (pmbok) göre dokuz bilgi alanını (entegrasyon, kapsam, zaman, maliyet, kalite, insan kaynakları, iletişim, risk, tedarik) kullanan PLM yazılım seçimi için bir metodoloji sunmaktadır. Şekil 3.2’de süreç ve metodoloji aşamaları özetlenmiştir (Eastham ve diğerleri, 2013).



Şekil 3.2. PLM yazılım seçimi süreci ve metodolojisi (Eastham ve diğerleri, 2013)

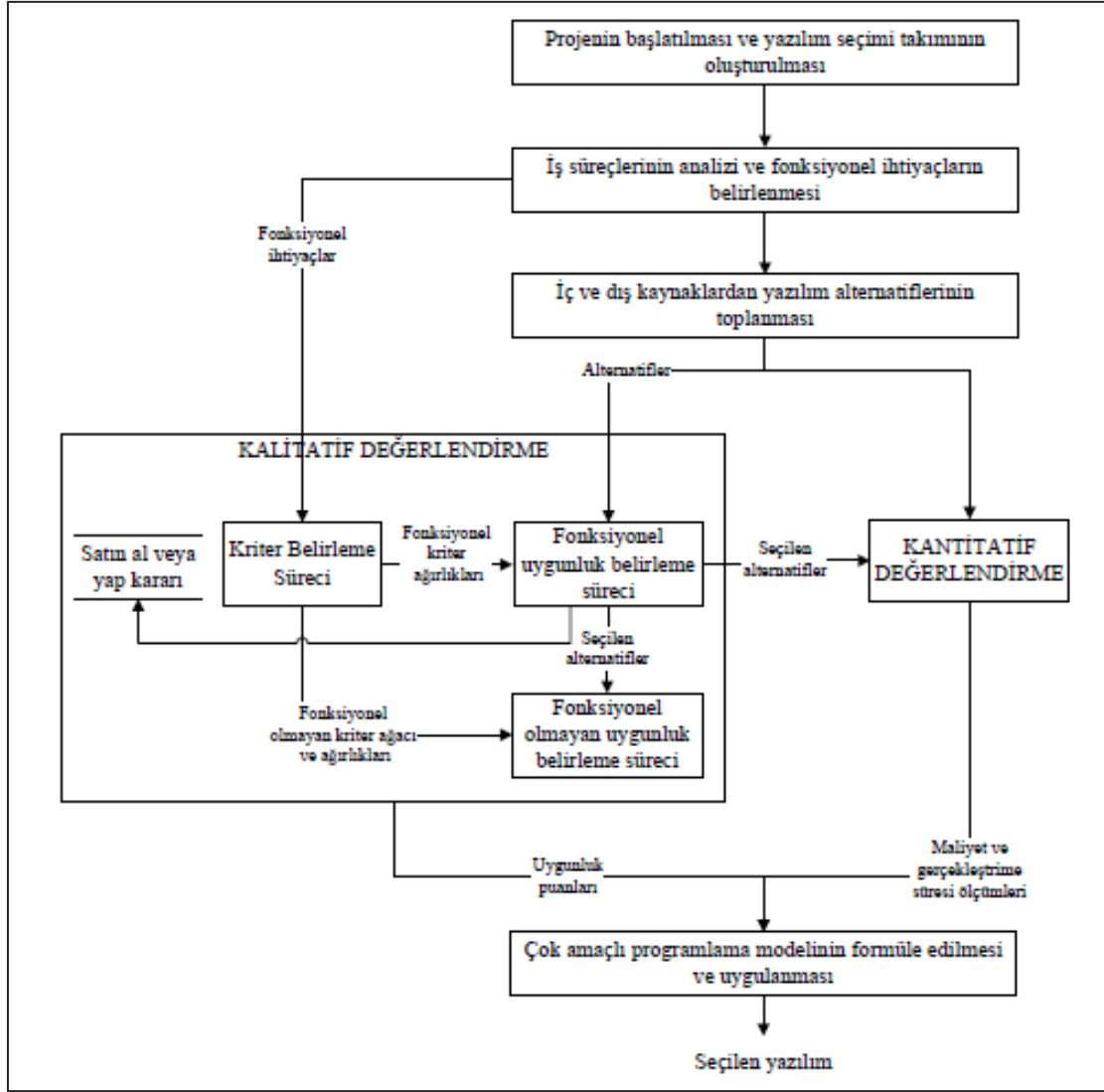
PLM süreç gereksinimlerini karşılayabilecek “2.4.5. Yazılım seçim öncesi yapılması önerilen ön çalışma” bölümünde belirtilen aşamalardan geçen potansiyel yazılımlar belirlendikten sonra ihtiyaçların ve yazılım çözümlerinin özellikleri arasındaki uyum değerlendirilerek satın alma kararı verilir.

Keil ve Tiwana (2006) şekil 3.3’te gösterilen genel bir süreç çerçevesi önermiştir:



Şekil 3.3. Yazılımı seçimi genel süreç çerçevesi (Keil ve Tiwana, 2006)

Şen (2007) kurumsal yazılım seçimi için şekil 3.4’te belirtilen adımlardan oluşan bir model önermiştir. Bu modele göre kurumsal yazılım seçimi kalitatif (fonksiyonel ve fonksiyonel olmayan özellikler) ve kantitatif değerlendirme (sahip olma maliyeti ve uygulama süresi) olarak iki boyutta değerlendirilmektedir ve çok amaçlı matematiksel programlama yöntemi ile son seçim kararı verilmektedir (Şen, 2007).



Şekil 3.4. Kurumsal yazılım seçimi modeli (Şen, 2007)

Her şirket için uygulanabilir bir seçim metodolojisi bulunmamaktadır. Çünkü yazılımın seçimi bütçeye, zamana ve hedeflere bağlı olarak farklı karar verme süreci içerebilmektedir. Örneğin büyük bir firma için maliyet ikinci planda iken küçük ve orta büyüklükteki firmalar için maliyet öncelikli bir faktör olabilmektedir. Bu yüzden seçim süreci çok yönlü bir değerlendirme sürecini kapsamaktadır. Literatürde tanımlanan referans seçim metodolojilerinden yararlanarak şirkete özel bir seçim metodolojisi oluşturmak gerekmektedir. Seçim metodolojisi oluşturabilmek için aşağıda bazı değerlendirilmesi gereken faktörler özetlenmiştir.

- Strateji hedeflerine ve iş süreçlerine uygunluk: Bir şirketin ihtiyaç duyduğu PLM yazılım çözümleri, şirket büyüklüğü, şirketin ürün yelpazesi, strateji hedefleri ve

sektörü dahil olmak üzere bir dizi faktöre bağılı olarak değişebilir. Başarılı bir PLM uygulaması için bu gereksinimlerin geleceğe yönelik olarak doğru bir şekilde tanımlanması ve değerlendirilmesi önemlidir (Kumar ve Midha, 2001).

- Uygulama ve destek planlarının/ hizmetlerinin değerlendirilmesi: PLM yazılımının kurulup uygulanması ve işletilmesi en az yazılım seçimi kadar zor bir süreçtir. Uygulama planı, bakım planı, sürüm güncelleme kolaylığı, uygulama süresi, servis/ teknik destek/ eğitim planı gibi pek çok faktörün tanımlanması ve değerlendirilmesi gerekmektedir.
- Yazılım işlevselliğinin değerlendirilmesi: Seçilecek yazılımın hem teknoloji hem de altyapı olarak şirketin mevcut ve gelecekte ortaya çıkabilecek gereksinimlerini karşılaması gerekmektedir. Seçilen yazılım şirketin süreçleri ile uyumlu değilse, kullanıcıların ilgisini kazanmak çok zor olacaktır. Bu, kullanıcı kabulüne ve şirketlerde PLM yazılımlarının başarılı bir şekilde uygulanmasına zarar verir (Singh ve Misra, 2018b).
- Yazılımın teknik altyapısının değerlendirilmesi: Yazılım mimarisi ve entegrasyon yapısı, yazılım olgunluğu, performans verimliliği, veri dönüştürme kabiliyeti, mevcut işletim sistemi, donanım ve veritabanlarıyla uyumluluğu, çoklu dil desteği gibi pek çok faktörün değerlendirilmesi gerekmektedir.
- PLM'in yatırım getirisi (ROI): PLM yazılımları büyük faydalar sağlamasına rağmen çok yüksek oranda bilgisayar kaynakları tüketen ve kullanılacak araçların lisans türlerine göre çok pahalı olan yazılımlardır. İlk yatırım maliyetleri, sunucu yatırımı, yazılımı işletmek için gerekli uzman personel maliyeti, eğitim maliyeti, lisanslama maliyetleri, uyarlama maliyetleri gibi pek çok maliyet kalemleri vardır. Firmalar büyüdükçe, bu maliyetler paralel olarak artmaktadır. Bu nedenle, PLM sağlayıcıları, küçük işletmeleri bu sıkıntılardan kurtarmak için bulut sistemleri geliştirdiler (Varhan, 2020). Literatürde bahsedilen maliyetlere rağmen bu yazılımların sağlıklı bir şekilde işletildiğinde uzun vadede çok yüksek karlılık oranları getirdiğine yönelik çok fazla çalışma mevcuttur.

PLM yazılımının seçim süreci, seçim sonucunun başarılı ya da başarısız olmasının bir organizasyonda uzun süreli etkileri olacağından önemli bir süreçtir. Vengugopalan ve diğerleri (2008) alışmalarında PLM uygulamasının başarılı olabilmesi için organizasyon kültürüne ve süreçlerine uyan PLM yazılımını seçmek gerektiğini belirtmişlerdir.

Fikir aşamasından ürünün elden çıkarılma aşamasına kadar uzanan uzun ve kompleks süreçleri yönetmek ve izleyebilmek için çok iyi bir teknik altyapıya sahip, şirketin ihtiyaçlarını karşılayan ve gerektiğinde şirket ihtiyaçlarına göre uyarlanabilir, şirket içi ve şirket dışı tüm kullanıcıların eşzamanlı çalışmalar yapmasına izin verecek kadar güvenilir, performansı yüksek, esnek ve entegrasyon altyapısı iyi PLM yazılımlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

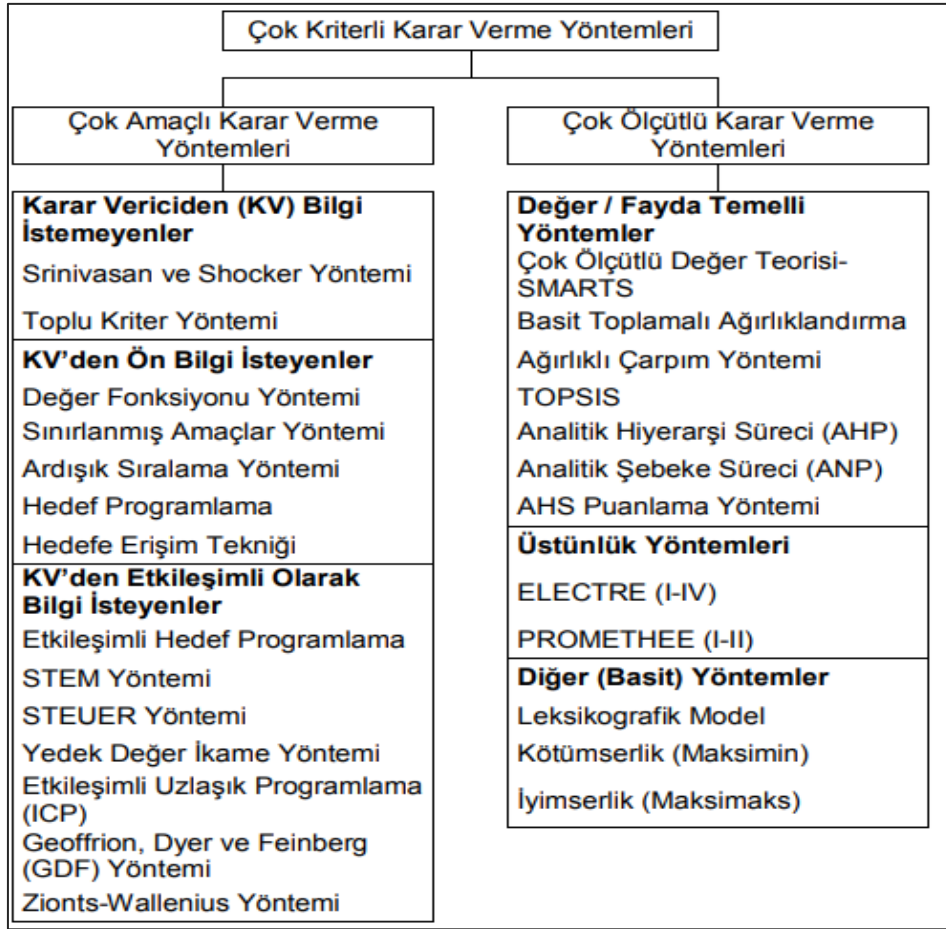
Yazılım seçimi probleminin araştırılması, farklı alanlarda birçok çalışmaya konu olmuştur. Bu çalışmalarda sıralama, puanlama, ÇKKV ve matematiksel optimizasyon yöntemi gibi pek çok yöntem uygulanmaktadır.

3.1. Yazılım Seçim Problemlerinde Kullanılan ÇKKV Yöntemleri

ÇKKV birbiriyle çelişen birden fazla kriter, amaç veya hedef içeren karar verme problemlerinin çözümü için kullanılan karar analizi araçlarından biri olup, bu araçların ve metodolojilerinin geliştirilmesini ve uygulanmasını içeren bir yöntemdir.

Çok kriterli karar verme yöntemleri çok amaçlı karar verme (ÇAKV) ve çok ölçütlü karar verme (ÇÖKV) yöntemleri olarak 2 kategoriye ayrılmaktadır ve bu yöntemler alternatif sayısına (sonlu-sonsuz) göre şekil 3.5'te gösterilmiştir (Ersöz ve Kabak, 2010).

Karar verme sürecinde bilgilerde belirsizlik veya öznellik söz konusu olduğunda bulanık mantık devreye girmektedir ve literatürde bulanık ÇKKV yöntemleri kullanan çalışmalar bulunmaktadır.



Şekil 3.5. ÇKKV yöntemlerinin sınıflandırılması (Ersöz ve Kabak, 2010)

Çalışmamızda sonlu sayıda alternatif söz olduğu için ÇAKV yöntemleri hariç tutularak ÇÖKV yöntemlerini içeren çalışmalar incelenmiştir.

İşletmelerin ihtiyacını karşılayacak uygun bir PLM yazılımının seçimi; piyasada bulunan PLM yazılım alternatiflerinin çok olması, alternatifleri değerlendirmek için bir standardın olmaması, karar vericilerin yeterli bilgi ve tecrübesinin olmaması, yazılımların sunduğu çözümlerin birbirine yakın olması gibi pek çok zorluk içermektedir. PLM yazılım seçimi, bu zorluklara ilaveten seçim sürecinde ele alınması gereken birbiriyle çelişen çok sayıda kriterin bulunması ve çok sayıda karar vericinin yer alması sebebiyle sistematik bir yaklaşımla ele alınması gereken çok ölçütlü karar verme problemidir. Bu problem çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile kolaylıkla çözümlenmektedir.

Literatürde PLM yazılım seçim problemleri konusunda yapılan çalışmalar diğer kurumsal yazılımlarla ilgili yapılan çalışmalara göre nispeten daha azdır. Bu yüzden kapsamın daha geniş olması adına literatürde yer alan çok ölçütlü karar verme (ÇÖKV) yöntemlerinin

kullanıldığı yazılım seçim ve değerlendirme ile ilgili çalışmalar incelenmiştir. Yazılım seçimi konusunda farklı alanlarda uygulamalar mevcuttur. Araştırma yapılırken PLM fonksiyonlarına yakın yazılımlarla ilgili (CIM, PDP, PDM, CAD/CAM, simülasyon gibi) çalışmalar tercih edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmalar çizelge 3.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Literatürde yazılım seçimi problemlerinde kullanılan ÇKKV teknikleri

Yazarlar	Yıl	ÇKKV Tekniği	Karar Verme Problemi
Bozdağ ve diğerleri	2003	FAHP	CIM yazılım seçimi
Mulebeke ve Zheng	2006	ANP	PDP yazılımı seçimi
Ahmad ve Laplante	2006	AHP	Yazılım proje yönetimi yazılımı seçimi
Vengugopalan ve diğerleri	2008	AHP	PLM yazılımı seçimi
Ayağ	2010	FAHP	CAD yazılımı seçimi
Zakria, Guan, Riaz, Jahanzaib ve Khan	2010	AHP	CAD/CAM yazılımı seçimi
Azadeh ve diğerleri	2010	FAHP	Simülasyon yazılımı seçimi
Durán	2011	FAHP	CMMS yazılımı seçimi
Rouyendegh ve Erkan	2011	AHP	ERP yazılımı seçimi
Wieszala ve diğerleri	2011	ANP	ERP yazılımı seçimi
Görener	2011	ANP, VIKOR	ERP yazılımı seçimi
Gürbüz, Alptekin ve Işıklar Alptekin	2012	ANP, Choquet Integrali, Macbeth	ERP yazılımı seçimi
Eastham ve diğerleri	2013	AHP	PLM yazılımı seçimi
Perçin ve Gök	2013	ANP, TOPSIS	ERP yazılımı seçimi
Zhang ve diğerleri	2014a	FAHP, FVIKOR	PLM yazılımı seçimi
Ayağ	2014	FAHP	CAM yazılımı seçimi
Rouhani ve Ravasan	2014	FTOPSIS	ITSM yazılımı seçimi
Ergu ve Peng	2014	ANP	SaaS CRM yazılımı seçimi
Ayağ	2015	FAHP	CAD yazılımı seçimi
Minetola, Iuliano ve Calignano	2015	FAHP	CAI yazılımı seçimi
Sanga ve Venter	2015	FAHP	Açık kaynak yazılım seçimi
Efe	2016	FAHP, FTOPSIS	ERP yazılımı seçimi
Hanine ve diğerleri	2016	AHP, TOPSIS	ETL yazılımı seçimi
Eren ve Gür	2017	ANP, TOPSIS	CRM yazılımı seçimi
Puzovic ve diğerleri	2019	FAHP, PROMETHEE	PLM yazılımı seçimi
Samanlioglu ve Ayağ	2019	FAHP, FVIKOR	Simülasyon yazılımı seçimi
Piengang, Beauregard ve Kenné	2019	FAHP, FVIKOR	APS yazılımı seçimi
Ayağ	2020	FAHP	CAM yazılımı seçimi

Literatürde çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanan farklı alanlarda birçok çalışma bulunmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada PLM yazılımı seçimi ya da buna yakın yazılımların seçimi konusunda ÇKKV yöntemlerini kullanan bazı çalışmalar özetlenecektir.

Vengugopalan ve diğerleri (2008) çalışmalarında PLM yazılımlarının seçimini ERP, CRM, SCM gibi diğer kurumsal yazılımlarının seçim sürecinden farklı olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında tüm gereksinimleri karşılayan tek bir PLM yazılım sağlayıcısının olmadığından dolayı çoğu yazılımın belirli bir gereksinim seti için doğru çözüm olabileceğinden bahsetmişlerdir. Çalışmalarında PLM yazılımı seçimi için “2.3.4. PLM yazılımının temel uygulamaları” bölümünde bahsedilen ‘TIFO’ çerçevesi kapsamında 4 ana kriter ve 39 alt kriterden bahsetmişlerdir. Havacılık endüstrisindeki bir şirkette 5 kriter kullanarak sanal ürün geliştirme ve yönetimi (VPDM) araç seçiminde 3 farklı alternatifi değerlendirmek için AHP yöntemini uygulamışlardır (Vengugopalan ve diğerleri, 2008).

Eastham ve diğerleri (2013), PLM yazılım seçim sürecini proje yönetimi perspektifinden ele almışlardır. Çalışmalarında AHP yöntemine dayanan bir karar metodolojisi önermiş ve modeli doğrulamak için çeşitli endüstrilerde (yarı iletken, otomotiv ve bilgi teknolojileri) uygulamalar yapmışlardır. Yaptıkları uygulamalarda 9 kriter kullanarak 22 alternatifi AHP yöntemi ile değerlendirmişlerdir.

Zhang ve diğerleri (2014a), PLM olgunluk modellerinin analizi ve PLM yazılım seçimi için bulanık hibrit bir AHP-VIKOR yöntemini kullanarak bir firmada uygulama yapmışlardır. Uygulamalarında 5 kriter kullanarak 3 alternatifi değerlendirmişlerdir.

Puzovic ve diğerleri (2019), tıbbi cihazlar, elektronik, perakende, endüstriyel üretim ve otomotiv gibi çeşitli endüstrilerden akademi, mühendislik ve bilgi teknolojileri alanlarındaki uzmanlar ile PLM yazılım seçimi süreci için bulanık AHP ve PROMETHEE entegrasyonuna dayanan bir hibrit çok kriterli karar verme yöntemi ile uygulama yapmışlardır. Uygulamalarında 7 kriter kullanarak 12 PLM yazılım alternatifi değerlendirmişlerdir.

Daha önce belirtildiği gibi literatürde PLM yazılım seçimi konusunda çok fazla çalışma olmadığından bu yazılıma en yakın olan yazılımların seçim süreci ile ilgili bazı çalışmalar özetlenmiştir.

Mulebeke ve Zheng (2006), imalat şirketinde ürün geliştirme süreç (PDP) yazılım seçimi için 8 kriter kullanarak 10 alternatifini ANP yöntemi ile değerlendirmişlerdir. Wieszala ve diğerleri (2011) bir imalat şirketinde ERP yazılım seçimi için yaptıkları uygulamada 14 kriter kullanarak 3 alternatifini ANP yöntemi ile değerlendirmişlerdir. Rouhani ve Ravasan (2014), bilgi teknolojileri hizmet yazılımı (ITSM) seçimi için bulanık TOPSIS uygulamasını bilgi teknolojileri alanında çalışan bir şirkette uygulamıştır. Uygulamalarında fonksiyonel ve fonksiyonel olmayan toplam 46 kriter kullanarak 5 alternatifini değerlendirmişlerdir (Rouhani ve Ravasan, 2014).

Literatürde yazılım seçim problemlerini çözümlemek için hibrit çok kriterli karar verme yöntemlerine başvurulduğu gözlemlenmiştir. Bu hibrit yaklaşımlarda genellikle kriterlerin ağırlık hesaplaması için AHP veya ANP, bu kriterlere göre alternatiflerin sıralamasını belirlemek için ise VIKOR veya TOPSIS yöntemleri kullanılmaktadır.

Görener (2011), orta ölçekli bir imalat işletmesinde ERP yazılımı alternatiflerini hibrit ANP-VIKOR yöntemini kullanarak değerlendirmiştir. ANP yöntemiyle kriter ağırlıkları elde edilmiş ve VIKOR yöntemi ile de sıralama yapılmıştır. Çalışmalarında 26 kriter kullanarak 4 farklı ERP yazılımı alternatifini değerlendirmişlerdir (Görener, 2011).

Gürbüz ve diğerleri (2012), bir şirkette 16 kriter kullanarak 4 farklı ERP yazılım alternatiflerini ANP, Choquet Integralı (CI) ve MACBETH yöntemlerini birarada kullanarak değerlendirmişlerdir. Kriterler arasındaki birleşik veya ayırıcı davranışlar da MACBETH ve CI kullanılarak belirlenmiştir. ANP yöntemi ile değerlendirme kriterlerinin bağımlılıklarına göre alternatiflerin öncelik derecelerini belirlemişlerdir.

Hanine, Boutkhoul, Tikniouine ve Agouti (2016), veri entegrasyon araçlarından biri olan ETL (çıkarma-dönüştürme-yükleme) yazılımının seçiminde 15 kriter kullanarak 5 alternatif arasından seçim yapmak için AHP-TOPSIS yöntemini uygulamıştır (Hanine ve diğerleri, 2016).

Efe (2016), elektronik sektöründeki bir şirketin ERP yazılım seçimi için 15 kriter kullanarak 4 alternatifi değerlendirme konusunda karar verme sürecinde belirsizliklerin önüne geçme amacıyla entegre bulanık AHP ve TOPSIS yöntemleri ile uygulama yapmıştır (Efe, 2016).

Literatürde yazılım seçimi konusunda ANP yönteminin kullanıldığı görülmüştür. Ancak ANP ve TOPSIS yöntemlerinin birlikte kullanıldığı çalışmalar nispeten daha azdır.

Perçin ve Gök (2013) çalışmalarında uygun ERP yazılım seçimi için ERP danışmanları ve akademisyenlerden oluşan uzman grubu ile belirledikleri ve değerlendirdikleri 20 kriteri kullanarak 3 alternatifi ANP ve TOPSIS yöntemlerini bütünleşik olarak uygulamışlardır. Eren ve Gür (2017) çalışmalarında uygun CRM paket programlarının seçimi için hizmet sektöründe bulunan orta ölçekli taşıma ve lojistik firmalardaki uzman grubu ile belirledikleri 11 kriteri kullanarak 5 alternatifi ANP ve TOPSIS yöntemlerini bütünleşik olarak uygulayarak değerlendirmişlerdir.

3.2. Yazılım Seçim Kriterleri

Her şirketin iş süreçleri, çalışanlarının uzmanlık düzeyi ve deneyimi de dahil olmak üzere bir dizi faktörle karakterize edilen kendine özgü bir iş ortamı vardır. Bir şirketin iş ortamı benzersiz olduğundan, PLM yazılımı için gereksinimleri de benzersiz olacaktır. Başarılı bir PLM uygulaması için gereksinimlerin doğru bir şekilde değerlendirilmesi ve tanımlanması gerekmektedir (Kumar ve Midha, 2001).

Gereksinimler aşağıda tanımları verilen fonksiyonel veya fonksiyonel olmayan kriterlerden oluşmaktadır.

Fonksiyonel kriterler: Yazılım alternatifinin hangi fonksiyonları yerine getirdiği ile ilgilenmektedir. Örneğin mühendislik değişimine bağlı maliyet analizi fonksiyonel bir gereksinimdir. Bu kriter tipi şirketin stratejisi, uygulamaları, süreçleri, teknolojileri ve bulunduğu sektöre göre oldukça farklılaşabilmektedir. “2.4.5.Yazılım seçim öncesi yapılması önerilen ön çalışma” bölümünde belirtilen kapsamda fonksiyonel kriterler değerlendirilmelidir.

PLM danışmanlık şirketlerine ait bir sitedeki bilgiye göre şirketlerin %90 ihtiyacını kapsadığı belirtilen elektronik PLM gereksinim spesifikasyonlarında, 37 ana fonksiyonel ve 75 alt kategoride 1.200'den fazla standart gereksinim bulunmaktadır (PLM advisors, 2021).

Fonksiyonel olmayan kriterler: Yazılım alternatifinin fonksiyonları nasıl yerine getirdiği ile ilgilenmektedir. Örneğin güvenilirlik gereksinimi tüm yazılımlar için gerekli fonksiyonel olmayan bir gereksinimdir.

Fonksiyonel olmayan kriterlerin ölçülmesinin zor olması ve uygulamadan uygulamaya değişmemesi sebeplerinden dolayı bu tez çalışmasında fonksiyonel olmayan kriterler ele alınacaktır.

Literatürde yazılım seçimi ile ilgili olan makalelerde yazılım çeşidine göre farklı kriterlerin kullanıldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca literatürde farklı yazılımlar için yapılan değerlendirme çalışmaları incelendiğinde “ISO/IEC 25010:2011” (yazılım ve sistem mühendisliği) kalite standardından faydalandığı ve incelenen çalışmalarda belirlenen kriterlerin çoğunun kalite model faktörlerini kapsadığı görülmüştür. Yazılım kalitesi ile ilgili ISO / IEC standartları arasında “ISO / IEC 9126-1” kalite modeli, yazılım değerlendirmesinde kullanımını ele almaktadır (Jadhav ve Sonar, 2009).

“ISO/IEC 25010:2011” 2011 yılında “ISO / IEC 9126”nın yerine geçmiştir (ISO/IEC 25010:2011, 2021). Bu yüzden literatürde daha eski olması sebebi ile daha çok ISO / IEC 9126 kalite modeli yer almaktadır. “ISO/IEC 9126” standardı yazılım ürün kalitesini fonksiyonel uygunluk (işlevsellik), güvenilirlik, bakım yapılabilirlik, taşınabilirlik, kullanılabilirlik ve verimlilik olarak toplam 6 temel kriteri kapsamaktadır. ISO/IEC 9126 standardının yerine gelen “ISO/IEC 2501” standardı, ek olarak uyumluluk ve güvenlik kriterlerini kapsamaktadır (Öztürk ve Yağcı, 2016) ve şekil 3.6’da alt kriterleri ile gösterilmektedir (“ISO 25010”, 2021).



Şekil 3.6. ISO/IEC 25010 kalite modeli

Literatürdeki yazılım seçimi kriterlerinin belirlendiği kaynaklar incelendiğinde genellikle literatürden ve uzman görüşlerinden faydalandığı görülmüştür (Russo ve Camanho, 2015). Literatürde yapılan çalışmaların çoğunda benzer seçim kriterlerinin kullanıldığı ya da önerildiği tespit edilmiştir.

Tez çalışmasında kullanılan seçim kriterlerinin literatürde önerilen seçim kriterleriyle ortak olanları çizelge 3.2’de detaylı olarak gösterilmiştir. Literatürde kullanılan bazı kriterler farklı ifade edilmiş olsa da benzer gereksinimleri karşılamaktadır ya da kapsayıcı olabilmektedir. Örneğin literatürde “özeleştirilebilirlik” olarak belirtilen kriter çalışmamızda “uyarlanabilirlik” kriteri olarak değerlendirilmiştir. Bir başka örnek olarak çalışmamızda “servis ve teknik destek” olarak yer alan kriter “satıcı sektör deneyimi”, “eğitim ve danışmanlık hizmeti”, “yardım dokümanları” gibi literatürde yer alan pek çok kriterleri kapsamaktadır.

Tezde kullanılan kriterler ve referansları	Kullanım Kolaylığı	Birlikte Çalışabilirlik	Servis ve Teknik Destek	Yazılım İşlevselliği	Uyumluluk	Güvenilirlik	Uyarlanabilirlik	Performans Verimliliği	Bilgi Güvenliği	Modülerlik	Gelişmiş Arama ve Raporlama	Geniştirilebilirlik	Kurulum Yeteneği	Analiz Edilebilirlik	Gömülü Görselleştirme	İzlenebilirlik ve İş Akış Yönetimi	Yedekleme ve Kurtarma	Yetkilendirme Yönetimi	WEB Tabanlı Uygulama Desteği
(Görener, 2011)	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X								
(Rouyendegh ve Erkan, 2011)	X			X		X													
(Bowen, Wigle ve Tsai, 1985)	X	X				X		X				X	X						
(Efe, 2016)	X		X	X		X				X	X								
(Bozdag, Kahraman ve Ruan, 2003)	X											X							
(Sanga ve Venter, 2015)	X						X												
(Bernroider ve Koch, 2s001)	X		X	X	X														
(Ergu ve Peng, 2014)	X	X		X		X			X								X		
(Bayraktar ve Efe, 2006)			X	X	X	X			X	X	X		X						X
(Piengang ve diğerleri, 2019)	X	X	X			X	X			X	X				X		X		
(Samanlioglu ve Ayağ, 2019)			X		X														
(Zakria ve diğerleri, 2010)		X	X	X	X			X				X		X					
(Zhang ve diğerleri, 2014a)	X	X																	
(Zhang ve diğerleri, 2013a)		X	X						X						X	X			X
(McCall, Richards ve Walters, 1977)	X	X				X	X	X					X						
(Mulebeke ve Zheng, 2006)	X							X											
(Eastham ve diğerleri, 2013)		X		X		X								X					

Çizelge 3.2. Tezde kullanılan kriterlerin literatürdeki yeri

Çizelge 3.2. (devam) Tezde kullanılan kriterlerin literatürdeki yeri

Tezde kullanılan kriterler ve referansları	Kullanım Kolaylığı	Birlikte Çalışabilirlik	Servis ve Teknik Destek	Yazılım İşlevselliği	Uyumluluk	Güvenilirlik	Uyarlanabilirlik	Performans	Bilgi Güvenliği	Modülerlik	Gelişmiş Arama ve Raporlama	Genişletilebilirlik	Kurulum Yeteneği	Analiz Edilebilirlik	Gömülü Görselleştirme	İzlenebilirlik ve İş Akış Yönetimi	Yedekleme ve Kurtarma	Yetkilendirme Yönetimi	WEB Tabanlı Uygulama Desteği
(Cochran ve Chen, 2005)	X	X		X															
(Prasad ve Chakraborty, 2016)	X				X		X												
(Chuang, 2009)	X	X	X	X			X								X				
(Paavel, Karjust ve Majak, 2017)		X			X		X								X				
(Hanine ve diğerleri, 2016)	X	X	X	X		X			X	X	X						X		
(Murine, 1980)	X	X			X	X	X	X					X						
(Ahmad ve Laplante, 2006)		X		X							X								
(Durán, 2011)	X	X	X	X		X	X			X		X							
(Vengugopalan ve diğerleri, 2008)	X	X	X	X	X		X		X		X				X	X		X	
(Rouhani ve Ravasan, 2014)	X		X			X	X	X	X										
(Puzovic ve diğerleri, 2019)	X		X	X				X											
(Myung, 2008)	X	X	X	X	X		X	X	X										
(Singh ve Misra, 2018a)		X	X				X	X	X									X	
(Lee ve diğerleri, 2008b)	X	X		X			X				X					X			
(Ayağ, 2010)	X	X	X		X			X				X							
(Ayağ, 2012)	X			X	X														
(Ayağ, 2014)	X		X		X														
(Ayağ, 2015)		X	X		X			X				X							
(Ayağ, 2020)	X		X																
(Şen, Baraçlı, Şen S. ve Başligil, 2009)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X		X	X	X	

Tezde kullanılan kriterler ve referansları	Kullanım Kolaylığı	Birlikte Çalışabilirlik	Servis ve Teknik Destek	Yazılım İşlevselliği	Uyumluluk	Güvenilirlik	Uyarlanabilirlik	Performans Verimliliği	Bilgi Güvenliği	Modülerlik	Gelişmiş Arama ve Raporlama	Genişletilebilirlik	Kurulum Yeteneği	Analiz Edilebilirlik	Gömülü Görselleştirme	İzlenebilirlik ve İş Akışı Yönetimi	Yedekleme ve Kurtarma	Yetkilendirme Yönetimi	WEB Tabanlı Uygulama Desteği
(ISO/IEC 25010:2011, 2021)	X			X	X	X	X	X	X	X			X	X					
(Minetola ve diğerleri, 2015)	X	X	X	X				X						X					
(Gürbüz ve diğerleri, 2012)		X	X	X	X	X	X												
(Wieszala, Trzaskalik ve Targiel 2011)	X	X	X	X		X			X										
(Perçin ve Gök, 2013)	X	X	X	X		X		X	X		X								
(Eren ve Gür, 2017)	X	X	X			X	X												

Çizelge 3.2. (devam) Tezde kullanılan kriterlerin literatürdeki yeri

Literatürde yer alan yazılım seçim kriterlerinden biri de ‘maliyet’ kriteridir. Maliyet kriteri, yazılımı satın alma ve kurulum maliyetlerini, güncelleme ve bakım maliyetlerini, danışmanlık ve eğitim hizmet maliyetlerini, donanım maliyetlerini ve ek maliyetleri içermektedir. Bu maliyetlerin dağılımı şirketlerin gereksinimlerine göre değişkenlik göstermektedir. Yazılımın şirketin ihtiyaçlarını ne ölçüde ve ne kadar süre için karşılayabileceği, kullanıcı sayısı ve işlem miktarının artması durumunda ne ölçüde genişleyebileceği, yeni fonksiyonların sisteme ilave edilmesi sürecinin nasıl gerçekleştiği, bakım güncellemelerinin nasıl yapılacağı ve yazılım sağlayıcısının geleceğe yönelik vizyonunun ne olduğu konularına dikkat etmek gerekmektedir (Bayraktar ve Efe, 2006). Alternatif PLM yazılımlarının pahalı olması ve uyarlamalarının ciddi zaman alması gibi nedenlerden dolayı hatalı seçimin maliyeti çok yüksektir. Bundan dolayı sektörün ihtiyaçlarını dikkate alan yazılımlar, şirketin hem çalışanları hem de iş süreçleri için optimum çözümü sunmaktadır. Tercih edilen alternatif yazılımın yalın haliyle kullanıcı ihtiyaçlarını ve beklentilerini karşılaması durumunda ek geliştirme ihtiyaçları minimuma inecektir ve geçiş çok hızlı bir şekilde tamamlanacaktır.

Uygulamanın gerçekleştirileceği şirket büyük ölçekli bir şirket olduğundan şirketin öncelikli hedefi yatırım getirisini artıran doğru PLM yazılımını seçmektir. PLM yazılımı ile hedeflenen iç ve dış paydaşların memnuniyetini göz önünde bulundurarak mühendislik alt yapısını güçlendirmektir.

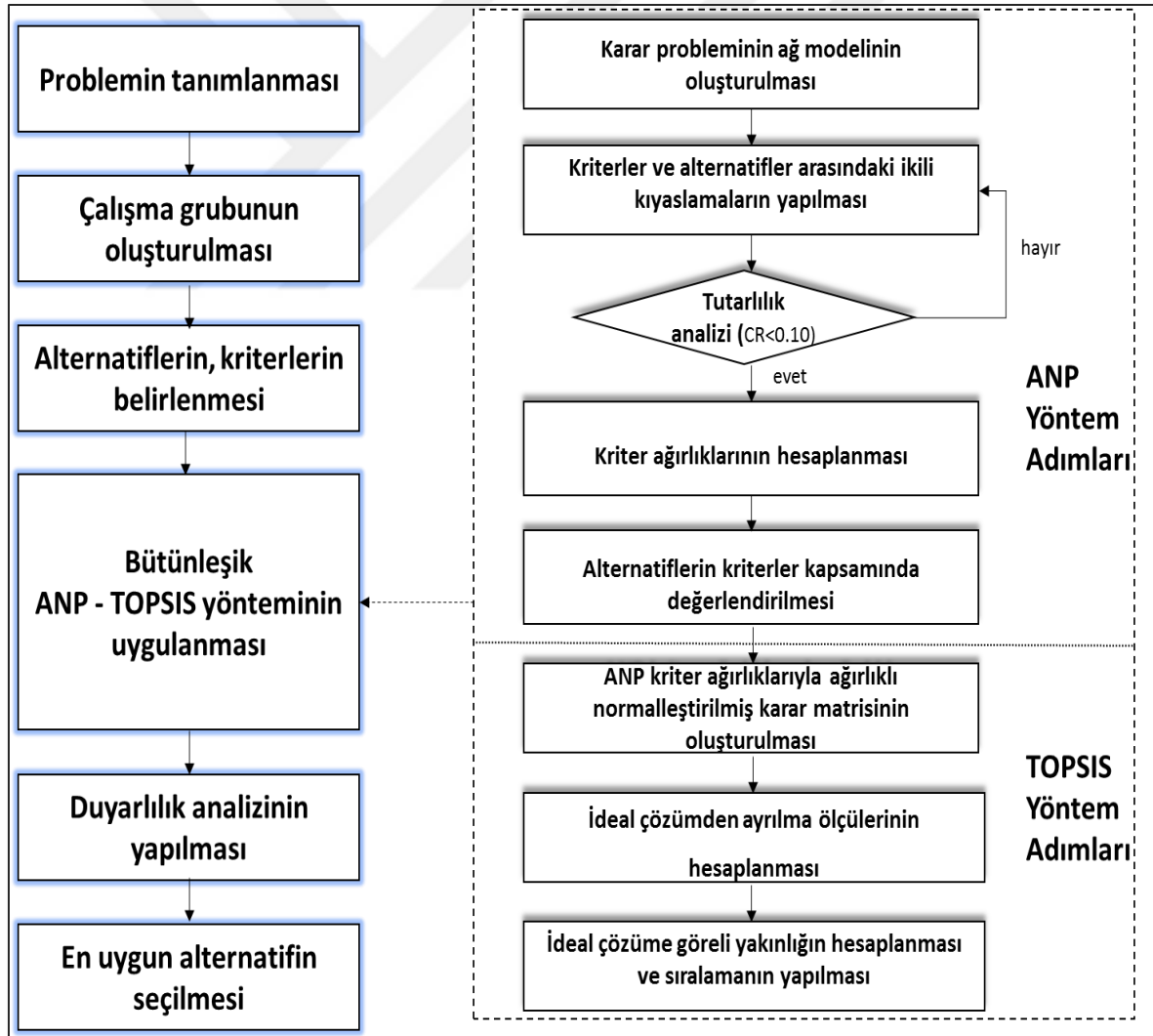
Tez çalışmasında sektör ve şirket gereklilikleri dikkate alınarak *fonksiyonel uygunluk, uyarlama ve teknik altyapı, veri yönetimi ve servis ve teknik destek* kriterleri olmak üzere dört ana kriter altında 19 PLM yazılım seçim kriterinin değerlendirilmesine karar verilmiştir. Çalışmada kullanılan kriterlerin detaylı açıklamaları ve uygulanan yöntemler ile ilgili detaylı bilgiler “4. Yöntemler ve Uygulama Adımları” bölümünde yer almaktadır.



4. YÖNTEMLER ve UYGULAMA ADIMLARI

4.1. Uygulama Konusu için İzlenilen Metodoloji

Çalışmada PLM yazılım seçimi problemine yönelik oluşturulan iki aşamalı hibrit ANP-TOPSIS yöntemi için izlenilen metodoloji şekil 4.1’de gösterilmektedir. Bu amaçla öncelikle PLM yazılım seçimine etki eden kriterler ve bunlar arasındaki ilişkiler belirlenerek ANP yöntemi yardımıyla kriterler ağırlıklandırılmıştır. Ayrıca TOPSIS ile kıyaslanmak üzere ANP yöntemi ile alternatif değerlendirme yapılmıştır. Sonraki aşamada ise TOPSIS yöntemi uygulanarak alternatifler önem derecelerine göre sıralandırılmış ve en uygun alternatifin seçilmesi sağlanmıştır.



Şekil 4.1. Çalışmada kullanılan metodolojinin adımları

4.2. Uygulama Konusunun Tanıtılması

Ürün yaşam döngüsündeki operasyonel verimliliği arttırmayı sağlayan PLM yazılımları, kendi özgün ürünlerini tasarlayan savunma sanayii üreticilerinin dijital dönüşümünde kritik bir rol oynamaktadır. Bu çalışma kapsamında savunma sanayii şirketlerinin dijital dönüşümüne destek verecek en uygun PLM yazılımının seçilmesine yönelik bir metodoloji sunulmaktadır.

Uygulamanın gerçekleştirildiği şirket Türkiye’de savunma sanayii sektöründe faaliyet gösteren, çok yönlü ve detaylı ürünlerin bulunduğu uluslararası projelerinin yanında özgün projelerini de yüksek teknolojiye sahip kabiliyetleriyle tasarlayan ve üreten bir şirkettir. Çalışma kapsamında bu şirketin bilgi teknolojileri ve mühendislik departmanlarında çalışmış olan PLM yazılımı sistem yöneticilerinin fikirleri dikkate alınarak bir çalışma yürütülmüştür. Özellikle sistem yöneticilerinin karar verici olarak seçilmesinin sebebi bu kişilerin programın yetenekleri ve gereksinimleri hakkında teknik bilgiye sahip olmaları ve kullanıcı gereksinimleriyle ilgili çalışmalar içerisinde yoğunlukla çalışmış olmalarıdır. Literatürde bu bakış açısından yapılan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ayrıca PLM yazılımının hem bilgi teknolojileri açısından hem de mühendislik bakış açısından değerlendirilmesi kritik olduğundan karar vericilerin bu iki alanda uzman olan kişiler olmasına dikkat etilmiştir.

Literatürde yer alan ve kaynaklar kısmında detayları verilen akademik çalışmalar ışığında 4 ana kriter ve 19 alt kriter belirlenmiştir. Savunma sanayii sektöründe yoğunlukla kullanılan 3 büyük yazılım programı alternatif olarak belirlenmiştir.

Çalışmada, uygulama yapılan şirketin bilgi teknolojileri ve mühendislik departmanlarında çalışan PLM alanında uzman on üç karar verici ile uygun PLM yazılım seçimi için kriterlerin ikili karşılaştırılması ve alternatiflerin kriterler bazında değerlendirilmesi anket yoluyla yapılmıştır. Bu kriterlerin ağırlıklandırılması amacıyla ANP yöntemi uygulanmış olup, yöntemin çıktısı olan ağırlıklandırılmış kriterlere göre üç alternatif PLM yazılımı arasından en uygun PLM yazılımının bulunması için TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Kriterler arasında karşılıklı bağımlılık bulunması ANP yönteminin seçilmesinde etkili olmuştur. ANP yöntemi kullanılarak, kriterler arasındaki etkileşimler ve içsel bağımlılıklar dikkate alınmış olup, varsayımlar ve kısıtlamalar kaldırılarak seçim problemi daha

gerçekçi bir şekilde modellenmiştir. İzleyen bölümlerde bu adımlar detaylı olarak anlatılmaktadır.

4.3. Analitik Ağ Süreci (ANP) Yöntemi

ANP, Thomas L. Saaty tarafından 1980'de yayınlanan “Analitik Hiyerarşi Süreci” isimli kitabında ilk kez tanıtılmıştır. Sonrasında Thomas L. Saaty (1996) tarafından yayınlanan “Analitik Ağ Süreci” kitabında geliştirilmiş bir yöntemdir (Saaty, 1996; Gencer ve Gürpınar, 2007).

AHP ve ANP yönteminin her ikisi de ikili karşılaştırma temeline dayanmaktadır ve hem kalitatif hem de kantitatif kriterlerin değerlendirilmesi için uygundur. Ancak AHP yöntemi karar problemini hiyerarşik olarak çözümlerken, ANP yöntemi karar problemindeki faktörler arasındaki ilişkileri ve bağımlılıkları dikkate almaktadır. Gerçek hayattaki karar problemlerinde ulaşılmak istenen amacı etkileyen kriterler ve alternatifler arasında karşılıklı etkileşimler ve geri bildirimler bulunabilmektedir. Bu noktada AHP yöntemi faktörler arasındaki ilişkileri dikkate almadığından ve bu faktörlerin birbirlerinden bağımsız olduğu varsayımı ile problemleri ele almasından dolayı gerçek hayattaki karar problemlerini çözümlenmekte yetersiz kalabilmektedir. Hiyerarşik tek yönlü ilişkiler olarak sunulan bir model olan AHP yönteminden farklı olarak ANP yöntemi, birden fazla yönü olan ilişkilerin modellenmesine imkân sunmaktadır. Bu bakımdan ANP, AHP yöntemini sistemdeki bağımlılıklar ve geri beslemeler açısından derinleştirir ve genişletir.

4.3.1. ANP yönteminin uygulama adımları

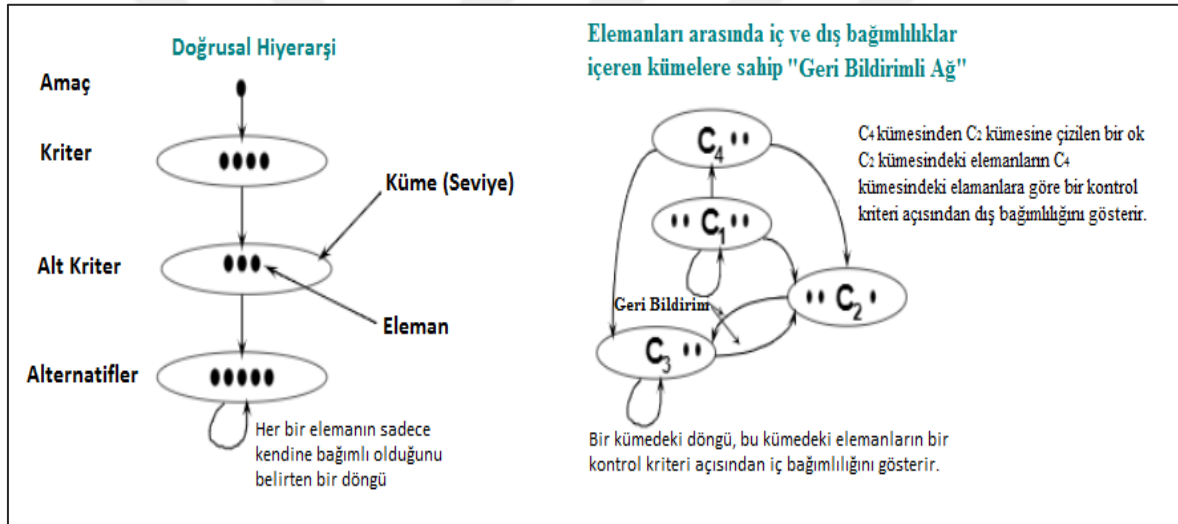
ANP yönteminin bir karar verme problemine ait faktörler arasındaki ilişkilere göre bir ağ yapısında modellendiği belirtilmiştir. Bu ilişkilerin belirlenmesi sırasında faktör kümeleri arasındaki dış bağımlılıklar, geribildirimler ve aynı faktör kümesi içerisinde yer alan iç bağımlılıklar dikkate alınmaktadır. ANP bu yapıyla AHP’den ayrılmaktadır ve daha etkin kararların verilmesini sağlamaktadır (Dağdeviren, Eraslan, Kurt ve Dizdar 2005).

ANP yöntemi birbirini izleyen yedi adımdan oluşmaktadır.

Adım 1: Karar probleminin ağ yapısının oluşturulması

Bu aşamada problemin ağ yapısını oluşturmak için öncelikle faktörler belirlenmeli ve faktörler arasındaki ilişkiler ve bağımlılıklar tespit edilmelidir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde faktörlerin ve faktörler arasındaki ilişkilerin ve bağımlılıkların tespiti için genellikle uzman görüşlerinden veya literatürden faydalanıldığı görülmüştür.

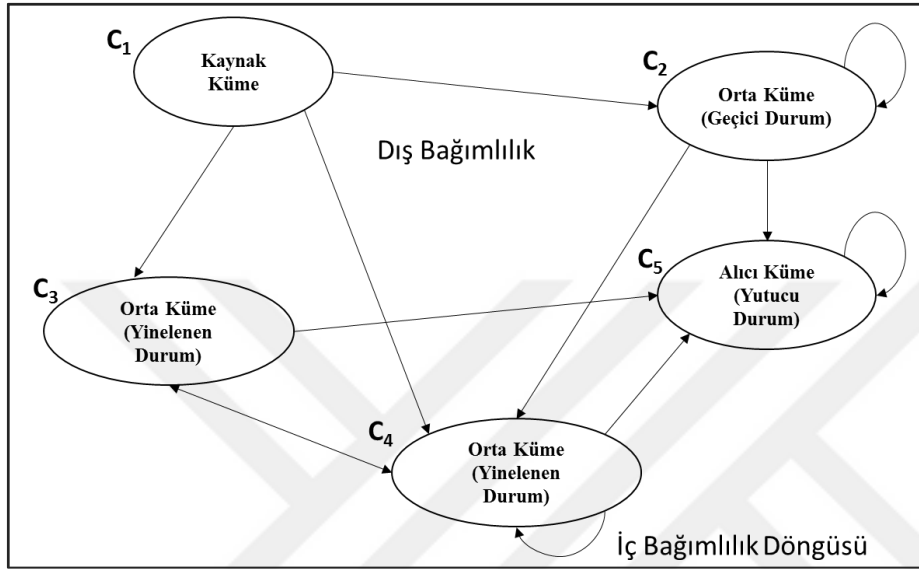
Hiyerarşik bir yapı ile bir ağ yapısı arasındaki fark şekil 4.2’de gösterilmiştir (Saaty, 2000). ANP yöntemi, AHP yönteminin aksine kümeler arasında yatayda ve dikeyde karşılıklı etkileşime izin verdiğinden dolayı bu yöntemde herhangi hiyerarşik bir yapılandırma zorunlu değildir.



Şekil 4.2. Hiyerarşik yapı ile ağ yapısı arasındaki fark (Saaty, 2000)

ANP yönteminde bir kümedeki elemanların aynı küme içerisindeki diğer elemanlara etkisi varsa buna *iç bağımlılık* adı verilir. Eğer bir kümedeki elemanların diğer bir kümedeki elemanlara etki durumu söz konusu ise buna da *dış bağımlılık* adı verilir. İçsel ve dışsal bağımlılıklar, karar vericilerin bir kontrol kriterine göre kriterler ve elemanlar arasındaki etkileme ve etkilenme durumlarını göstermektedir. Şekil 4.3'te küme içerisindeki ve kümeler arasındaki ilişkileri daha ayrıntılı belirten örnek bir ağ modeli gösterilmiştir. Bu örnek ağ modelindeki gibi kümeler içerisindeki elemanlar başka bir kümedeki elemanların bazılarıyla ya da hepsiyle ya da kendi içerisinde karşılıklı etkileşim halinde olabilir. Kısaca aşağıda belirtilen olasılıklar söz konusu olabilir:

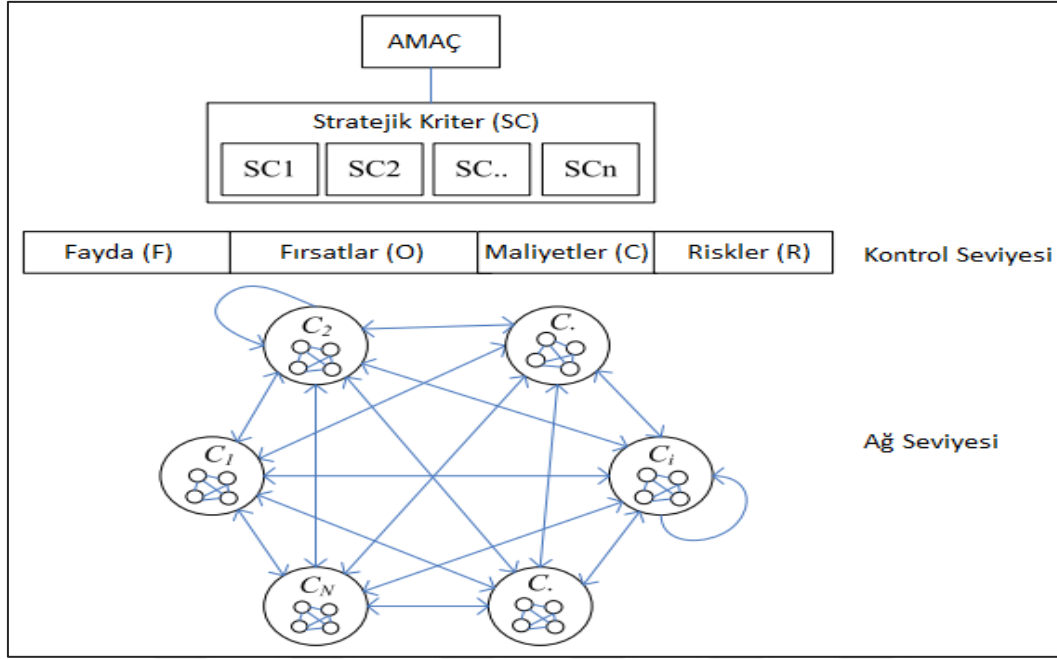
- C1 kümesi gibi sadece etkileyebilir (Kaynak küme).
- C5 kümesi gibi sadece etkilenebilir (Alıcı küme).
- C2, C3, C4 kümeleri gibi hem etkileyen hem de etkilenen olabilir (Orta Küme).
- C2, C4, C5 kümeleri gibi iç bağımlılık döngüsüne sahip olabilir (Saaty, 2000).



Şekil 4.3. Örnek bir ağ modeli (Saaty, 2000)

ANP’de karar problemi çözümlemesinde kontrol hiyerarşisi de kurulabilmektedir. Kontrol hiyerarşisi, üzerinde çalışılan sistemin amacına yönelik önceliklerin belirlendiği, kriterler ve alt kriterlerden oluşan bir hiyerarşidir. Saaty (1996), bir kontrol hiyerarşisinin amaç seviyesinde yer alabilecek dört boyut belirlemiştir. Buna örnek olarak Ergu ve Peng (2013) çalışmalarında bulut tabanlı CRM yazılımının SaaS modelinin seçimi ve değerlendirilmesi için ANP yöntemini uygulamışlardır. Üst seviyede, fayda (benefits), fırsat (opportunities), maliyetler (costs), riskler (risks) olarak kullanılan ifadelerin kısaltması BOCR olan kontrol seviyesi vardır. Alt seviye ise, B, O, C ve R’nin ekonomik ve teknolojik kontrol kriterlerinin altındaki kümeler ve elamanları arasındaki etkileşim ağından oluşmaktadır. En alt seviyede toplam 42 kriter incelenmiştir (Ergu ve Peng, 2014).

Modelin ağ yapısı şekil 4.4’te gösterildiği gibidir.



Şekil 4.4. ANP BOCR modeli (Ergu ve Peng, 2014)

Adım 2: İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması

Bu aşamada ANP yönteminde AHP yöntemindeki gibi kararları etkileyen faktörlerin ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması ile modeli oluşturan faktörlerin göreceli önem ağırlıkları belirlenir. AHP yönteminde olduğu gibi ANP yönteminde de ikili karşılaştırmaların yapılması için faktörlerin önem ağırlıklarının belirlenmesinde çizelge 4.1’te verilen Saaty tarafından önerilen 1–9 skalasından faydalanılmaktadır (Saaty ve Katz, 1990:15).

Çizelge 4.1. İkili karşılaştırmalarda kullanılan önem skalası (Saaty ve Katz, 1990:15)

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit Önemde	İki kriter de eşit derece öneme sahiptir
3	Biraz Önemli	Bir kriter diğerine göre biraz daha fazla önemlidir.
5	Fazla Önemli	Bir kriter diğerine göre oldukça önemlidir.
7	Çok Fazla Önemli	Bir kriter diğerine göre çok daha önemlidir.
9	Son Derece Önemli	Bir kriter diğerine göre kesinlikle daha önemlidir.
2,4,6,8	Ara Önem Dereceleri	Ara rakamlar gerektiğinde kullanılabilir.

Karar probleminin ağ yapısı oluşturulurken sağlıklı karşılaştırmaların yapılabilmesi için bir kümede benzer elemanların olmasına ve eleman sayısına dikkat etmek gerekmektedir.

1950’lerde psikolog George Miller’ın deneysel bulgularına göre eşzamanlı olarak ele alınabilecek seçenek sayısı 7 ± 2 ’dir (Miller kanunu olarak da bilinir) (Miller, 1956; Saaty ve Ozdemir, 2003; Saaty ve Katz, 1990; Vengugopalan ve diğerleri, 2008). Yani bir kümedeki eleman sayısının 9’dan fazla olması durumunda karşılaştırma yapmak sağlıklı olmayacaktır.

Literatürdeki çalışmalara göre ikili karşılaştırmalar, kullanıcıyla yapılan birebir görüşmeler, beyin fırtınası, anketler gibi yöntemlerle yapılabilmektedir. Belirlenen ilişkilere göre problemin ağ yapısında; her bir küme bazında diğer kümelerin bu belirlenen küme üzerindeki etki derecelerinin kıyaslandığı “*küme karşılaştırmaları*” ve aynı mantıkta her bir eleman bazında diğer tüm elemanların birbiri üzerindeki etki derecelerinin belirlenmesi amacıyla “*eleman karşılaştırmaları*” yapılır. Bu yüzden bir faktörün (küme ya da eleman bazında) ikili karşılaştırmalar matrisinin yapılabilmesi için, bu faktörün en az iki faktörden etkilenmesi gerekmektedir. İkili karşılaştırma matrislerindeki sorular şu tiptedir: “K1 faktörünün K2 faktörü üzerindeki etkisi K3 faktörü üzerindeki etkisinden ne kadar fazladır/ azdır?”. Kısaca ANP yönteminde ikili karşılaştırmalar; etkileyen kritere göre, söz konusu kriterden etkilenen kriterlerin birbiriyle karşılaştırılması ile yapılır.

İkili karşılaştırma matrisleri farklı kişilerin yargılarının birleştirilmesini içerdiği durumda, birleştirme işleminde literatürde birçok araştırmacı tutarlı ikili karşılaştırmalar matrislerini elde edebilmek için Saaty’nin tavsiye ettiği *geometrik ortalama* yöntemini kullanmışlardır (Saaty, 1996; Jharkharia ve Shankar, 2007).

Adım 3: Karşılaştırma matrislerinin tutarlılık analizlerinin yapılması

AHP yönteminde olduğu gibi ANP yönteminde de her bir matrisin tutarlılığı kontrol edilir. Tutarlılık indeksi 0,10’dan küçük ise matris tutarlı kabul edilerek işlemlere devam edilir, aksi durumda matrise girilen değerlerin tekrar gözden geçirilmesi gerekir. Tutarlılık analizinin yapılmasının nedeni yargılardaki tutarsızlığı tespit edip, erken önlem almaktır. Çünkü yapılacak ikili karşılaştırmalarda, “A, B’den daha önemli”, “B de C’den daha önemli” fakat “C, A’dan daha önemli” gibi bir sonuçla karşılaşılabılır. Yargılarda olası bu tutarsızlık yapılan çalışmaları yanlış yönde etkileyebileceğinden her bir matris için tutarlılık analizi mutlaka yapılmalıdır.

Tutarlılık indeksi (CI), Eşitlik 4.1’de gösterilen formül ile hesaplanır. λ_{maks} , kare matristeki öz değerlerin en büyüğüdür:

$$CI = \frac{\lambda_{maks} - n}{n-1} \quad (4.1)$$

Tutarlılık oranı (CR), tutarlılık indeksinin (CI) rassallık indeks (RI) değerine bölümü ile Eşitlik 4.2’de belirtildiği gibi hesaplanır.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4.2)$$

Rassallık indeksi, değişken (n) sayısına göre çizelge 4.2’de verilen rastgele indeks tablosunda karşılık gelen değerdir (Saaty, 1980:21). Her nxn boyutundaki matris için tutarlılık değerleri hesaplanmalıdır.

Çizelge 4.2. Kriter sayısına göre değişen rassal indeks değerleri (Saaty, 1980:21)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Adım 4: Süper matris

Süpermatris yaklaşımı, Markov Zincirleri yöntemine paralel olarak tanımlanmış bir yaklaşımdır. ANP yönteminde ağ yapısındaki kümeler ve elamanlar arasındaki doğrudan ya da dolaylı tüm etkileşimlerin toplu halde gösterildiği kare matrise “süper matris” adı verilir. Her ikili karşılaştırma matrisinden, bir küme içerisindeki her bir elemanın diğer elemanlar üzerindeki etkisini gösteren bir özvektör (öncelik vektörü) elde edilmektedir. Kümelerden biri alıcı küme ise, yani küme elemanlarının hiçbirisi başka bir küme elemanlarını etkilemiyorsa, bunlara ait öncelik değerleri süpermatriste “0” değerini alır.

N sayıda kümeye sahip ve her bir kümenin elemanlarının birbiriyle veya diğer kümelerdeki elemanlarla olan etkileşimlerini gösteren her bir özvektör, süper matrisin kolonlarına yerleştirilir. C_N ’ler ağ yapısındaki kümeler, e_{Nn} ’ler kümelerin elemanları ve W_{ij} özvektörlerinden oluşan bir süper matris yapısı şekil 4.5’te gösterilmiştir. Bir karar sorunun yapılandırılmasında kontrol hiyerarşisi kullanılması durumunda ise kontrol hiyerarşisindeki her bir kontrol kriteri için ayrı ayrı süper matrisler düzenlenmelidir.

$$W = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_N \\ e_{11} \dots e_{1n1} & e_{21} \dots e_{2n2} & \dots & e_{N1} \dots e_{NnN} \end{matrix} \\ \begin{matrix} C_1 \\ \vdots \\ e_{1n1} \\ C_2 \\ \vdots \\ e_{2n2} \\ \vdots \\ e_{N1} \\ C_N \\ \vdots \\ e_{Nnn} \end{matrix} & \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & \dots & W_{1N} \\ W_{21} & W_{22} & \dots & W_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{N1} & W_{N2} & \dots & W_{NN} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Şekil 4.5. Süper Matris Yapısı (Saaty, 1996)

Adım 5: Ağırlıklı süper matris

Süper matris üzerinde ANP yöntem adımlarının uygulanabilmesi için matrisin stokastik duruma gelmesi gerekmektedir (Saaty, 1996). Oluşturulan süper matristeki herhangi bir sütunun sütun toplamı 1’den büyükse (bir taneden fazla öz vektör varsa) o sütun normalize edilerek süper matrisin sütun toplamlarının 1’e eşit olması sağlanmalıdır.

Süpermatriste bulunan elemanların göreceli önem derecelerinin, içinde bulundukları kümenin özvektörüyle çarpılmasıyla oluşan yeni matrisin sütunlarının normalize edilmesiyle elde edilen matrise “ağırlıklı süper matris” adı verilmektedir (Jharkharia ve Shankar, 2007).

Adım 6: Limit matris

Karar verme ağını oluşturan elemanların birbiri üzerindeki uzun dönemli göreceli etkilerini (global öncelikleri) elde etmek için ağırlıklandırılmış süper matrisin $(2k+1)$ sayıda kuvveti alınarak belirlenir ve formül olarak Eşitlik 4.3’teki gibi dösterilir. Burada k rastgele seçilmiş büyük bir sayıdır (Saaty, 1996; Lin ve Tsai, 2010). Ağırlıklandırılmış süpermatrisin bu şekilde çok sayıda üssünün alınması ile elde edilen yeni matrise limit süpermatris adı verilmektedir. Limit süpermatrisin bütün sütunları aynı değeri alır ve w ağırlık vektörünü verir.

$$\lim_{k \rightarrow \infty} W^k = we^t \quad (4.3)$$

Adım 7: En iyi alternatifin seçilmesi

Limit matristeki her bir satırdaki limit değeri, o satıra ait kriter veya alternatifin önem ağırlıklarını vermektedir. Seçim problemlerinde en yüksek önem ağırlığına sahip olan alternatif en iyi alternatiftir. Ağırlıklandırma problemlerinde ise en yüksek önem ağırlığına sahip olan faktör en önemli faktördür.

ANP yönteminde matris işlemlerinin yapılması zor olduğu için literatürde “Super Decisions”, “Mathematica”, “Matlab” gibi farklı programlar kullanılmaktadır. Bu çalışmada “Super Decisions” isimli program kullanılacaktır. Bu programda yukarıda bahsedilen teorik bilgiler hesaba katılmaktadır ve tatmin edici sonuçlar alınmaktadır.

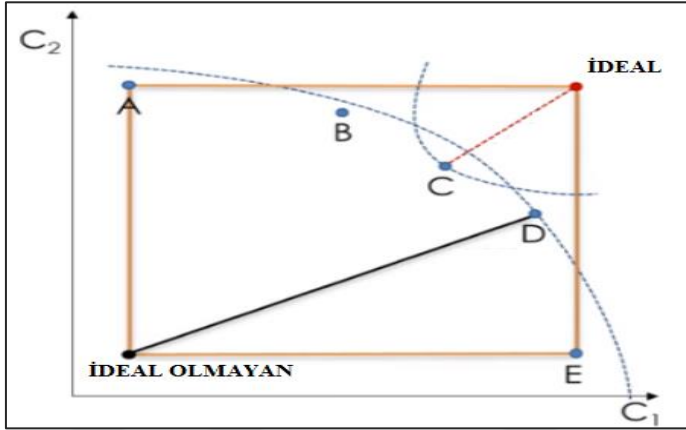
4.4. TOPSIS Yöntemi

TOPSIS yöntemi ilk kez Yoon ve Hwang’ın (1981) uzlaşmalı çözüm anlayışı çerçevesinde en iyi alternatifi belirlemek için çözüm alternatifinin pozitif ideal çözüme en kısa mesafe ve negatif ideal çözüme en uzak mesafede olması gerektiği düşüncesine göre ortaya konmuştur (Hwang ve Yoon, 1981). Cheng ve Hwang (1992) bu çalışmaya atıfta bulunarak yöntemi geliştirilmiştir (Opricovic ve Tzeng, 2004).

Günlük hayatında herkes karşı karşıya kaldığı duruma göre genellikle kazancını maksimize etmek isterken kaybını da minimize etmek ister. Bu amaca göre herkes çeşitli alternatifler arasından en ideal olanı seçmeye çalışır. İdeal çözüm, ulaşılmak istenen ama çoğu zaman yakalanamayan en iyi noktadır.

TOPSIS yöntemine göre eğer herhangi bir alternatif pozitif ideal çözüme daha yakınsa daha yüksek puana sahip olur. Bu bağlamda alternatiflerin ideal ve ideal olmayan çözüme yakınlıklarını ölçmek için bu noktalara olan uzaklıklarından faydalanılmaktadır (Bhutia ve Phipon, 2012). Bu noktalara olan uzaklıklar şekil 4.6’da gösterilmektedir. Buna göre ideale en yakın nokta “C”, ideal çözüme en uzak nokta ise “D” noktasıdır. TOPSIS yönteminin en önemli amacı, ideal olan çözüme (pozitif ideal) en yakın noktayı, ideal olmayan çözüme

(negatif ideal) en uzak noktayı bulmaktır. Böylece karar problemi için alternatifler arasından en çok fayda sağlayan ve en az zarar veren çözüm seçilecektir.



Şekil 4.6. İdeal ve ideal olmayan noktalara olan uzaklıkların gösterimi (Pomerol ve Barba-Romero, 2000:215)

TOPSIS yöntemi kompleks matematiksel modeller içermeyen, anlaşılması kolay ve kullanması rahat bir yöntemdir. Bundan dolayı birçok alanda bu teknikten sıklıkla faydalanılmaktadır.

4.4.1. TOPSIS yönteminin uygulama adımları

TOPSIS yöntemi birbirini izleyen altı adımdan oluşmaktadır.

Adım 1: Normalleştirilmiş karar matrisinin (R_{ij}) hesaplanması

Karar matrisindeki i alternatifinin j kriterine göre normalize edilmiş değeri olan r_{ij} , eşitlik 4.4'te gösterilen formül ile hesaplanır.

$$r_{ij} = \frac{f_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^J f_{ij}^2}} \quad (j=1,2,\dots,j \text{ ve } i=1,2,\dots,n) \quad (4.4)$$

Hesaplamalar sonucu elde edilen R_{ij} karar matrisi aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

Adım 2: Ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisinin hesaplanması

TOPSIS yönteminin tek subjektif parametresi ağırlık değerleridir. Ağırlıklandırma işleminin AHP, ANP gibi yöntemlerle hesaplanması ile bu durumun üstesinden gelinebilmektedir.

W_i değeri i . kriterinin ağırlığını ifade etmektedir ve kriterlerin ağırlık değerleri toplamı 1'e eşittir. Ağırlıklı normalleştirilmiş değeri ifade eden v_{ij} , eşitlik 4.5'te gösterilen formül ile hesaplanır.

$$v_{ij} = w_i * r_{ij} \quad \left(\sum_{i=1}^n w_i = 1 \right) \quad (j=1,2,\dots,j \text{ ve } i=1,2,\dots,n) \quad (4.5)$$

Yukarıdaki formüle göre R_{ij} matrisinin her bir sütunundaki elemanlar ilgili w_i değeri ile çarpılması ile elde edilen V_{ij} matrisi aşağıdaki gibidir:

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix}$$

Adım 3: Pozitif-ideal (A^+) ve negatif-ideal (A^-) çözümlerin belirlenmesi

Ağırlıklandırılmış matriste (V_{ij}) her bir sütundaki maksimum ve minimum değerler tespit edilir. Formül olarak eşitlik 4.6 ve eşitlik 4.7'deki gibi gösterilebilir. Formülde I' , fayda değerini; I'' ise maliyet değerini göstermektedir.

$$A^+ = \{v_1^+, \dots, v_n^+\} = \left\{ \left(\max_j v_{ij} | i \in I' \right), \left(\min_j v_{ij} | i \in I'' \right) \right\} \quad (4.6)$$

$$A^- = \{v_1^-, \dots, v_n^-\} = \left\{ \left(\min_j v_{ij} | i \in I' \right), \left(\max_j v_{ij} | i \in I'' \right) \right\} \quad (4.7)$$

Değerlendirme kriterleri maliyet gibi minimize edilmesi gereken bir kriter ise; pozitif ideal çözüm V_{ij} matrisinin sütunundaki değerlerin en küçük değeridir ve aynı mantıkta negatif ideal çözüm de V_{ij} matrisinin sütunundaki değerlerin en büyük değeridir.

Adım 4: İdeal çözümden ayrılma ölçülerinin hesaplanması

Karar problemine ait değerlendirme kriterlerinin pozitif ideal ve negatif ideal çözüm değerlerinden ayrılma ölçülerinin bulunabilmesi için Öklidyen yaklaşımından yararlanılmaktadır.

Her alternatifin pozitif ideal çözüme uzaklığını belirten ayrılma ölçüsü (S_i^+) eşitlik 4.8'de belirtilen formül ile hesaplanmaktadır:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (4.8)$$

Aynı şekilde, negatif ideal çözümden ayrılma ölçüsü (S_i^-) ise eşitlik 4.9'da belirtilen formül ile hesaplanmaktadır.

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (4.9)$$

Adım 5: İdeal çözüme göreli yakınlığın hesaplanması

Her bir alternatifin ideal çözüme göreli yakınlık katsayılarının hesaplanmasında pozitif ideal ve negatif ideal çözüm değerlerinden uzaklıklar dikkate alınır.

Her bir a_i alternatifinin A^+ 'ya göre göreceli yakınlığı eşitlik 4.10'da belirtilen formül ile hesaplanmaktadır:

$$C_i^+ = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad (0 \leq C_i^+ \leq 1) \quad (4.10)$$

Burada C_i^+ değeri negatif ideal çözüme uzaklığın toplam uzaklık içindeki payını göstermektedir ve $0 \leq C_i^+ \leq 1$ aralığında değer alır. Dolayısıyla $C_i^+ = 1$ ilgili alternatifin pozitif ideal çözüm noktasında bulunduğu anlamına gelirken, $C_i^+ = 0$ eşitliği de ilgili alternatifin negatif ideal çözüm noktasında bulunduğu anlamına gelmektedir.

Bu formül TOPSIS yönteminin temel prensibini temsil etmektedir (Chen ve Hwang, 1992:39).

Adım 6: Öncelik sırasının belirlenmesi

Bir önceki adımda elde edilen değerler yani ideal çözüme göreli yakınlık (C_i^+) değerleri büyüklük sırasına göre dizildiğinde karar noktalarının (alternatiflerin) önem sıraları belirlenmektedir.



5. SAVUNMA SANAYİDE BİR UYGULAMA

Bu başlıkta bir önceki bölümde belirtilen yöntem adımları ve metodoloji izlenerek savunma sanayii alanında faaliyet gösteren büyük ölçekli bir şirkette uygulama yapılmıştır. Gizlilik nedeniyle uygulama yapılan şirketin, karar vericilerin ve yazılım alternatiflerinin isimleri paylaşılmamaktadır.

Savunma sanayiide faaliyet gösteren bir şirket için PLM yazılım seçim süreçlerinde dikkate alınabilecek kriterler ve bu kriterlere göre değerlendirilecek alternatifler arasından en uygun yazılımın seçim süreci uygulaması detaylı anlatılacaktır. Çalışmada yönetici ve uzman kadrosu ile yapılan anketler ile elde edilen gerçek verilerden ve literatürdeki çalışmalardan yararlanılmıştır. PLM yazılım seçim kriter ağırlıklarının belirlenmesinde ve alternatifler arasından en uygununun belirlenmesinde ANP yöntemi kullanılmıştır. ANP yönteminden elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak TOPSIS yöntemiyle alternatifler sıralanmıştır.

5.1. PLM Yazılım Seçim Kriterlerinin Belirlenmesi

Literatürde PLM yazılım seçim problemi ile ilgili farklı uygulama alanlarında yapılan çalışmalarda tanımlanmış birçok kriter vardır. Bu çalışmada, savunma sanayii alanındaki bir şirket için PLM yazılım seçim kriterleri tanımlanmıştır. Tez çalışmasında kullanılan kriterler çizelge 5.1’de sıralanmıştır. Bu kriterler aşağıdaki çalışmalar sonucunda oluşturulmuştur:

- Literatürdeki yazılım seçme ve değerlendirme kriterlerinin incelenmesi,
- ISO/IEC 25010:2011 standardının ve yazılım kalite modellerinin incelenmesi,
- Uzman görüşlerinin alınması,
- İnternet ortamındaki PLM yazılım alternatifleri karşılaştırma sitelerinin incelenmesi.

Ana Kriterler	Alt Kriterler	Referanslar
Fonksiyonel Uygunluk (5 alt kriter)	Gelişmiş Arama ve Raporlama	(Hanine ve diğerleri, 2016; Piengang ve diğerleri, 2019; Vengugopalan ve diğerleri, 2008; Ahmad ve Laplante, 2006; Bayraktar ve Efe, 2006; Efe, 2016; Görener, 2011; Lee ve diğerleri, 2008b; Perçin ve Gök, 2013)
	Gömülü Görselleştirme	(Paavel ve diğerleri, 2017; Zhang ve diğerleri, 2013a; Chuang, 2009; Piengang ve diğerleri, 2019; Vengugopalan ve diğerleri, 2008)
	İşlevsellik	(Puzovic ve diğerleri, 2019; Chuang, 2009; Hanine ve diğerleri, 2016; Vengugopalan ve diğerleri, 2008; Eastham ve diğerleri, 2013; Ahmad ve Laplante, 2006; Bayraktar ve Efe, 2006; Şen ve diğerleri, 2009; Bernroider ve Koch, 2001; Efe, 2016; Rouyendegh ve Erkan, 2011; ISO/IEC 25010:2011, 2021; Görener, 2011; Minetola ve diğerleri, 2015; Ayağ, 2014; Ayağ, 2012; Durán, 2011; Cochran ve Chen, 2005; Myung, 2008; Lee ve diğerleri, 2008b; Zakria ve diğerleri, 2010; Ergu ve Peng, 2014; Gürbüz ve diğerleri, 2012; Wieszala ve diğerleri, 2011; Perçin ve Gök, 2013; Perçin ve Gök, 2013)
	İzlenilebilirlik ve İş Akış Yönetimi	(Zhang ve diğerleri, 2013a; Vengugopalan ve diğerleri, 2008; Şen ve diğerleri, 2009; Lee ve diğerleri, 2008b)
	Kullanım Kolaylığı	(Zhang ve diğerleri, 2014a; Puzovic ve diğerleri, 2019; Chuang, 2009; Hanine ve diğerleri, 2016; Piengang ve diğerleri, 2019; Piengang ve diğerleri, 2019; Vengugopalan ve diğerleri, 2008; Şen ve diğerleri, 2009; Bernroider ve Koch, 2001; Efe, 2016; Rouyendegh ve Erkan, 2011; Rouyendegh ve Erkan, 2011; ISO/IEC 25010:2011, 2021; McCall ve diğerleri, 1977; Bowen ve diğerleri, 1985; Murine, 1980; Görener, 2011; Sanga ve Venter, 2015; Rouhani ve Ravasan, 2014; Ayağ, 2010; Minetola ve diğerleri, 2015; Prasad ve Chakraborty, 2016; Ayağ, 2012; Ayağ, 2014; Ayağ, 2020) (Durán, 2011; Bozdog ve diğerleri, 2003; Cochran ve Chen, 2005; Myung, 2008; Mulebeke ve Zheng, 2006; Mulebeke ve Zheng, 2006; Lee ve diğerleri, 2008b; Ergu ve Peng, 2014; Wieszala ve diğerleri, 2011; Perçin ve Gök, 2013; Eren ve Gür, 2017)
Uyarlama ve Teknik Altyapı (9 alt kriter)	Analiz Edilebilirlik	(Eastham ve diğerleri, 2013; Şen ve diğerleri, 2009; ISO/IEC 25010:2011, 2021; Minetola ve diğerleri, 2015; Zakria ve diğerleri, 2010)
	Birlikte Çalışılabilirlik	(Paavel ve diğerleri, 2017; Zhang ve diğerleri, 2014a; Zhang ve diğerleri, 2013a; Chuang, 2009; Singh ve Misra, 2018a; Hanine ve diğerleri, 2016; Piengang ve diğerleri, 2019; Vengugopalan ve diğerleri, 2008; Eastham ve diğerleri, 2013; Ahmad ve Laplante, 2006; Şen ve diğerleri, 2009; McCall ve diğerleri, 1977; Bowen ve diğerleri, 1985; Murine, 1980; Görener, 2011; Ayağ, 2010; Minetola ve diğerleri, 2015; Ayağ, 2015; Durán, 2011; Cochran ve Chen, 2005; Myung, 2008; Lee ve diğerleri, 2008b; Zakria ve diğerleri, 2010; Ergu ve Peng, 2014; Gürbüz ve diğerleri, 2012; Wieszala ve diğerleri, 2011; Perçin ve Gök, 2013; Eren ve Gür, 2017)
	Geniştirilebilirlik	(Bowen ve diğerleri, 1985; Ayağ, 2010; Ayağ, 2015; Durán, 2011; Bozdog ve diğerleri, 2003; Zakria ve diğerleri, 2010)
	Kurulum Yeteneği	(Bayraktar ve Efe, 2006; Şen ve diğerleri, 2009; ISO/IEC 25010:2011, 2021; McCall ve diğerleri, 1977; Bowen ve diğerleri, 1985; Murine, 1980)

Ana Kriterler	Alt Kriterler	Referanslar
Uyarlama ve Teknik Altyapı (9 alt kriter) (devamı)	Modülerlik	(Hanine ve diğerleri, 2016; Piengang ve diğerleri, 2019; Bayraktar ve Efe, 2006; Şen ve diğerleri, 2009; Efe, 2016; ISO/IEC 25010:2011, 2021; Görener, 2011; Durán, 2011)
	Performans Verimliliği	(Puzovic ve diğerleri, 2019; Singh ve Misra, 2018a; Şen ve diğerleri, 2009; ISO/IEC 25010:2011, 2021; McCall ve diğerleri, 1977; Bowen ve diğerleri, 1985; Murine, 1980; Rouhani ve Ravasan, 2014; Ayağ, 2010; Minetola ve diğerleri, 2015; Ayağ, 2015; Myung, 2008; Mulebeke ve Zheng, 2006; Zakria ve diğerleri, 2010; Perçin ve Gök, 2013)
	Uyarlanabilirlik	(Paavel ve diğerleri, 2017; Chuang, 2009; Singh ve Misra, 2018a; Piengang ve diğerleri, 2019; Vengugopalan ve diğerleri, 2008; Şen ve diğerleri, 2009; ISO/IEC 25010:2011, 2021; McCall ve diğerleri, 1977; Murine, 1980; Görener, 2011; Sanga ve Venter, 2015; Rouhani ve Ravasan, 2014; Prasad ve Chakraborty, 2016; Durán, 2011; Myung, 2008; Lee ve diğerleri, 2008b; Gürbüz ve diğerleri, 2012; Eren ve Gür, 2017)
	Uyumluluk	(Paavel ve diğerleri, 2017; Vengugopalan ve diğerleri, 2008; Bayraktar ve Efe, 2006; Şen ve diğerleri, 2009; Bernroider ve Koch, 2001; ISO/IEC 25010:2011, 2021; Murine, 1980; Görener, 2011; Ayağ, 2010; Samanlioglu ve Ayağ, 2019; Prasad ve Chakraborty, 2016; Ayağ, 2014; Ayağ, 2012) (Ayağ, 2015; Myung, 2008; Zakria ve diğerleri, 2010; Gürbüz ve diğerleri, 2012)
	WEB Tabanlı Uygulama Desteği	(Zhang ve diğerleri, 2013a; Bayraktar ve Efe, 2006)
Veri Yönetimi (4 alt kriter)	Bilgi Güvenliği	(Zhang ve diğerleri, 2013a; Singh ve Misra, 2018a; Hanine ve diğerleri, 2016; Vengugopalan ve diğerleri, 2008; Bayraktar ve Efe, 2006; Şen ve diğerleri, 2009; ISO/IEC 25010:2011, 2021; Görener, 2011; Rouhani ve Ravasan, 2014; Myung, 2008; Ergu ve Peng, 2014; Gürbüz ve diğerleri, 2012; Perçin ve Gök, 2013)
	Güvenilirlik	(Hanine ve diğerleri, 2016; Piengang ve diğerleri, 2019; Eastham ve diğerleri, 2013; Bayraktar ve Efe, 2006; Şen ve diğerleri, 2009; Efe, 2016; Rouyendegh ve Erkan, 2011; ISO/IEC 25010:2011, 2021; McCall ve diğerleri, 1977; Bowen ve diğerleri, 1985; Murine, 1980; Görener, 2011; Rouhani ve Ravasan, 2014; Durán, 2011; Ergu ve Peng, 2014; Gürbüz ve diğerleri, 2012; Wieszała ve diğerleri, 2011; Perçin ve Gök, 2013; Eren ve Gür, 2017)
	Yedekleme ve Kurtarma	(Hanine ve diğerleri, 2016; Piengang ve diğerleri, 2019; Şen ve diğerleri, 2009; Ergu ve Peng, 2014)
	Yetkilendirme Yönetimi	(Singh ve Misra, 2018a; Vengugopalan ve diğerleri, 2008; Şen ve diğerleri, 2009)
Servis ve Teknik Destek (1 alt kriter)	Servis ve Teknik Destek	(Zhang ve diğerleri, 2013a; Puzovic ve diğerleri, 2019; Chuang, 2009; Singh ve Misra, 2018a; Hanine ve diğerleri, 2016; Piengang ve diğerleri, 2019; Vengugopalan ve diğerleri, 2008; Bayraktar ve Efe, 2006; Şen ve diğerleri, 2009; Bernroider ve Koch, 2001; Efe, 2016; Görener, 2011; Rouhani ve Ravasan, 2014; Ayağ, 2010; Minetola ve diğerleri, 2015; Samanlioglu ve Ayağ, 2019; Ayağ, 2014; Ayağ, 2020; Ayağ, 2015; Durán, 2011; Myung, 2008; Zakria ve diğerleri, 2010; Gürbüz ve diğerleri, 2012; Wieszała ve diğerleri, 2011; Perçin ve Gök, 2013; Eren ve Gür, 2017)

Literatürde yazılım seçimi ile ilgili sistem yöneticileri perspektifinden yapılan kapsamlı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma PLM yazılım seçim kriterlerinin sistem yöneticileri perspektifinden seçilmesini ve değerlendirmesini içermesinden dolayı farklı bir yaklaşım içermektedir.

Çalışma kapsamında belirlenen PLM yazılım seçimini etkileyen kriterler ve bu kriterlerin detaylı açıklamaları aşağıda belirtilmiştir:

Fonksiyonel uygunluk

Yazılım alternatifinin şirketin iş süreçlerine, uygulamalarına ve sistem gereksinimlerine uygunluğunun bir ölçüsüdür (Şen ve diğerleri, 2009). Organizasyonel süreçleri yazılıma uyarlamak köklü değişiklikler gerektirmektedir ve uygulamada ciddi sorunlar yaratmaktadır (Keil ve Tiwana, 2006). Kaynak kodları ulaşılabilir olmadığından şirketlerin yazılım üzerinde düzenleme yapmaları kolay olmamaktadır. Bu yüzden yazılım alternatifinin şirket iş süreçlerine ve uygulamalarına uygunluğu detaylı olarak değerlendirilmelidir. Ayrıca seçilecek PLM yazılımının şirketlerdeki konfigürasyon yönetimi standardının tüm şartlarını yerine getirdiğinden emin olunmalıdır (PLM ve Ötesi, 2021). Fonksiyonel uygunluk ana kriteri aşağıda belirtilen beş alt kriteri kapsamaktadır.

Gelişmiş arama ve raporlama: PLM yazılımları ürünlerin tüm mühendislik verilerinin kaydedilmesini, güncellenmesini ve ürün yaşam döngüsü boyunca alınan kararların gerekçelerini kayıt altında tutan araçlardır. Bu fonksiyonları yerine getirmek için çoklu CAD veri yönetimi, doküman yönetim sistemi, veri tabanı, arama motoru yeteneklerinin yeterli olması gerekmektedir (IFS, 2021). Gelişmiş arama ve raporlama özelliği, istenen bilgilere ulaşım hızını artırır ve doğru kararların alınmasına yardımcı olur. Bu sebeplerden dolayı seçilecek PLM yazılımın standardında olan arama ve raporlama özelliğinin fonksiyonelliği incelenmelidir. Ayrıca ek arama ve raporlama ihtiyacı olması durumunda geliştirmelerin tedarikçi firmaya bağlı olmadan şirket içerisindeki kullanıcı veya sistem yöneticileri tarafından kolaylıkla yapılabilmesinden emin olunmalıdır (Bayraktar ve Efe, 2006; Vengugopalan ve diğerleri, 2008; Efe, 2016; Hanine ve diğerleri, 2016; Piengang ve diğerleri, 2019).

Gömülü görselleştirme ve biçimlendirme: Üretim süreçlerine geçmeden önce ürünün “neye benzediğini” ve “üretilebilirliğini” görebilmek şirketler için çok kritiktir. PLM yazılımları, farklı disiplinlerde çalışan ekiplerin mühendislik tasarımlarını 3 boyutlu (3D) olarak görmesini, model üzerinde ölçümler yapıp, kesit almasını ve farklı revizyonlar arasında karşılaştırma yapmasını sağlayan ve gerçek zamanlı olarak kompleks ürün yapılarını analiz etme imkanlarını sunan araçlardır (Ceran ve Okur, 2008). CAD tecrübesi olmadan da görselleştirme ve biçimlendirme yapılabilmelidir (Endüstri 4.0, 2021; Zhang ve diğerleri, 2013a; Chuang, 2009; Piengang ve diğerleri, 2019; Vengugopalan ve diğerleri, 2008).

İzlenebilirlik ve iş akış yönetimi: Dijital ürün izlenebilirliğinin ürün yaşam döngüsü boyunca sağlanması ve ürün üzerinde yapılan tüm değişikliklerde uygun etki analizlerinin yapılması hayati önem arz etmektedir (informatik plm, 2021). PLM yazılımları, bu etkileri dikkate alarak güncel ve doğru bilgileri doğru kişilere doğru zamanda aktaran, ürünle ilgili tüm bilgileri ve verileri tek bir sistemde depolayan, lokasyondan bağımsız uçtan uca izlenebilirliği ve denetlenebilirliği sağlayan bir yapıda olmalıdır. Tam bir izlenebilirliğe sahip olunması etkili bir değişiklik yönetimi sürecinin de temelidir. Sistem üzerinde oluşturulan önemli performans ölçümlerini (KPI) yapmak, analiz etmek ve farkındalık yaratmak için de temel sağlamaktadır. Her bir kullanıcının sistemdeki tüm hareketlerinin izlenebilmesi (log kayıtlarının tutulması) ve raporlanabilmesi özelliği ile bilgi güvenliği gereksinimlerini de karşılamalıdır.

Kullanım kolaylığı: Gerekli eğitimleri aldıktan sonra programı kullanacak çalışanların ve sistem yöneticilerinin program kullanımındaki kolaylığını ifade etmektedir. Yazılımın kullanıcı ara yüzü, fonksiyonlara erişim ve kullanım kolaylığı, kullanıcıların yapabileceği hatalara karşı korumasının olması, hata ve bilgilendirme mesajları, yardım bölümü, kısayolların oluşturulabilmesi gibi özelliklerin incelenmesi gerekmektedir (Puzovic ve diğerleri, 2019; Hanine ve diğerleri, 2016; Piengang ve diğerleri, 2019; Vengugopalan ve diğerleri, 2008; Şen ve diğerleri, 2009; Bernroider ve Koch, 2001; Efe, 2016; Görener, 2011; Ayağ, 2010).

Yazılım işlevselliği: Seçilecek PLM yazılımı hem teknoloji hem de altyapı olarak şirketin mevcut ihtiyaçlarını ve ileride doğacak olası ihtiyaçlarını karşılayabilecek yetenekte olması gerekmektedir. Doküman yönetim sistemi, gereksinim yönetimi, çoklu CAD veri yönetimi, kapsamlı ürün ağacı yönetimi, değişim ve konfigürasyon yönetimi gibi yetenekleri

konusunda şirketin ihtiyacını karşılama düzeyinin detaylı incelenmesi gerekmektedir. Ülkeye özgü ve uluslararası gereksinimleri (çoklu dil desteği gibi) karşılayabilme olanakları da mutlaka incelenmelidir.

Uyarlama ve teknik altyapı

Yazılım alternatiflerinin teknik yönden güçlü ve zayıf yönlerinin detaylı değerlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca şirket gereksinimlerine göre tedarikçi firmaya bağlı kalmadan yapılacak bakım ve özelleştirmelerle ilişkili özelliklerin de mutlaka detaylı sorgulanması ve incelenmesi gerekmektedir. Uyarlama ve teknik alt yapı ana kriteri aşağıda belirtilen dokuz alt kriteri kapsamaktadır.

Analiz edilebilirlik: Yazılımda meydana gelen bir hatanın ana sebebini belirleme yeteneğini temsil eder. Hata kaynaklarının ve eksikliklerin tanımlanması konusunda yazılım geliştirme dokümanlarına, log'lara, kaynak koda vb. bakılarak sistemin analiz edilebilme durumudur.

Birlikte çalışabilirlik: Yazılımın şirket içerisinde kullanılan diğer sistemler ile (CAD, ERP, MES, SCM, ...) iletişim kurabilme yeteneğini temsil eder. İş birliği yapma yeteneği (multi site collaboration), XML standardı gibi yeteneklerin incelenmesi gerekmektedir. Diğer tüm sistemlerle entegre olabilen bir PLM yazılımı bütünsel izlenebilirliğe olanak sağlar. PLM yazılımları CAx yeteneklerini içermese bile bu yazılımlar ile veri alışverişi yapabilecek ara yüzlere sahip olmalıdır. Fakat PLM CAD/CAM/CAE entegrasyonunda farklı firmaların ürünleri kullanıldığında sorunlar çıkabileceği unutulmamalıdır. Farklı CAD/CAM/CAE ve PLM firmaları olsa bile sorunsuz bir entegrasyonun iyi çözüm ortakları ile yapılabileceği de unutulmamalıdır (PLM ve Ötesi, 2021).

Genişletilebilirlik: Veri kaybına uğramadan ve kurulu sisteme zarar vermeden geliştirme yapabilme ve yeni modüller ekleyebilme yeteneğini temsil etmektedir. Örneğin yeni bir uygulama satın alındığında diğer modüllerin çalışmasının etkilenmemesi ve platform bütünlüğünün bozulmaması beklenmektedir. Yazılımın firma bünyesinde sürüm güncellemesinin yapılabilmesi, kullanılan programlama dilinin yaygınlığı, yazılımın çalıştığı platformun bağımsızlığı gibi faktörler dikkate alınmalıdır.

Kurulum yeteneği: Yazılımın kurulması için harcanan çaba kurulum yeteneğini temsil etmektedir. Kurulum için gerekli sunucu, yazılım ve donanım ihtiyaı, lisans yönetimi, veri depolama gibi gereksinimler dikkate alınmalıdır.

Performans verimliliği: Hız (komutlara verilen cevap süresi), kapasite (aynı anda kaç kişi kullanabilir gibi), kaynakların verimli kullanılması (dağıtık (multi thread) alışabilme yeteneği) gibi yetenekleri temsil etmektedir. İşlem ve veri hacmi artışlarında performans durumu kullanıcılar için önemli bir faktördür.

Uyarlanabilirlik (zelleştirme kolaylığı): şirketin ihtiyaçlarına göre uyarlanabilme yeteneğini ifade etmektedir. Bir sistemde yapılan değişiklik için gerekli çaba miktarı, yapılan değişikliklerle beraber yazılımın beklenmeyen etki doğurması risk derecesi, sistemi durdurmadan geliştirme yapılabilmesi gibi faktörler değerlendirilmelidir. Uyarlanabilirlik kriteri organizasyonun esnek olmasını sağlayacağı için kritiktir.

Uyumluluk: Yazılımın mevcut işletim sistemi, donanım ve veri tabanlarıyla uyumluluğunu ifade etmektedir. Yazılımın farklı donanım, yazılım veya diğer kullanım ortamları için etkili ve verimli bir şekilde uyarlanabilmesi, farklı paket programlar/yazılımlar ile uyumluluğu, çalışabildiği işletim sistemi (Linux, Unix, vb.) ve veritabanı uyumluluğu seçim aşamasında mutlaka dikkate alınmalıdır.

WEB tabanlı uygulama desteği: Web tabanlı uygulama desteği ile dünyanın her yerinden herhangi ekstra bir kurulumla ihtiyaç duymadan sisteme erişim sağlanabilmektedir. Böylece lokasyon bağımsız şirket içi ve tedarikçi, müşteri gibi şirket dışı kullanıcılar ile iş birliği ortamı oluşturulabilmektedir.

Modülerlik: Yazılım işlevselliğini tam olarak karşılayabilmek için yazılımın sahip olduğu tüm modüllerin yeterli olması ve kendi içinde entegre olarak çalışması anlamında değerlendirilmektedir (Wei ve diğerleri, 2005). Ortak bir platform üzerinde birbirleriyle uyumlu çalışabilecek şekilde tasarlanmış modüllerden oluşması, modüllerin birbiri ile bağımlılık durumu (bir modülde yapılan değişiklik diğerinin yapısını bozar mı?) incelenmelidir. Uyarlama sürecinin daha sağlıklı ve hızlı olarak işletilmesini sağlayacağı için önemlidir.

3. Veri yönetimi

Ürün yaşam döngüsü boyunca üretilen bilgilerin ve verilerin sınıflandırılmasını, yönetilmesini (erişimi, korunması, yayılması, paylaşılması ve kullanılması) güvenli ve kontrollü bir şekilde yapabilmeyi ifade etmektedir. Veri yönetimi ana kriteri aşağıda belirtilen dört alt kriteri kapsamaktadır.

Bilgi güvenliği: PLM yazılımı bünyesinde tutulacak verinin belirlenen yetkiler çerçevesinde güvenliğinin ve gizliliğinin sağlanmasını ifade eder. Hatayla veya kasten programlara ve verilere yetkilendirilmemiş erişimi önleyebilmesi ya da bilgi veya program üzerine saldırı düzenleyen yetkisiz kullanıcıların izinsiz değişiklik yapmasını engelleyebilmesi şirketler için hayati öneme sahiptir.

Güvenilirlik: Yazılımın ilk kez karşılaştığı durumlarda performans seviyesini koruyabilme becerisini ifade etmektedir. Çökme sıklığının düşük olması, yazılımın kurtarma yeteneği, sistemin işlevlerini yerine getirememesi durumunda etkilenen verinin geri yüklenebilmesi, yazılımın minimum hata seviyesine indirgenmiş olması, yazılımın olgunluğu, hata toleransı gibi faktörler bu kapsamda değerlendirilmektedir.

Yedekleme ve kurtarma: Teknik bir aksaklıkla karşılaşılması durumunda yazılım programında tutulan verinin kurtarılabilmesi, veri yedeğinin düzenli olarak alınabilmesi ve kullanıcı açısından da uygulama katmanında veri yedeğinin alınabilirliği gibi faktörler incelenmelidir.

Yetkilendirme yönetimi: Proje, rol, kişi, uygulama, veri modeli bazlı erişim yetkileri gibi geliştirilmiş yetkilendirmelerin yapılabilme kolaylığını ifade etmektedir.

4. Servis ve teknik destek

PLM yazılımının tedarik edildiği firmanın desteğinin yeterliliği, hızı, kalitesi, sektördeki tecrübesi, uzaktan erişilebilirliğini ifade etmektedir. Danışmanlık hizmeti, forumlar, sistem yöneticileri ve kullanıcılar için sunulan yardım dokümanları, çevrimiçi yardım, web üzerinde oluşturulmuş etkin bir öğrenme portalı ile belirli eğitimlerin alınabilmesi gibi faktörler bu kapsamda değerlendirilmektedir.

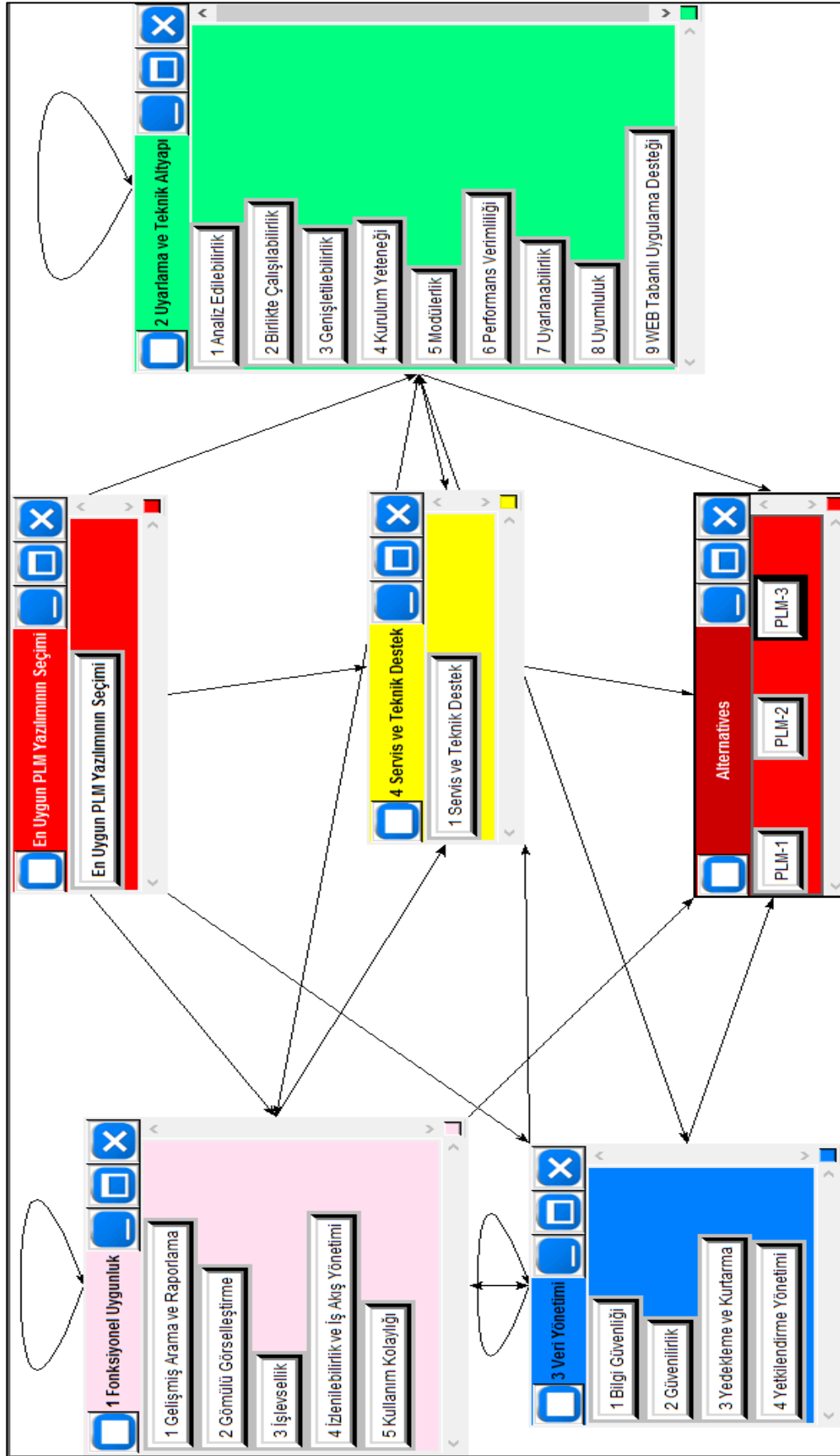
5.2. PLM Yazılım Alternatiflerinin Belirlenmesi

Değerlendirilmesi yapılan alternatif yazılımların ismini gizlilik nedeniyle vermemek adına PLM yazılım alternatifleri tez çalışması içerisinde PLM-1, PLM-2 ve PLM-3 olarak adlandırılmıştır.

Belirlenen alternatif yazılımlar CMII (Konfigürasyon Yönetimi 2) onayını almış, dünyada savunma sanayiide yoğunlukla kullanılan yazılımlardır. CMII (Konfigürasyon Yönetimi 2), konfigürasyon yönetimi ile ilgili yapılan tüm aktiviteleri ifade etmektedir.

5.3. Karar Probleminin Ağ Yapısının Oluşturulması

PLM yazılım seçim kriterleri belirlendikten sonra, ana ve alt kriterler arasındaki ve alternatifler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi gereklidir. Bu bağlamda uzman görüşleri ve literatür araştırmalarından faydalanılarak iç ve dış bağımlılıklar belirlenmiştir. PLM yazılım seçiminde kullanılacak ana ve alt kriterler arasındaki etkileşim ve bağımlılıklara göre “Super Decision” programı yardımıyla oluşturulan ağ yapısı şekil 5.1’de gösterilmiştir. Şekilde gösterilen ağ yapısındaki okların yönü etkileyen kümeden etkilenen kümeye doğru yönelmekte yani etki yönünü göstermektedir. Örneğin, şekil 5.1’den anlaşılacağı üzere “Fonksiyonel Uygunluk” ana kriteri “Servis ve Teknik Destek” ana kriterini etkilemektedir.



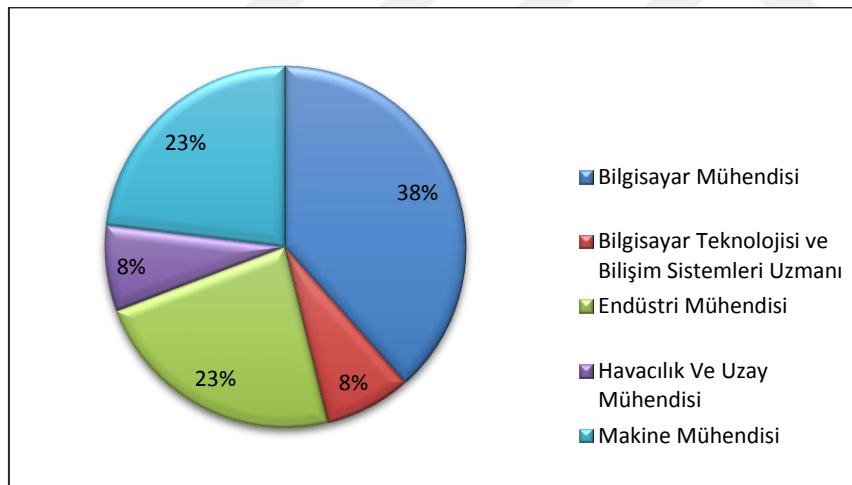
Şekil 5.1. PLM yazılım seçimi karar probleminin ağ yapısı

5.4. ANP Yöntemi ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi ve Yazılım Seçimi

ANP yöntemi kabaca iki temel aşamadan oluşmaktadır. Birincisi, karar probleminin ağ yapısının oluşturulmasıdır. İkincisi ise faktörlerin önceliklerinin hesaplanmasıdır.

5.4.1. İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması ve tutarlılık analizi

Ağ yapısı oluşturulduktan sonra birbiri ile ilişkili olan faktörlerin ikili karşılaştırmalarının yapılabilmesi için anket uygulaması yapılmıştır. İkili karşılaştırma matrisleri, savunma sanayii sektöründe bilgi teknolojileri ve mühendislik departmanlarında tecrübesi olan PLM yazılımı sistem yöneticisi 13 kişiye anket uygulanarak elde edilmiştir. Kişilerin meslek bilgisi yüzdeleri şekil 5.2’de gösterilmiştir. Karar vericilerin ortalama mesleki tecrübe süreleri 11 yıldır. Anket sonuçlarının daha tutarlı ve doğru olması için uzman grubundaki kişiler belirlenirken alternatif sistemlerden en az ikisi konusunda tecrübesi olmasına özellikle dikkat edilmiştir.



Şekil 5.2. Karar vericilerin meslek bilgisi yüzdeleri

Anketler yapılmadan önce değerlendirmenin nasıl yapılacağı, değerlendirme ölçeği, kriterler ve alternatifler hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. Anket karar vericilere excel ortamında şekil 5.3’te gösterildiği gibi verilmiştir. Ankette ikili karşılaştırmaların yapılması için faktörlerin önem ağırlıklarının belirlenmesinde Saaty tarafından önerilen 1–9 skalasından faydalanılmıştır (Bkz. Çizelge 4.1). Anketin tamamı Ek-1’de verilmiştir. Karar vericilerin yanlış seçim ya da atlama yapmaması adına bazı kontroller ve uyarıcılar Excel programına eklenmiştir.

"A" sütununda belirtilenlere göre ilgili satırdaki kriterlerin birbirlerine göre önem derecelerini belirleyiniz. "A" Sütunundaki bilgilerin filtrelenecek doldurulması sağlıklı olacaktır.	KRİTER#1	sinilde daha önemli a değer	k daha önemli a değer	luka önemli a değer	az daha fazla önemli a değer	k derecede önemlidir a değer	az daha fazla önemli a değer	luka önemli a değer	k daha önemli a değer	sinilde daha önemli a değer	KRİTER#2	"U" Sütunundaki bilgiler seçim sonucunuzu belirtmektedir. Bu sütundaki bilgilerden atlanan var mı diye de kontrol edebilirsiniz.
PLM Yazılım Seçimi	Fonksiyonel Uygunluk										Uyarlama ve Teknik Altyapı	Uyarlama ve Teknik Altyapı, Fonksiyonel Uygunluk'a göre Oldukça önemli
PLM Yazılım Seçimi	Fonksiyonel Uygunluk								6	7	Veri Yönetimi	Tek seçim yapınız!
PLM Yazılım Seçimi	Fonksiyonel Uygunluk										Servis ve Teknik Destek	Lütfen seçim yapınız!
PLM Yazılım Seçimi	Uyarlama ve Teknik Altyapı										Veri Yönetimi	Lütfen seçim yapınız!
PLM Yazılım Seçimi	Uyarlama ve Teknik Altyapı							5			Servis ve Teknik Destek	Servis ve Teknik Destek, Uyarlama ve Teknik Altyapı'a göre Oldukça önemli
PLM Yazılım Seçimi	Veri Yönetimi				3						Servis ve Teknik Destek	Veri Yönetimi, Servis ve Teknik Destek'a göre Biraz daha fazla önemli

Şekil 5.3. Çalışmada yapılan anketin görünümü

Yapılan ikili karşılaştırmalar üç aşamada ele alınmıştır.

- Kriter kümelerinin birbirlerine olan etkilerine göre yapılan ikili karşılaştırmalar,
- Alt kriterlerin amaca ve birbirlerine olan bağımlılıklarına göre yapılan ikili karşılaştırmalar,
- Alternatiflerin kriterlere göre yapılan ikili karşılaştırmalar.

Anket grubunun yaptığı değerlendirmeler, Microsoft Excel Office 2013 uygulaması kullanılarak *geometrik ortalama* yöntemi ile birleştirilmiştir. Excel'de "pivot table" ile karar vericilerin değerlendirme verileri şekil 5.4'te gösterildiği gibi özetlenmiştir ve "GEOMEAN" fonksiyonu ile kolaylıkla hesaplanmıştır. Bu değerler "Super Decision" paket programındaki "Assess/Compare" (karşılaştırma) menüsündeki "Pairwise Comparisons" (ikili karşılaştırma) sekmesi kullanılarak tek tek programa girilmiştir. Bu amaçla ikili ilişkiler dikkate alınarak 144 adet ikili karşılaştırma matrisi ele alınmıştır. Elde edilen ikili karşılaştırma matris değerleri ve tutarlılık analizi sonuçları EK-2'de bulunmaktadır.

VLOOKUP		=GEOMEAN(D5:P5)	
A	B	D	E
1	GEOMEAN(number1; [number2]; ...)		
2			
3	Sum of TOPLAM	KA	
4	AMAÇ KRİTER#1 KRİTER#2	KV1 KV2 KV3 KV4 KV5 KV6 KV7 KV8 KV9 KV10 KV11 KV12 KV13	GEOMEAN
5	PLM Yazılım Seçimi 1-Fonksiyonel U 2-Uyarlama ve Teknik Altyapı	0,3 7 0,2 3 3 0,2 0,3 1 4 3 0,3 0,3	3 =GEOMEAN(D5:P5)
6	PLM Yazılım Seçimi 1-Fonksiyonel U 3-Veri Yönetimi	0,3 4 0,1 2 1 0,2 0,3 1 3 1 0,3 0,2	1 0,651498065
7	PLM Yazılım Seçimi 1-Fonksiyonel U 4-Servis ve Teknik Destek	2 6 0,1 5 0,3 0,2 0,5 3 4 3 0,1 1	0,2 0,883553958
8	PLM Yazılım Seçimi 2-Uyarlama ve 13-Veri Yönetimi	3 0,1 0,3 1 0,5 5 0,3 3 0,3 0,3 1 0,3	1 0,716965608
9	PLM Yazılım Seçimi 2-Uyarlama ve 14-Servis ve Teknik Destek	4 7 0,2 5 0,2 5 2 3 3 3 0,2 0,5	1 1,450664439
10	PLM Yazılım Seçimi 3-Veri Yönetimi 4-Servis ve Teknik Destek	2 9 3 3 0,3 1 4 3 3 3 0,1 4	3 2,030881909

Şekil 5.4. Değerlendirme verilerinin geometrik ortalamasının alınması

Şekil 5.5 ve şekil 5.6'daki görüntülerin sağ tarafında yer alan sonuç ("3.Results") alanındaki değerler ise, ana kriterlerin önceliklerini yani önem düzeylerini belirten öz vektör değerlerini belirtmektedir. Matrisin tutarlılık oranı "0,00888" olarak hesaplanmıştır. Bu oran 0,1'den küçük olduğu için karşılaştırmalar tutarlıdır. Çizelgeden görüleceği üzere en uygun PLM yazılım seçim amacını en fazla "0,35014" değeri ile "Veri Yönetimi" kümesi, en az "0,19224" değeri ile "Servis ve Teknik Destek" kümesinin etkilediği görülmektedir.

Aynı şekilde kriter kümeleri, birbirlerine olan etkilerine göre birbirleri ile karşılaştırılmıştır ve elde edilen küme ağırlıkları hesaplanmıştır. Her bir matrisin tutarlılık oranı 0,1 değerinden düşük çıkmıştır. İkili karşılaştırma matris değerleri ve tutarlılık oranları EK-2'de verilmiştir.

Super Decisions programında "Computations" menüsündeki "Cluster Matrix" seçimi yapıldığında gelen ekrandaki hesaplamalar sonucu elde edilen toplam ağırlık değerleri şekil 5.7'de gösterilmiştir.

Super Decisions Main Window: EN UYGUN PLM YAZILIM SECIMI HESAPLAMASI.sdmod: Cluster Matrix View						
Cluster Node Labels	1 Fonksiyonel Uygunluk	2 Uyarlama ve Teknik Altyapı	3 Veri Yönetimi	4 Servis ve Teknik Destek	Alternatives	En Uygun PLM Yazılımının Seçimi
1 Fonksiyonel Uygunluk	0.186122	0.144636	0.140795	0.000000	0.000000	0.210417
2 Uyarlama ve Teknik Altyapı	0.240928	0.262301	0.187064	0.000000	0.000000	0.247209
3 Veri Yönetimi	0.260122	0.265049	0.377612	0.000000	0.000000	0.350139
4 Servis ve Teknik Destek	0.206579	0.222342	0.196174	0.000000	0.000000	0.192236
Alternati ves	0.106250	0.105673	0.098355	1.000000	0.000000	0.000000
En Uygun PLM Yazılımının Seçimi	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Done						

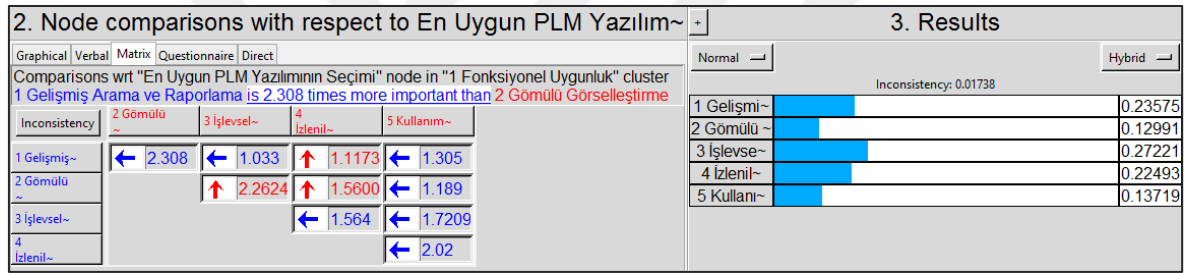
Şekil 5.7. Kriter kümelerinin (ana kriterler) hesaplanan ağırlıkları

Elde edilen küme ağırlıkları süpermatrisin stokastik yapıya dönüştürülmesi (süper matrisin sütunları toplamının 1'e eşit olması gerekmektedir) işleminde kullanılacaktır. İkili karşılaştırmalar sonucunda elde edilecek olan ağırlıklandırılmamış süpermatristeki kriterlerin öz vektör değerleri, şekil 5.7'de verilen küme ağırlıkları matrisindeki değerlerle çarpılarak ağırlıklandırma işlemi yapılacaktır.

2) Alt kriterlerin amaca ve birbirlerine olan bağımlılıklarına göre ikili karşılaştırmaları

Küme ağırlıkları elde edildikten sonra tüm kümeler (ana kriter) içerisindeki kriterlerin (alt kriter) amaca ve ağ yapısındaki ilişkilerine göre (iç bağımlılık-dış bağımlılık) gerekli karşılaştırmaların yapılarak öz vektör değerlerinin hesap edilmesi gerekmektedir. Elde edilecek bu değerler süpermatrisin amaç sütununda yerini alacaktır.

Amaç açısından değerlendirilen “Fonksiyonel Uygunluk” kümesindeki kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi Şekil 5.8’de gösterilmiştir. “En uygun PLM yazılım seçim” amacı açısından “Fonksiyonel Uygunluk” kümesi içerisindeki kriterler değerlendirildiğinde; “0,27221” değeri ile “İşlevsellik” kriterinin öne çıktığını görebiliriz. Bu değerler, kümelerin birbirinden bağımsız olduğu varsayımıyla elde edilmiştir.



Şekil 5.8. Amaç açısından “Fonksiyonel Uygunluk” kriter kümesindeki alt kriterlerin karşılaştırılması

Aynı hesaplamalar amaç açısından diğer kümelere (ana kriterlere) ait kriterlerin değerlendirilmesi için de yapılmıştır. Her bir matrisin tutarlılık oranı 0,1 değerinden düşük çıkmıştır. İkili karşılaştırma matris değerleri ve tutarlılık oranları EK-2’de verilmiştir.

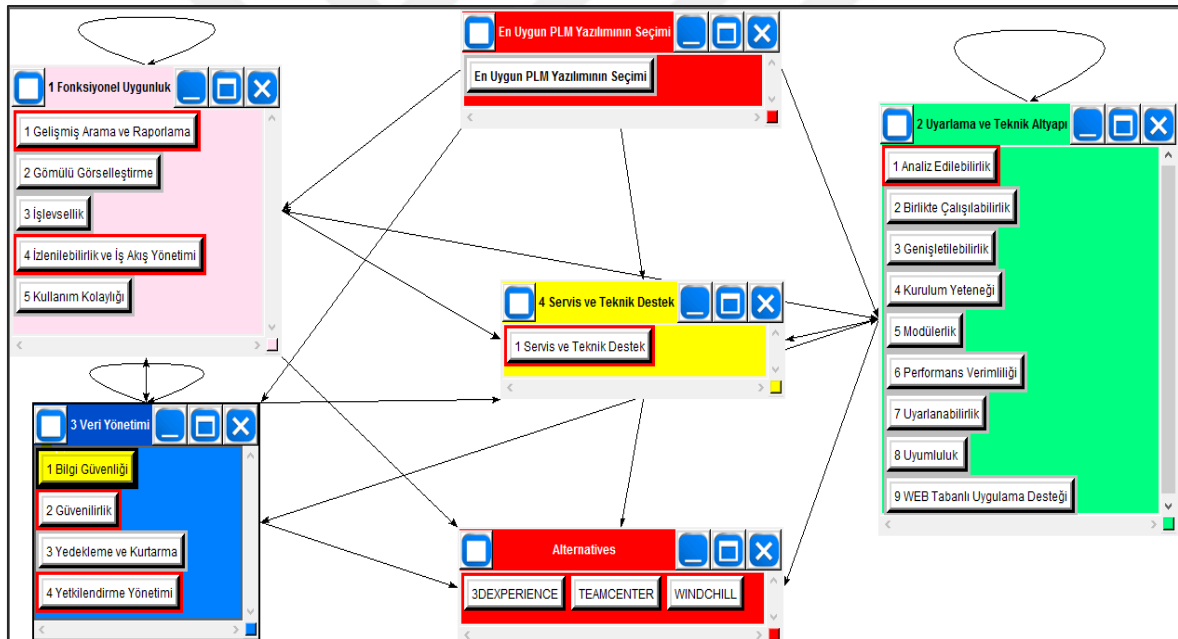
Kriter kümelerinin ve kriterlerin amaç açısından öz vektör değerleri bulunduktan sonra hangi kriterin daha önemli olduğunu gösteren kriterlerin birbirleri üzerindeki etkilerinin önem düzeyleri elde edilmiştir.

Kriterlerin birbirleri arasındaki karşılıklı etkileşimleri “4.3.1. ANP yönteminin uygulama adımları” bölümünde anlatılan iç ve dış bağımlılık durumuna göre 2 aşamada değerlendirilmiştir. Bu bağımlılıkların özvektör değerleri süpermatrise sütun olarak yerleştirilmektedir.

İç bağımlılıkların özvektör değerlerinin hesaplanması

Aynı küme içerisinde birbirini etkileyen kriterler mevcutsa bu kriterlerin birbirleri arasındaki etkileşime iç bağımlılık adı verilmektedir. Bu etkileşime göre ağırlıklarının hesap edilmesi gerekmektedir.

Bir kriteri aynı küme içerisinde sadece bir kriter etkiliyorsa bunun etki düzeyi 1’dir. Aynı küme içerisinde birden fazla kriter etkiliyorsa ikili karşılaştırma yapılması yoluyla etki düzeyleri belirlenmelidir. Örneğin şekil 5.9’da verilen “Veri Yönetimi” kümesinde yer alan “Bilgi Güvenliği” kriteri, aynı küme içerisindeki “Güvenilirlik” ve “Yetkilendirme Yönetimi” kriterlerinden etkilendiği için ikili karşılaştırmalar yolu ile etki düzeyi belirlenmiş olup, öncelik değeri şekil 5.10’da (sağ tarafta) gösterilmiştir.



Şekil 5.9. “Bilgi Güvenliği” kriterinin iç ve dış bağımlılıklarının gösterimi

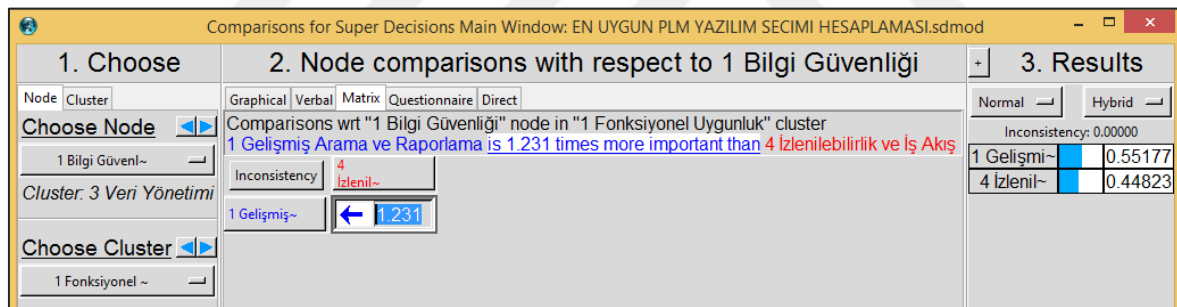
1. Choose		2. Node comparisons with respect to 1 Bilgi Güvenliği		3. Results	
Node	Cluster	Graphical	Verbal	Matrix	Questionnaire
Choose Node		Comparisons wrt "1 Bilgi Güvenliği" node in "3 Veri Yönetimi" cluster			
1 Bilgi Güven~		2 Güvenilirlik is 1.693 times more important than 4 Yetkilendirme Yönetimi			
Cluster: 3 Veri Yönetimi		Inconsistency	4 Yetkil~	Inconsistency: 0.00000	
Choose Cluster		2 Güvenil~	1.6930	2 Güvenil~	0.62867
3 Veri Yönetimi				4 Yetkil~	0.37133

Şekil 5.10. “Bilgi Güvenliği” kriterinin iç bağımlılık öz vektör değerleri

Dış bağımlılıkların öz vektör değerlerinin hesaplanması

Farklı kümeler içerisindeki kriterlerin birbirlerini etkileme durumu mevcutsa bu kriterlerin birbirleri arasındaki etkileşime dış bağımlılık adı verilmektedir. Bu etkileşime göre ağırlıkların hesaplanması gerekmektedir.

İç bağımlılıkta bahsedilen konuyla aynı mantıkta bir kriteri diğer kümedeki sadece bir kriter etkiliyorsa bunun etki düzeyi 1'dir. Örneğin şekil 5.9'dan görüleceği üzere "Veri Yönetimi" kümesinde yer alan "Bilgi Güvenliği" kriterini, "Servis ve Teknik Destek" ve "Uyarılama ve Teknik Altyapı" kümelerindeki sadece bir kriter etkilediği için etki düzeyi 1'dir. Eğer birden fazla kriter etkiliyorsa ise ikili karşılaştırma yapılması yoluyla etki düzeyleri belirlenmelidir. Örneğin şekil 5.9'da gösterilen "Bilgi Güvenliği" kriteri, "Fonksiyonel Uygunluk" kümesi içerisindeki "Gelişmiş Arama ve Raporlama" ve "İzlenebilirlik ve İş Akışı Yönetimi" kriterlerinden etkilendiği için ikili karşılaştırmalar yolu ile etki düzeyi belirlenmiş olup, şekil 5.11'de gösterilmiştir.



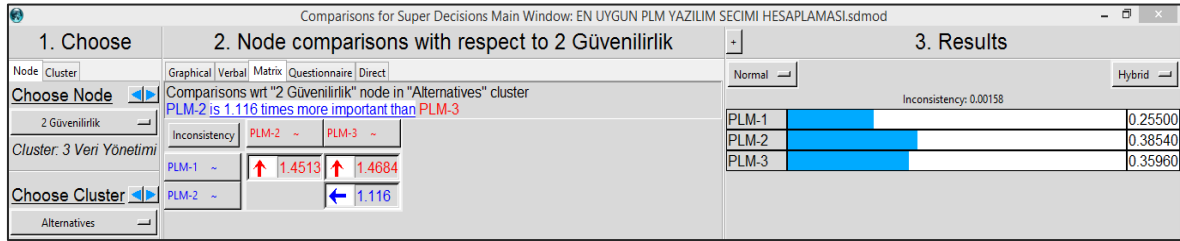
Şekil 5.11. "Bilgi Güvenliği" kriterinin dış bağımlılık öz vektör değerleri

Dış bağımlılıklardan elde edilen öz vektör değerleri, etkilenen kritere ait sütun içerisinde ilgili yerlere eklenir ve etkileyen kümenin ağırlığı ile çarpılır. Böylece kriterin stokastik sütun içindeki değeri hesaplanmış olur.

Tüm alt kriterlerin amaca ve birbirlerine olan bağımlılıklarına göre ikili karşılaştırma matrisleri EK-2'de verilmiştir. Her matrisin tutarlılık oranı 0,1 değerinde küçük çıkmıştır.

3) Alternatiflerin kriterlere göre ikili karşılaştırılmaları

Yazılım alternatifleri tüm kümelerdeki alt kriterler bakımından ikili karşılaştırmalara tabi tutulmuştur. Böylece hangi kriter bakımından hangi yazılım alternatifinin öne çıkarak daha iyi özellik gösterdiği belirlenmiştir. Örneğin, “Güvenilirlik” kriterine göre yazılım alternatiflerinin karşılaştırılması şekil 5.12’de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere, “Güvenilirlik” kriteri konusunda en yüksek ağırlık değerini (0,38540) “PLM-2” yazılım alternatifinin, en düşük ağırlık değerini (0,25500) ise “PLM-1” alternatifinin aldığı görülmüştür.



Şekil 5.12. “Güvenilirlik” kriterine göre alternatiflerin karşılaştırılması

Süpermatrisin oluşturulması ve limit süpermatrisin elde edilmesi

Kriterlerin ve alternatiflerin ilişkilerine göre amaçla ve birbirleri ile ilgili öz vektör değerleri hesaplandıktan sonra oluşturulan ağırlıklandırılmamış süpermatris çizelge 5.2’de gösterilmektedir.

Ağırlıklandırılmamış süpermatriste sütun toplamalarının bir olması için yani stokastik hale getirilmesi için sütunlar daha önce elde edilen küme ağırlıkları ile çarpılır ve çizelge 5.3’teki ağırlıklandırılmış süpermatris elde edilir.

Kriter ağırlıklarının ve alternatiflerin öncelik değerlerinin hesaplanabilmesi için ağırlıklandırılmış süpermatrisin satırlarının durağan hale gelinceye kadar kuvvetinin alınması ile elde edilen limit süpermatris çizelge 5.4’te görülmektedir. Bu hesaplamalar Super Decisions 2.10.0 paket programında "hesaplamalar" (Computations) menüsünde, "limit matris" (limit matrix) sekmesi kullanılarak hızlıca elde edilmiştir. Limit süper matriste alternatiflerin öncelik değerleri ve yazılım seçimine etki eden alt kriterlerin ağırlıkları bilgileri bulunmaktadır. Bulunan alternatif öncelik değerleri ve kriter ağırlıkları çizelge 5.4’te görünmektedir.

		1 FON					2 UYT									3 VER				4 STD	Alternatives			GOAL
		1 GAR	2 GÖR	3 İŞL	4 İZİ	5 KUL	1 ANE	2 BİR	3 GEN	4 KUR	5 MOD	6 PER	7 UYA	8 UYU	9 WEB	1 BİL	2 GÜV	3 YEK	4 YET	1 STD	PLM-1	PLM-2	PLM-3	AMAÇ
1 FON	1 GAR	0,000	0,000	0,000	0,000	0,585	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,314	0,000	0,000	0,552	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,236
	2 GÖR	0,000	0,000	0,500	0,417	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,130
	3 İŞL	1,000	0,000	0,000	0,583	0,415	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,421	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,272
	4 İZİ	0,000	1,000	0,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,448	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,225
	5 KUL	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,265	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,137
2 UYT	1 ANE	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,345	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,130
	2 BİR	0,000	0,431	0,326	0,395	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,273	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,151
	3 GEN	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,627	0,000	0,000	0,000	0,000	0,219	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,097
	4 KUR	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,073
	5 MOD	0,000	0,000	0,200	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,163	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,123
	6 PER	0,688	0,569	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,739	0,000	0,773	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,185
	7 UYA	0,312	0,000	0,324	0,605	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,261	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,123
	8 UYU	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,373	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,227	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,068
	9 WEB	0,000	0,000	0,150	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,050
3 VER	1 BİL	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,486
	2 GÜV	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	1,000	0,408	1,000	0,000	0,629	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,158
	3 YEK	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,406	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,197
	4 YET	0,000	0,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,186	0,000	0,000	0,371	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,159
4 STD	1 STD	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
Alternatives	PLM-1	0,367	0,438	0,333	0,173	0,499	0,298	0,314	0,389	0,332	0,441	0,283	0,249	0,347	0,725	0,486	0,255	0,329	0,249	0,247	0,000	0,000	0,000	0,000
	PLM-2	0,498	0,463	0,373	0,353	0,289	0,361	0,372	0,313	0,367	0,358	0,401	0,322	0,343	0,118	0,322	0,385	0,361	0,392	0,611	0,000	0,000	0,000	0,000
	PLM-3	0,134	0,099	0,294	0,474	0,212	0,341	0,313	0,297	0,301	0,201	0,316	0,429	0,310	0,157	0,192	0,360	0,310	0,358	0,141	0,000	0,000	0,000	0,000
GOAL	AMAÇ	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

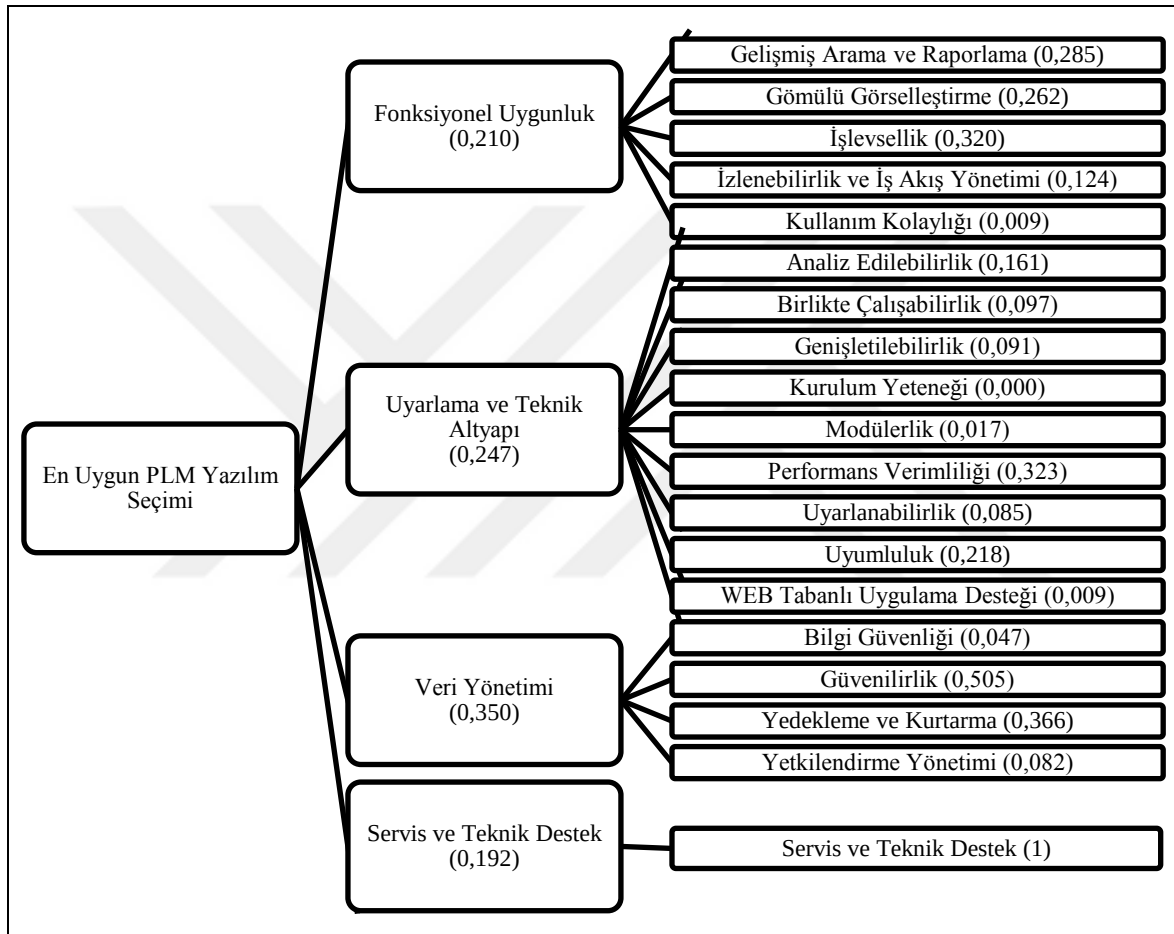
Çizelge 5.2. Ağırlıklandırılmamış süper matris

		1 FON					2 UYT									3 VER				4 STD	Alternatives			GOAL
		1 GAR	2 GÖR	3 İŞL	4 İZİ	5 KUL	1 ANE	2 BİR	3 GEN	4 KUR	5 MOD	6 PER	7 UYA	8 UYU	9 WEB	1 BİL	2 GÜV	3 YEK	4 YET	1 STD	PLM-1	PLM-2	PLM-3	AMAÇ
1 FON	1 GAR	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,000	0,000	0,000	0,000	0,028
	2 GÖR	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,000	0,000	0,000	0,000	0,026
	3 İŞL	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,000	0,000	0,000	0,000	0,031
	4 İZİ	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,012
	5 KUL	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
2 UYT	1 ANE	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,000	0,000	0,000	0,000	0,031
	2 BİR	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000	0,018
	3 GEN	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,000	0,000	0,000	0,000	0,017
	4 KUR	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	5 MOD	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003
	6 PER	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,000	0,000	0,000	0,000	0,061
	7 UYA	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,000	0,000	0,000	0,000	0,016
	8 UYU	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,000	0,000	0,000	0,000	0,042
	9 WEB	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
3 VER	1 BİL	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,012
	2 GÜV	0,129	0,129	0,129	0,129	0,129	0,129	0,129	0,129	0,129	0,129	0,129	0,129	0,129	0,129	0,129	0,129	0,129	0,129	0,000	0,000	0,000	0,000	0,129
	3 YEK	0,094	0,094	0,094	0,094	0,094	0,094	0,094	0,094	0,094	0,094	0,094	0,094	0,094	0,094	0,094	0,094	0,094	0,094	0,000	0,000	0,000	0,000	0,094
	4 YET	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,000	0,000	0,000	0,000	0,021
4 STD	1 STD	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,000	0,000	0,000	0,000	0,151
Alternatives	PLM-1	0,081	0,081	0,081	0,081	0,081	0,081	0,081	0,081	0,081	0,081	0,081	0,081	0,081	0,081	0,081	0,081	0,081	0,081	0,000	0,000	0,000	0,000	0,081
	PLM-2	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,000	0,000	0,000	0,000	0,166
	PLM-3	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058	0,000	0,000	0,000	0,000	0,058
GOAL	AMAÇ	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Çizelge 5.4. Limit süper matris

5.4.2. Kriter ağırlıklarının ve en uygun PLM yazılımının belirlenmesi

Limit matrisin elde edilmesi ile kriterlerin önem dereceleri ve alternatiflerin sıralamaları bulunmuş olmaktadır. Limit matristeki kriter ağırlıklarının ana kriterlere göre hesaplandığı yerel ağırlıklar ve daha önce şekil 5.7’de paylaşılan ana kriter ağırlıkları, şekil 5.13’teki hiyerarşik ağaç yapısı üzerinde ayrıntılı olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.13. Ana kriter ağırlıkları ve alt kriterlerin yerel ağırlıklarına ait hiyerarşik ağaç gösterimi

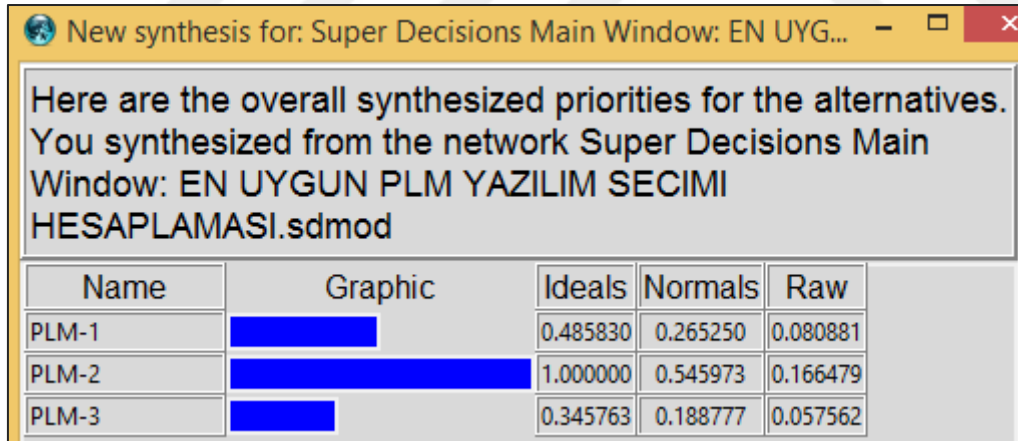
Limit matris’te yer alan ağırlıklar ana kriter ağırlıklarından bağımsız olan değerlerdir. Ana kriter ağırlıklarının alt kriterler üzerindeki etkisi hesaba katılmak istendiğinde genel ağırlıkların bulunması gerekmektedir. Öncelikle limit matris içerisinde alternatifler de olduğu için alt kriterlerin ağırlıkları toplamı 1 olmamaktadır. Bu yüzden alternatifler çıkarıldıktan sonra alt kriter ağırlıkları öncelikle normalize edilmiştir. Böylece global ağırlıklar elde edilmiştir. Sonrasında her bir alt kriterin yerel ağırlığı ilgili ana kriterin ağırlığı ile çarpılmıştır ve genel ağırlıklar elde edilmiştir.

Çizelge 5.5. Alt kriterlerin genel ağırlıkları

Ana Kriterler	Ana Kriter Ağırlıkları	Alt Kriterler	Alt Kriter Ağırlıkları (Limit Matris)	Normalize Alt Kriter Ağırlıkları (Global)	Alt Kriter Ağırlıkları (Yerel)	Genel Kriter Ağırlıkları	Sıralama
Fonksiyonel Uygunluk (FON)	0,210	Gelişmiş Arama ve Raporlama (GAR)	0,028	0,040	0,285	0,060	6
		Gömülü Görselleştirme (GÖR)	0,026	0,037	0,262	0,055	7
		İşlevsellik (İŞL)	0,031	0,045	0,320	0,067	5
		İzlenilebilirlik ve İş Akış Yönetimi (İZİ)	0,012	0,017	0,124	0,026	11
		Kullanım Kolaylığı (KUL)	0,001	0,001	0,009	0,002	18
Uyarlama ve Teknik Altyapı (UYT)	0,247	Analiz Edilebilirlik (ANE)	0,031	0,044	0,161	0,040	9
		Birlikte Çalışılabilirlik (BİR)	0,018	0,026	0,097	0,024	12
		Genişletilebilirlik (GEN)	0,017	0,025	0,091	0,022	13
		Kurulum Yeteneği (KUR)	0,000	0,000	0,000	0,000	19
		Modülerlik (MOD)	0,003	0,005	0,017	0,004	16
		Performans Verimliliği (PER)	0,061	0,088	0,323	0,080	4
		Uyarlanabilirlik (UYA)	0,016	0,023	0,085	0,021	14
		Uyumluluk (UYU)	0,042	0,060	0,218	0,054	8
		WEB Tabanlı Uygulama Desteği (WEB)	0,002	0,002	0,009	0,002	17
Veri Yönetimi (VER)	0,350	Bilgi Güvenliği (BİL)	0,012	0,017	0,047	0,016	15
		Güvenilirlik (GÜV)	0,129	0,186	0,505	0,177	2
		Yedekleme ve Kurtarma (YEK)	0,094	0,135	0,366	0,128	3
		Yetkilendirme Yönetimi (YET)	0,021	0,030	0,082	0,029	10
Servis ve Teknik Destek (STD)	0,192	Servis ve Teknik Destek (STD)	0,151	0,218	1,000	0,192	1

TOPSIS hesaplamalarında kullanılacak alt kriterlerin genel ağırlıkları çizelge 5.5'te gösterilmektedir. Çizelge 5.5 incelenerek, yazılım seçiminde etkili olan ana kriterler ve bu ana kriterler içerisinde öncelikli olan kriterler hakkında fikir sahibi olunabilmektedir. Buna göre, PLM yazılım seçiminde göz önünde tutulması gereken en önemli kriter 0,192 ağırlık değerine sahip “Servis ve Teknik Destek”; yazılım seçiminde hiç etkisi olmayan en düşük öneme sahip kriter ise 0.000 değeri ile “Kurulum Yeteneği” olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.4'te gösterilen limit süper matrisi incelediğimizde alternatifler kısmında her bir kriter için bir ağırlık değeri vardır. Bu ağırlık değerleri yazılım alternatifi seçiminde hangi yazılımın diğerine göre nasıl bir üstünlük sağladığını göstermektedir. Superdecisions programında ‘Computations’ (Hesaplamalar) menüsünden ‘Synthesize Whole Model’ (Tüm Modeli Sentezle) butonu tıklandığında Şekil 5.14'te görülen grafiksel gösterim ekranı gelecektir. Buna göre PLM-2 yazılım alternatifinin 0,546 değeriyle en uygun yazılım olduğu görülmektedir. PLM-2 alternatifine yakın olan PLM-1 alternatifi (0,265) ikinci sırada, PLM-3 alternatifi (0,189) ise son sırada yer almıştır. Bu doğrultuda ANP yöntemine göre PLM-2 yazılımının seçilmesi önerilmektedir.



Şekil 5.14. Analitik ağ süreci yönteminin sonuç ekranı

Çalışmamızda sadece üç PLM yazılım alternatifi değerlendirilmiş olsa da önerilen ANP modelinde daha fazla alternatif arasından seçim yapmak mümkündür. Ancak modelde kullanılması düşünülen alternatif sayısı arttıkça yapılması gereken ikili karşılaştırmaların sayısı da üssel olarak artacaktır. Bu durum seçimin yapılabilmesi için gereken zamanın ve de modelin kompleksliğinin logaritmik olarak artmasına neden olacaktır. Bu sebepten dolayı en uygun PLM yazılım seçiminde en sağlıklı çözüm bu çalışmada “2.4.5. Yazılım

seçim öncesi yapılması önerilen n çalışma” bölümünde önerilen n seçim metodolojisini uygulamak suretiyle yazılım alternatiflerinin sayısını 3 ila 4’e indirilmesi tavsiye edilmektedir. Bu n çalışma sonrası bu tez çalışmasında uygulaması yapılan bütünleşik ANP ve TOPSIS yöntemleri ile alternatifler arasından şirket için en uygun olanını seçmek daha verimli olacaktır.

“Kurulum Yeteneği” kriteri limit matris hesaplaması sonucunda “0” değerini aldığından TOPSIS yöntemine dahil edilmemiştir

5.5. Bütünleşik ANP-TOPSIS Yöntemi ile PLM Yazılım Seçimi

Analitik ağ süreci yöntemi ile probleme ilişkin tüm kriterlere ve alternatiflere ait ağırlıklar yani özvektörler bulunduktan sonra, yazılım alternatiflerinin değerlendirilmesi için izelge 5.6’da gösterilen TOPSIS standart karar matrisi oluşturulmuştur. TOPSIS yöntemine yönelik tüm hesaplamalarda bu standart karar matrisi kullanılmıştır. TOPSIS yöntemine göre vektör normalizasyonu ile normalize edilen karar matrisi izelge 5.7’de verilmiştir. TOPSIS uygulaması “4.4.1. TOPSIS yönteminin uygulama adımları” bölümünde verilen formüllere göre hesaplamalar Microsoft Office Excel 2013 ortamında yapılmıştır.

Ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisinin oluşturulması

Çizelge 5.7’de belirtilen normalize karar matrisi verileri ve ANP yönteminden elde edilen kriter ağırlıkları ile çarpılarak izelge 5.8’de verilen ağırlıklı normalize karar matrisi elde edilmiştir.

Pozitif (A^+) ve negatif (A^-) ideal çözüm değerlerinin belirlenmesi

Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisindeki verilerden en büyükleri ile pozitif (A^+) ideal çözüm değerleri oluşturulmuştur. Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisindeki verilerden en küçükleri ile de negatif (A^-) ideal çözüm değerleri oluşturulmuştur. Pozitif ve negatif ideal çözüm değerleri izelge 5.9’da verilmiştir.

Çizelge 5.6. TOPSIS yöntemi standart karar matrisi

	PLM-1	PLM-2	PLM-3
Gelişmiş Arama ve Raporlama	0,367	0,498	0,134
Gömülü Görselleştirme	0,438	0,463	0,099
İşlevsellik	0,333	0,373	0,294
İzlenilebilirlik ve İş Akış Yönetimi	0,173	0,353	0,474
Kullanım Kolaylığı	0,499	0,289	0,212
Analiz Edilebilirlik	0,298	0,361	0,341
Birlikte Çalışılabilirlik	0,314	0,372	0,313
Geniştirilebilirlik	0,389	0,313	0,298
Modülerlik	0,441	0,358	0,201
Performans Verimliliği	0,283	0,401	0,316
Uyarlanabilirlik	0,249	0,322	0,429
Uyumluluk	0,347	0,343	0,310
WEB Tabanlı Uygulama Desteği	0,725	0,118	0,157
Bilgi Güvenliği	0,486	0,322	0,192
Güvenilirlik	0,255	0,385	0,360
Yedekleme ve Kurtarma	0,329	0,361	0,310
Yetkilendirme Yönetimi	0,249	0,393	0,358
Servis ve Teknik Destek	0,247	0,611	0,141

Çizelge 5.7. TOPSIS yöntemi normalleştirilmiş karar matrisi

	PLM-1	PLM-2	PLM-3
Gelişmiş Arama ve Raporlama	0,580	0,787	0,212
Gömülü Görselleştirme	0,679	0,718	0,153
İşlevsellik	0,574	0,643	0,507
İzlenilebilirlik ve İş Akış Yönetimi	0,281	0,573	0,770
Kullanım Kolaylığı	0,812	0,471	0,345
Analiz Edilebilirlik	0,515	0,624	0,588
Birlikte Çalışılabilirlik	0,543	0,643	0,541
Geniştirilebilirlik	0,670	0,539	0,512
Modülerlik	0,732	0,594	0,333
Performans Verimliliği	0,485	0,687	0,541
Uyarlanabilirlik	0,421	0,545	0,725
Uyumluluk	0,601	0,593	0,536
WEB Tabanlı Uygulama Desteği	0,965	0,157	0,209
Bilgi Güvenliği	0,792	0,525	0,312
Güvenilirlik	0,436	0,658	0,614
Yedekleme ve Kurtarma	0,568	0,625	0,535
Yetkilendirme Yönetimi	0,425	0,669	0,611
Servis ve Teknik Destek	0,367	0,907	0,210

Çizelge 5.8. Ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi

	Ağırlıklar	PLM-1	PLM-2	PLM-3
Gelişmiş Arama ve Raporlama	0,060	0,035	0,047	0,013
Gömülü Görselleştirme	0,055	0,037	0,040	0,008
İşlevsellik	0,067	0,039	0,043	0,034
İzlenilebilirlik ve İş Akış Yönetimi	0,026	0,007	0,015	0,020
Kullanım Kolaylığı	0,002	0,002	0,001	0,001
Analiz Edilebilirlik	0,040	0,021	0,025	0,023
Birlikte Çalışılabilirlik	0,024	0,013	0,015	0,013
Genişletilebilirlik	0,022	0,015	0,012	0,012
Modülerlik	0,004	0,003	0,002	0,001
Performans Verimliliği	0,080	0,039	0,055	0,043
Uyarlanabilirlik	0,021	0,009	0,012	0,015
Uyumluluk	0,054	0,033	0,032	0,029
WEB Tabanlı Uygulama Desteği	0,002	0,002	0,000	0,000
Bilgi Güvenliği	0,017	0,013	0,009	0,005
Güvenilirlik	0,177	0,077	0,116	0,109
Yedekleme ve Kurtarma	0,128	0,073	0,080	0,069
Yetkilendirme Yönetimi	0,029	0,012	0,019	0,018
Servis ve Teknik Destek	0,192	0,071	0,174	0,040

Çizelge 5.9. Pozitif (A^+) ve negatif (A^-) ideal çözüm değerleri

	(A^+) POZİTİF İDEAL	(A^-) NEGATİF İDEAL
Gelişmiş Arama ve Raporlama	0,047	0,013
Gömülü Görselleştirme	0,040	0,008
İşlevsellik	0,043	0,034
İzlenilebilirlik ve İş Akış Yönetimi	0,020	0,007
Kullanım Kolaylığı	0,002	0,001
Analiz Edilebilirlik	0,025	0,021
Birlikte Çalışılabilirlik	0,015	0,013
Genişletilebilirlik	0,015	0,012
Modülerlik	0,003	0,001
Performans Verimliliği	0,055	0,039
Uyarlanabilirlik	0,015	0,009
Uyumluluk	0,033	0,029
WEB Tabanlı Uygulama Desteği	0,002	0,000
Bilgi Güvenliği	0,013	0,005
Güvenilirlik	0,116	0,077
Yedekleme ve Kurtarma	0,080	0,069
Yetkilendirme Yönetimi	0,019	0,012
Servis ve Teknik Destek	0,174	0,040

İdeal Çözümünden Ayrılma Ölçülerinin ve Çözüme Göreli Yakınlığın Hesaplanması

TOPSIS yönteminin ayrılma ölçülerinin hesaplanmasında kullanılan öklidyen uzaklık yaklaşımı ile her bir alternatifin ideal ve negatif ideal çözümden sapmaları bulunmaktadır.

Çizelge 5.9'da belirtilen veriler kullanılarak pozitif ideal (S_i^+) ve negatif ideal (S_i^-) çözüm noktalarına uzaklıklar hesaplanmıştır ve çizelge 5.10'da verilmiştir.

5.5.1. En uygun PLM yazılımının belirlenmesi

Her bir alternatifin ideal çözüme olan göreli yakınlık değerleri (C_i^+) hesaplanmış ve yazılım alternatiflerinin sıralama sonuçları çizelge 5.10'da verilmiştir. Yakınlık değeri 1'e en yakın olan yazılım alternatifi en uygun PLM yazılımı olarak seçilmiştir.

Çizelge 5.10. ANP-TOPSIS yöntemleri ile PLM yazılım alternatiflerinin sıralaması

Alternatifler	POZİTİF İDEALE UZAKLIK (S_i^+)	NEGATİF İDEALE UZAKLIK (S_i^-)	İDEALE GÖRECELİ YAKINLIK (C_i^+)	SIRALAMA
PLM-1	0,114	0,049	0,299	2
PLM-2	0,009	0,149	0,946	1
PLM-3	0,144	0,035	0,198	3

Çizelge 5.10'a göre, PLM yazılım alternatifleri arasından 0,946 yakınlık değeri ile PLM-2 alternatifinin en uygun olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, yakınlık değeri bakımından PLM-2 alternatifine yakın olan PLM-1 alternatifi (0,299) ikinci sırada, PLM-3 alternatifi (0,198) ise son sırada yer almıştır. Bu doğrultuda TOPSIS yöntemine göre PLM-2 yazılımının seçilmesi önerilmektedir.

5.6. ANP ve TOPSIS Yöntemleri ile PLM Yazılım Seçim Sonuçları

Her iki yöntem ile yapılan uygulamalar sonucunda; PLM-2 yazılım alternatifinin en uygun alternatif olduğu sonucuna varılmıştır ve PLM-2 alternatifini sırasıyla PLM-1 ve PLM-3 alternatifleri izlemektedir. Her iki yöntemde de PLM-2 alternatifi diğer iki alternatife göre daha yüksek değer almıştır ve genel sıralama değişmemiştir.

5.7. Duyarlılık Analizi

İkili karşılaştırmaların oluşturulması sırasında yapılan değerlendirmeler kişiden kişiye farklılık gösterebilmektedir ya da değerlendiren kişilerin zaman içerisinde düşünceleri değişebilmektedir. Bu gibi sebeplerden dolayı değişen kriter ağırlıklarının olası etkilerini karar vericilerin bilmesi, daha etkin kararların alınabilmesini sağlar. Duyarlılık analizi, bu olası etkilerin sonucunda alternatiflerin sıralamasının nasıl değişebileceğini gösterebilmektedir. Eğer kriter ağırlıklarında yapılacak küçük değişiklikler tercihlerin sıralanmasında büyük bir değişikliğe sebep olmuyor ise uygulamanın kararlılığı hakkında emin olunabilir. Duyarlılık analizi, girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkinin anlaşılması ve çıktıların kararlılığını ortaya çıkarması açısından önemlidir.

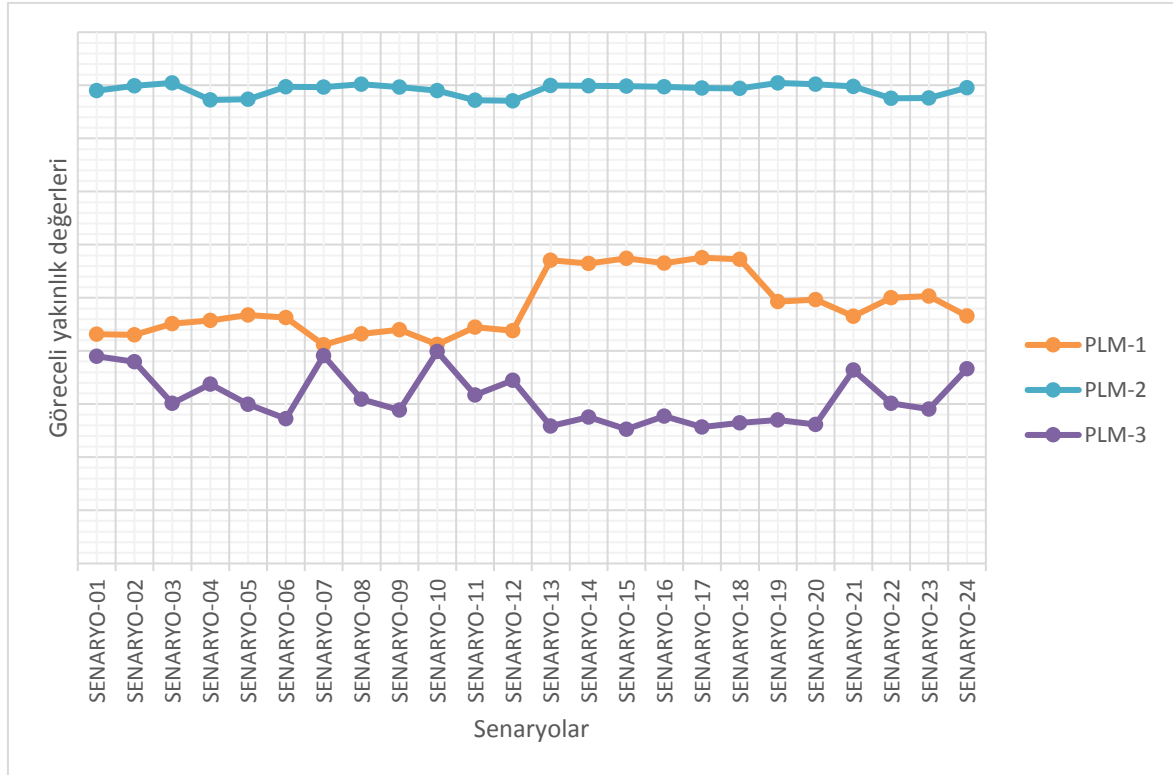
Bu çalışmada ANP yöntemi ile kriter ağırlıkları belirlendikten sonra kriterler ağırlıklarında gerçekleşecek değişimlerin alternatiflerin sıralamalarını nasıl değiştirdiğini belirlemek için duyarlılık analizi yapılmıştır. Kriter ağırlıklarının sonuçlar üzerindeki etkisi ve değişikliklerden etkilenme düzeyleri farklı senaryolar üzerinden gözlemlenmeye çalışılmış olup sonuçta bütünleşik ANP-TOPSIS yönteminin duyarlılığı analiz edilmeye çalışılmıştır.

Duyarlılık analizinin ilk aşamasında ana kriterler üzerinden senaryolar tanımlanmıştır. Dört ana kriterin sıralamaları değiştirilerek mümkün olan tüm kombinasyonlar (24 kombinasyon) tanımlanmıştır. Senaryo-01, uygulamamızdaki sırasıyla Fonksiyonel Uygunluk (FON), Uyarlama ve Teknik Altyapı (UYT), Veri Yönetimi (VER) ve Servis ve Teknik Destek (STD) ana kriterlerinin olduğu senaryodur.

Duyarlılık analizinin ikinci aşamasında kalan 23 farklı senaryo için TOPSIS yöntemi yeniden uygulanmıştır. TOPSIS yöntemi için öncelikle ana kriterlerin ağırlıklarının değişimi kaynaklı alt kriterlerin her senaryo için genel ağırlıkları hesaplanmalıdır. Alt kriterlerin genel ağırlıkları, alt kriterlerin ağırlıklarının ana kriterin yeni ağırlığı ile çarpılması ile elde edilmiştir. 24 kombinasyon yani 24 senaryonun içerdiği ana kriter ağırlığı değişimleri gösterimi ve değişen kriter ağırlıklarına göre TOPSIS yöntemi ile yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen göreceli yakınlık değerleri çizelge 5.11’de belirtilmiştir. Alternatiflerin belirlenen senaryolara göre nasıl değiştiği şekil 5.15’te gösterilmiştir.

Çizelge 5.11. Duyarlılık analizi senaryoları ve sonuçları

	ANA KRİTERLER				ALTERNATİFLER		
SENARYO NUMARASI	KRİTER1	KRİTER2	KRİTER3	KRİTER4	PLM-1	PLM-2	PLM-3
SENARYO-01	FON (0,210)	UYT (0,247)	VER (0,350)	STD (0,192)	0,299	0,946	0,198
SENARYO-02	FON (0,210)	STD (0,192)	VER (0,350)	UYT (0,247)	0,299	0,950	0,197
SENARYO-03	FON (0,210)	STD (0,192)	UYT (0,247)	VER (0,350)	0,304	0,953	0,158
SENARYO-04	FON (0,210)	VER (0,350)	UYT (0,247)	STD (0,192)	0,302	0,940	0,166
SENARYO-05	FON (0,210)	VER (0,350)	STD (0,192)	UYT (0,247)	0,304	0,940	0,147
SENARYO-06	FON (0,210)	UYT (0,247)	STD (0,192)	VER (0,350)	0,306	0,950	0,140
SENARYO-07	STD (0,192)	FON (0,210)	VER (0,350)	UYT (0,247)	0,289	0,950	0,197
SENARYO-08	STD (0,192)	FON (0,210)	UYT (0,247)	VER (0,350)	0,294	0,953	0,157
SENARYO-09	STD (0,192)	UYT (0,247)	FON (0,210)	VER (0,350)	0,295	0,951	0,145
SENARYO-10	STD (0,192)	UYT (0,247)	VER (0,350)	FON (0,210)	0,289	0,947	0,198
SENARYO-11	STD (0,192)	VER (0,350)	FON (0,210)	UYT (0,247)	0,294	0,941	0,152
SENARYO-12	STD (0,192)	VER (0,350)	UYT (0,247)	FON (0,210)	0,292	0,941	0,164
SENARYO-13	VER (0,350)	STD (0,192)	FON (0,210)	UYT (0,247)	0,380	0,941	0,158
SENARYO-14	VER (0,350)	STD (0,192)	UYT (0,247)	FON (0,210)	0,378	0,941	0,169
SENARYO-15	VER (0,350)	FON (0,210)	STD (0,192)	UYT (0,247)	0,380	0,941	0,154
SENARYO-16	VER (0,350)	FON (0,210)	UYT (0,247)	STD (0,192)	0,378	0,940	0,169
SENARYO-17	VER (0,350)	UYT (0,247)	STD (0,192)	FON (0,210)	0,380	0,939	0,156
SENARYO-18	VER (0,350)	UYT (0,247)	FON (0,210)	STD (0,192)	0,379	0,939	0,160
SENARYO-19	UYT (0,247)	STD (0,192)	FON (0,210)	VER (0,350)	0,326	0,950	0,148
SENARYO-20	UYT (0,247)	FON (0,210)	STD (0,192)	VER (0,350)	0,327	0,949	0,142
SENARYO-21	UYT (0,247)	STD (0,192)	VER (0,350)	FON (0,210)	0,319	0,947	0,197
SENARYO-22	UYT (0,247)	VER (0,350)	FON (0,210)	STD (0,192)	0,324	0,938	0,156
SENARYO-23	UYT (0,247)	VER (0,350)	STD (0,192)	FON (0,210)	0,324	0,938	0,151
SENARYO-24	UYT (0,247)	FON (0,210)	VER (0,350)	STD (0,192)	0,319	0,946	0,198



Şekil 5.15. Duyarlılık analizi sonuç değişimi

Çizelge 5.11 ve şekil 5.15'ten görüleceği üzere uzman görüşlerine dayalı bütünleşik ANP ve TOPSIS sonuçları (Senaryo-1) ve duyarlılık analizi sonuçları (Senaryo-1 dışındaki senaryolar) büyük ölçüde benzerlik göstermektedir. Sonuç olarak senaryoların uygulanması ile kriter ağırlıklarının değişimine rağmen alternatiflerin sıralamaları değişmemektedir yani PLM yazılım seçimi uygulamamız kararlı bir yapıya sahiptir.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dijitalleşen ve globalleşen günümüz rekabet koşullarında şirketlerin ayakta kalabilmek için yüksek kalite ve uygun maliyet hedeflerini gerçekleştirmenin yanında ürün ya da hizmetlerini pazara zamanında sunması ve sürekli değişen taleplere kısa sürede ve etkin biçimde yanıt vermesi gerekmektedir. Bu durum şirketleri dijital dönüşüm için hızla harekete geçmeye zorlamaktadır. Şirketler dijital dönüşüm stratejileri kapsamında ürün yaşam döngüsü süreçlerinin her aşamasındaki iş süreçlerini gözden geçirerek verimsiz iş modellerini değiştirmeye çalışmaktadır ve katma değer yaratan bilgi teknolojileri uygulamalarına başvurmaktadır. Bu noktada ürün yaşam döngüsünde yaşanan zorluklar için çözümler sunan ve sürekli gelişen PLM yazılımları şirketlerin yardımına koşmaktadır. PLM yazılımları, ürün tipine göre farklı endüstrilerde farklı çözümler sunmaktadır ve PLM yazılımlarının özelliklerinden biri de çözümlerini sektördeki en iyi uygulamalara göre kullanıma sunulmuş olmasıdır.

Son yıllarda çoğu sektörde olduğu gibi havacılık ve savunma endüstrisindeki birçok şirket kendilerine en uygun PLM yazılım yatırımlarına öncelik vermektedir. PLM uygulamaları konusunda tek bir ürün ailesi üreten bir şirkette bile, tüm mühendislik bilgi teknolojileri sistemlerini entegre etmek ve kurumsal bir PLM sistemi kurmak kolay değil iken çeşitli ürünler üreten savunma sanayii şirketleri için bu süreç çok daha zor olabilmektedir. Bu yüzden yatırım kararından önce şirketler iş süreçlerini analiz etmeli ve iş stratejilerine göre fonksiyonel ihtiyaçlarını belirlemeleri gerekmektedir. Bu noktada bir PLM uygulamasının başarılı olması için belirlenen bu gereksinimlerle ve şirketin iş stratejisiyle PLM yazılımına ait gereksinimlerin uyumlu olması gerekir. Neyazık ki tam anlamıyla bu uyumu yakalayabilen bir PLM çözümü yoktur. Çünkü her iş kendi amaçlarına uyan farklı PLM çözümleri gerektirir. Bu yüzden şirketler ihtiyaçlarına yanıt verebilecek kendilerine en uygun PLM yazılımını seçmelidirler.

PLM yazılımlarının kapsamı çok büyüktür ve bu yazılımlarda sunulan modüllerin sayısı hızla artmaktadır. Fakat PLM yazılımındaki özelliklerin sayısındaki artışla birlikte, toplam satın alma maliyeti de artmaktadır. Bu yüzden yazılım satın almadan önce öncelikle süreçler gözden geçirilmeli ve sonrasında öngörülen iş akışları ve iş organizasyonunda etkilenen çalışanlarla hangi modüllerin alınabileceği konusunda anlaşılmalıdır. Planlama

aşamasında belirlenen gereksinimler, piyasada bulunan PLM yazılımlarının işlevselliği ile açıkça ilişkilendirilirse, zorlukların büyük ölçüde üstesinden gelinebilir.

IPDMUG (Uluslararası Ürün Veri Yönetimi Kullanıcıları Grubu) tarafından ürün veri yönetimi sürecinde yaşanan en büyük zorluğun ne olduğu konusunda yapılan bir anket sonucunda ana zorluğun “ihtiyaçları karşılayan en iyi paketi seçmek” olduğu belirtilmiştir (Kumar ve Midha, 2001).

Günümüzde çok sayıda PLM yazılım sağlayıcısının varlığı, çeşitli donanım ve yazılım sistemleri arasında uyumsuzluk durumlarının belirlenmesinin zorluğu, karar vericilerin teknik bilgi ve deneyiminin eksikliği gibi faktörler bu seçim sürecini daha da zorlaştırmaktadır. Çalışmada ele alınan PLM yazılım seçim probleminde olduğu gibi değerlendirilmesi gereken pek çok kriter ve alternatifin olduğu karar problemlerinde, literatürde bulunan çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak çözüme ulaşılabilmektedir. Bu çalışmada karar verme problemi netleştirildikten sonra öncelikle literatür taraması ile yazılım seçiminde etkili olan kriterler ve bu tarz problemlerin çözümünde kullanılan ÇKKV yöntemleri incelenmiştir. Literatürde PLM yazılım seçim konusunda çok az çalışma olduğu için PLM yazılımına yakın yazılımların seçimi konusunda yapılan çalışmalar incelenmiştir. Yazılım seçim problemlerinde uygulanan ÇKKV yöntemlerinin genelde tekli kullanımlarının daha yaygın olduğu görülmüştür. Son yıllarda yayınlanan çalışmalar incelendiğinde bütünleşik (hibrid) ÇKKV yöntemlerinin ve bulanık mantık uygulamalarının kullanım sıklığının arttığı gözlemlenmiştir. İncelenen çalışmalarda kullanılan bütünleşik ÇKKV yöntemlerinin başarılı sonuçlar vermesi nedeniyle PLM yazılım seçim problemimize uygulanabilir olduğu düşünülmüştür.

Çalışmamızda kriterler arasındaki etkileşimleri ve bağımlılıkları dikkate alan ANP yöntemi kullanılarak karar problemimiz daha gerçekçi bir şekilde modellenmek istenmiştir. ANP yöntemi ile elde edilen ağırlıklar TOPSIS yönteminde alternatifleri sıralamak için kullanılmıştır. TOPSIS yönteminin seçilmesinin sebebi, kullanımının kolay olması ve birçok alanda bu teknikten sıklıkla yararlanılmasıdır. Literatürde yazılım seçim problemlerinde bütünleşik ANP-TOPSIS uygulamalarının yapıldığı çalışmalar nispeten daha azdır. PLM yazılım seçim probleminde ANP-TOPSIS yöntemlerinin birlikte kullanıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Kısaca hem objektif hem de sübjektif kriterleri ve etkileşimlerini beraber dikkate alabilen ÇKKV yöntemlerinden olan bütünleşik ANP-

TOPSIS yöntemi kullanılarak, savunma sanayii alanında faaliyet gösteren bir şirketin ihtiyaçlarını karşılayacak en uygun PLM yazılımının seçilmesi hedeflenmiştir.

Bütünleşik ANP-TOPSIS yöntem adımlarına geçmeden önce literatürde yazılım değerlendirme kriterlerine ilgili detaylı literatür taraması yapılmıştır. Seçim kriterleri belirlenirken, literatür araştırmasının yanında uzman görüşlerinden faydalanılmıştır. Bu noktada çalışmayı literatürdeki diğer çalışmalardan ayıran bir özellik de kullanıcı perspektifinin yanında sistem yöneticisi bakış açısını da dikkate almasıdır.

ANP yöntem adımlarından olan ikili karşılaştırma matrislerinin yapılabilmesi için savunma sanayii sektöründe faaliyet gösteren bir şirketteki bilgi teknolojileri ve mühendislik departmanlarında tecrübesi olan PLM yazılımı sistem yöneticisi 13 kişiye anket uygulanmıştır. Karar vericilerin değerlendirmeleri geometrik ortalama yöntemi ile birleştirilmiştir. Literatür ve uzman görüşü ile belirlenmiş 4 ana kriterin ve 19 alt kriterlerin önem derecelerinin (ağırlıklarının) ANP yöntemi kullanılarak tespit edilmesi ve TOPSIS yöntemi ile karşılaştırılmak üzere 3 alternatif yazılımın sıralaması yapılmıştır.

Çalışmada ANP uygulaması için Super Decisions paket programı kullanılmıştır. Programdan elde edilen önem derecelerine göre en önemli ana kriter, ‘veri yönetimi’ belirlenmiştir. Savunma sanayii için veri güvenliği hassas bir konu olduğundan bu sonuçların tespit edilmesi beklenen bir sonuçtur. 19 alt kriter arasındaki en önemli alt kriter ise ‘servis ve teknik destek’ olarak belirlenmiştir. Bu sonuç da şaşırtıcı değildir. Çünkü daha önce belirtildiği gibi tam anlamıyla şirketlerin gereksinimlerini karşılayan hiçbir PLM çözüm olmadığı için şirketlerdeki uygulamalarda iş gereksinimlerini karşılayacak şekilde özelleştirmeler ve uyarlamalar yapılmaktadır. Bu tarz çalışmalar sırasında alınan destekler ve kullanıcıların yazılımı kullanırken yararlanacağı bağlantıların (yardım dokümanları, çevrim içi yardım gibi) olması PLM yazılımının etkin kullanımı için önemli olmaktadır. PLM yazılım seçiminde neredeyse hiç etkisi olmayan en düşük öneme sahip kriter ise “Kurulum Yeteneği” olarak belirlenmiştir.

ANP yöntemi ile kriter ağırlıkları elde edildikten sonra TOPSIS yöntemi ile alternatif yazılımlar değerlendirilmiştir ve en uygun PLM yazılım alternatifi belirlenmiştir. ANP ve TOPSIS yöntemleri ile ayrı ayrı değerlendirilen alternatiflerin öncelik değerleri değişse de sıralamaları her iki yöntemde de aynıdır.

Uygulama modelimizin yargılarda değişimlerin olması durumundaki kararlılık derecesini belirlemek amacıyla duyarlılık analizi yapılmıştır. Ana kriterlerimizden dört ana kriterin ağırlık değişimlerini içeren 24 farklı senaryo üzerinden yapılan duyarlılık analizi sonucunda, tüm senaryolarda bütünleşik ANP-TOPSIS yöntemi ile aynı sıralama elde edilmiştir. Böylece duyarlılık analizi ile ANP-TOPSIS yöntem uygulamasının kararlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Yapılan çalışmanın, başta savunma sanayi şirketleri olmak üzere PLM yazılım seçimi süreci içerisindeki tüm şirketlere yol gösterici nitelikte olabileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte bu çalışmanın PLM yazılım sağlayıcı firmalar tarafından incelenmesi durumunda, çalışma çıktılarından edindikleri bilgiler neticesinde odak noktalarını ve gelişime açık alanlarını belirleyebilecekleri değerlendirilmektedir. Çalışma aynı zamanda, sistem yönetimi faaliyetlerini yürüten sistem yöneticileri tarafından kazanılan deneyimleri yansıtmaktadır. Çalışma içerisinde PLM yazılımının ve kavramının ne olduğu, nasıl geliştiği, özellikleri, faydaları ve PLM uygulamasının performansını etkileyen faktörlerle ilgili detaylı bilgiler verilmektedir.

PLM yazılım seçiminin doğru yapılması hem mühendislik hem de bilgi teknolojileri alanındaki uzmanların yetkinliğine ve yeterliliğine büyük ölçüde bağlıdır. Çalışmanın bir başka kısıtlaması da burada sunulan yaklaşımın, PLM yazılım seçimi ile ilişkili olabilecek tüm olası faktörleri ve kriterleri dikkate almamasıdır. Benzer konularda çalışma yapmayı planlayan araştırmacılar bu çalışmada belirlenen kriterleri kendi uygulama koşullarına göre genişletebilirler. Çalışmada kullanılan yöntemler dışında farklı yöntemlere başvurabilirler ve bu yöntemlerin sonuçlarını kıyaslayabilirler. Bu çalışmada yapılan uygulamayı farklı sektörlerde farklı bakış açıları ile genişletebilirler. Çalışmada kullanılan yöntemler için Matlab, Python, Java, Visual Basic gibi programlama dilleri ile uygulama geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Ahmad, N., Laplante, P. A. (2006). *Software project management tools: Making a practical decision using AHP*. Proceedings of the 30th Annual IEEE/NASA Software Engineering Workshop, Columbia, 76–84.
- Alemanni, M., Destefanis, F., Vezzetti, E. (2011). Model-based definition design in the product lifecycle management scenario. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 52(1–4), 1–14.
- Alemanni, M., Alessia, G., Tornincasa, S., Vezzetti, E. (2008). Key performance indicators for PLM benefits evaluation: The Alcatel Alenia Space case study. *Computers in Industry*, 59(8), 833–841.
- Ameri, F., Dutta, D. (2005). Product Lifecycle Management: Closing the knowledge loops. *Computer-Aided Design and Applications*, 2(5), 577–590.
- Ashja, M., Moghadam, H. A., Bidram, H. (2015). Comparative study of large information systems' CSFs during their life cycle. *Information Systems Frontiers*, 17(3), 619–628.
- Ayağ, Z. (2012). *An intelligent approach to CAM software selection*. 2nd International Conference on Communications Computing and Control Applications (CCCA), Marseille, 1-6.
- Ayağ, Z. (2014). A fuzzy analytic hierarchy process tool to evaluate computer-aided manufacturing software alternatives. *An Official Journal of Turkish Fuzzy Systems Association*, 5(2), 114–127.
- Ayağ, Z. (2015). Cad software evaluation for product design to exchange data in a supply chain network. *International Journal of Supply Chain Management*, 4(1), 30–38.
- Ayağ, Z. (2020). An approach to evaluate CAM software alternatives. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 33(5), 504–514.
- Ayağ, Z. (2010). A combined fuzzy AHP-simulation approach to CAD software selection. *International Journal of General Systems*, 39(7), 731–756.
- Batchelor, J., Andersen, H. (2012). *Bridging the product configuration gap between plm and erp – an automotive case study*. 19th International Product Development Management Conference. Manchester, UK, 17-19.
- Batenburg, R. S., Helms, R. W., Versendaal, J. (2006). PLM roadmap: Stepwise PLM implementation based on the concepts of maturity and alignment. *International Journal of Product Lifecycle Management*, 1(4), 333–351.
- Bayraktar, E., Efe, M. (2006). Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP) ve Seçim Süreci. *Selcuk University Social Sciences Institute Journal*, (15), 689–709.
- Bernroider, E., Koch, S. (2001). ERP selection process in midsize and large organizations. *Business Process Management Journal*, 7(3), 251–257.

- Bitzer, M., Eigner, M., Vielhaber, M. (2008). *Impacts of design process characteristics on the selection of PLM architectures*. Proceedings Design 2008, the 10th International Design Conference, Dubrovnik, Croatia, 901–910.
- Board, E. (1983). Advances in production management systems. *Computers in Industry*, 4(4), 411–416.
- Bokinge, M. (2012). *Evaluating PLM Implementations Using a Guidelines-based Approach*. Master Thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 9-15.
- Bokinge, M., Levandowski, C., Malmqvist, J., Johannesson, H. (2012). *A method to identify risks associated with a PLM solution*. 9th International Conference on Product Lifecycle Management (PLM), Montreal, Canada, 512–524.
- Bokinge, M., Malmqvist, J. (2012). PLM implementation guidelines - Relevance and application in practice: A discussion of findings from a retrospective case study. *International Journal of Product Lifecycle Management*, 6(1), 79–98.
- Bowen, T. P., Wigle, G. B., Tsai, J. T. (1985). *AD-A153 990 Specification of Software Quality Attributes: Software Quality Evaluation Guidebook* (Tech. Rep. RADC-TR-85-37, Vol. III), NY: Rome Air Development Center, 5.
- Bozdag, C. E., Kahraman, C., Ruan, D. (2003). Fuzzy group decision making for selection among computer integrated manufacturing systems. *Computers in Industry*, 51(1), 13–29.
- Brueck, H. (2002). *The impact of organisational change management on the success of a Product Lifecycle Management implementation - An investigation into the Electronics Manufacturing Industry*. Master Thesis, University of Lincoln, Lincoln, 4-13.
- Cao, H., Folan, P., Mascolo, J., Browne, J. (2009). RFID in product lifecycle management: a case in the automotive industry. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 22(7), 616–637.
- Cerqueiro, J., López, L., Pose, J., Cerqueiro, J. (2011). *A proposal to incorporate the value analysis/value engineering techniques into a PLM system article information*. Proceedings of the International conference on Innovative Methods in Product Design (IMProVe), Venice, 145-146.
- Chen, S. J., Hwang, C. L. (1992). *Fuzzy multiple attributed decision making: Methods and applications. lecture notes in economics and mathematical systems*. Springer, Berlin, Heidelberg, 101-288.
- Chiang, T. A., Trappey, A. J. C. (2007). Development of value chain collaborative model for product lifecycle management and its LCD industry adoption. *International Journal Production Economics*, 109, 90–104.
- Chuah, M. H., Wong, K. L. (2012). Construct an enterprise business intelligence maturity model (EBI2M) using an integration approach: A conceptual framework. *Business Intelligence-Solution for Business Development*, 1–12.

- Chuang, C. (2009). Using General System Approach For Product Lifecycle Management Software Selection And Evaluation. *Review of Business Information Systems*, 13(1), 81–86.
- Cochran, J. K., Chen, H. N. (2005). Fuzzy multi-criteria selection of object-oriented simulation software for production system analysis. *Computers and Operations Research*, 32(1), 153–168.
- Corallo, A., Latino, M. E., Lazoi, M., Lettera, S., Marra, M., Verardi, S. (2013). Defining Product Lifecycle Management: A Journey across Features, Definitions, and Concepts. *ISRN Industrial Engineering*, 1–10.
- Dağdeviren, M., Eraslan, E., Kurt, M., Dizdar, E. N., (2005). Tedarikçi seçimi problemine analitik ağ süreci ile alternatif bir yaklaşım. *Teknoloji*, 8(1-2), 115–122.
- Durán, O. (2011). Computer-aided maintenance management systems selection based on a fuzzy AHP approach. *Advances in Engineering Software*, 42(10), 821–829.
- Eastham, J., Tucker, D. J., Varma, S., Sutton, S. M. (2013). PLM software selection model for project management using hierarchical decision modeling with criteria from PMBOK® knowledge areas. *EMJ - Engineering Management Journal*, 26(3), 13–24.
- Ebert, C. (2013). Improving engineering efficiency with PLM/ALM. *Software and Systems Modeling*, 12(3), 443–449.
- Efe, B. (2016). An integrated fuzzy multi criteria group decision making approach for ERP system selection. *Applied Soft Computing Journal*, 38, 106–117.
- Eigner, M., Stelzer, R. (2008). *Product lifecycle management - Ein leitfaden für product development und life cycle management*. Berlin/Heidelberg: Springer, 37-51.
- Ergu, D., Peng, Y. (2014). A framework for SaaS software packages evaluation and selection with virtual team and BOCR of analytic network process. *Journal of Supercomputing*, 67(1), 219–238.
- Ersöz, F., Kabak, M. (2010). Savunma Sanayi Uygulamalarında Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Literatür Araştırması. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 9(1), 97-125–125.
- Faircloth, J. (2011). Enterprise application testing: Penetration tester's open source toolkit. Waltham: Elsevier, 291–318.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., Grote, K. H. (2007). Engineering design: A systematic approach. Berlin: Springer, 62.
- Galli, B. J. (2018). Change management models: A comparative analysis and concerns. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Engineering Management Review*, 46(3), 124–132.
- Garbade, R., Dolezal, W. R. (2007). *DMU@Airbus - Evolution of the digital mock-up (DMU) at airbus to the centre of aircraft development*. The Future of Product Development - Proceedings of the 17th CIRP Design Conference, Springer Berlin Heidelberg, 1–12.

- Garetti, M., Terzi, S., Bertacci, N., Brianza, M. (2005). Organisational change and knowledge management in PLM implementation. *International Journal of Product Lifecycle Management*, 1(1), 43–51.
- Gencer, C., Gürpınar, D. (2007). Analytic network process in supplier selection: A case study in an electronic firm. *Applied Mathematical Modelling*, 31(11), 2475–2486.
- Gibson, C. F. (2003). IT-Enabled business change: An approach to understanding and managing risk. *MIS Quarterly Executive*, 2, 104-114.
- Gopsill, J. A., McAlpine, H. C., Hicks, B. J. (2011). *Trends in technology and their possible implications on PLM - Looking towards 2020*. International Conference on Product Lifecycle Management, Eindhoven, Netherlands, 1-6.
- Görener, A. (2011). Bütünleşik ANP-Vikor yaklaşımı ile erp yazılım seçimi. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 5, 97–110.
- Grieves, M. (2006). Product Lifecycle Management: Driving the Next Generation of Lean Thinking. *Journal of Product Innovation Management*, 24(3), 278–280.
- Grieves, M. W., Tanniru, M. (2008). PLM, process, practice and provenance: Knowledge provenance in support of business practices in product lifecycle management. *International Journal of Product Lifecycle Management*, 3(1), 37–53.
- Gürbüz, T., Alptekin, S. E., Işıklar Alptekin, G. (2012). A hybrid MCDM methodology for ERP selection problem with interacting criteria. *Decision Support Systems*, 54(1), 206–214.
- Hanine, M., Boutkhoul, O., Tikniouine, A., Agouti, T. (2016). Application of an integrated multi-criteria decision making AHP-TOPSIS methodology for ETL software selection. *Springer Plus*, 5(1), 2-17.
- Holler, M., Uebernickel, F., Brenner, W. (2016). *Challenges in product lifecycle management - Evidence from the automotive supply industry*. Proceedings of the 27th Australasian Conference on Information Systems, ACIS 2016, Wollongong, 1–12.
- Huhtala, M., Lohtander, M., Varis, J. (2012). *Confusing of terms PDM and PLM: examining issues from the PDM point of view*. Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, FAIM2012, Helsinki, 1-8.
- Hung, Y. W., Hsu, S. C., Su, Z. Y., Huang, H. H. (2014). Countering user risk in information system development projects". *International Journal of Information Management*, 34(4), 533–545.
- Hwang, C. L., Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision making: Methods and applications a state-of-the-art survey*. Berlin Heidelberg: Springer, 58-191.
- İnternet: Ammann, S. (2021). The PLM State: A Flow Graph of PLM, CRM, SCM and ERP during Product Life. URL: <https://www.zerowait-state.com/blog/a-flow-graph-of-plm-crm-scm-and-erp-during-product-life/>, Son Erişim Tarihi: 05.04.2021.

- İnternet: Bhutia, P. W., Phipon, R. (2012). Appication of ahp and topsis method for supplier selection problem. *IOSR Journal of Engineering (C. 2)*. URL: www.iosrjen.org43%7CPage, Son Erişim Tarihi: 07.04.2021.
- İnternet: Brown, J. (2016). PLM License and Deployment Flexibility Puts PLM in Reach. URL: <https://tech-clarity.com/plm-flexibility/5396>, Son Erişim Tarihi: 07.04.2021.
- İnternet: Ceran, M., Okur, E. (2016). Savunma Projelerinde Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi (Plm) Uygulamaları. URL: <https://docplayer.biz.tr/16187542-Savunma-projelerinde-urun-yasam-dongusu-yonetimi-plm-uygulamalari.html>, Son Erişim Tarihi: 24.04.2021.
- İnternet: Cimdata. (2017). Accelerating Time to Go-Live Using Capgemini's Migration Accelerators. URL: <http://www.cimdata.com>, , Son Erişim Tarihi: 13.02.2021.
- İnternet: CIMdata (2021). Free Resources - CIMdata. URL: <https://www.cimdata.com/en/resources/about-plm>, Son Erişim Tarihi: 13.02.2021.
- İnternet: Dassault Systèmes. (2012). Optimize enterprise value streams for a lean strategic advantage. Dassault Systèmes V6 PLM Solution for Lean Product Development in the Industrial Machinery Industry Report. URL: www.3ds.com/fileadmin/Industries/Industrial-Equipment/Pdf/whitepapers/optimize-enterprise-value-industrial-equipment-whitepaper.pdf, Son Erişim Tarihi: 13.01.2021
- İnternet: Endüstri 4.0. (2021). Verilerin Yolculuğu PLM Teamcenter. URL: <https://www.Endustri40.com/verilerin-yolculugu-plm-teamcenter/>, Son Erişim Tarihi: 28.02.2021
- İnternet: Eren, T., Gür, Ş. (2017). Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile İşletmeler için CRM Paket Programlarının Seçimi. *Uluslararası İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 2 (2), 212–227. URL: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/uiibd/issue/27132/285440>, Son Erişim Tarihi: 21.03.2021
- İnternet: Graham, M. (2010). 8 Key Product Lifecycle Management Implementation project risk (and how to mitigate them). URL: <https://www.aessis.com/MediaCenter/key-plm-implementation-project-risks>, Son Erişim Tarihi: 04.04.2021
- İnternet: informatik plm. (2021). Dijital Ürün İzlenebilirliği ile Veriminizi Arttırın. URL: <https://www.informatikplm.com/blog/urun-yasam-dongusu/dijital-urun-izlenebilirligi-kullanarak-gereksinimleri-yonetirken-veriminizi-arttirin>, Son Erişim Tarihi: 21.03.2021
- İnternet: IFS. (2021). PLM Kavramı - Yazılım Araçlarının Yapısı ve Özellikleri. URL: <https://www.ifs.com/tr/news-and-events/newsroom/2014/11/19/11/30/tr-2011-06-28-plm-makale-halefsan-1/>, Son Erişim Tarihi: 21.03.2021
- İnternet: Innova. (2021). Fiziksel ve dijital dünya arasında köprü: Dijital ikiz. URL: <https://www.innova.com.tr/tr/blog/dijital-donusum-blog/fiziksel-ve-dijital-dunya-arasinda-kopru-dijital-ikiz>, Son Erişim Tarihi: 18.02.2021.

- İnternet: ISO/IEC 25010:2011. (2021). ISO - ISO/IEC 25010:2011 - Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and software quality models. URL: <https://www.iso.org/standard/35733.html>, Son Erişim Tarihi: 12.03.2021.
- İnternet: ISO 25010. (2021). ISO/IEC 25010, URL: <https://iso25000.com/index.php/en/iso-25000-standards/iso-25010>, Son Erişim Tarihi: 13.03.2021.
- İnternet: Johansson, A., Kazemahvazi, S., Henriksson, B., Johnsson, M. (2013). Why product lifecycle management should be on every executive's agenda! Turning PLM into a business success. URL: https://www.adlittle.com/sites/default/files/prism/Prism_1-2013_product_lifecycle_management.pdf, Son Erişim Tarihi: 13.03.2021.
- İnternet: Lenuxia. (2021). Business Information Systems in PLM. URL: <https://shareplm.com/information-systems-in-plm/>, Son Erişim Tarihi: 13.04.2021.
- İnternet: Microsoft Azure. (2021). Bulut Bilişim nedir? Başlangıç Kılavuzu. <https://azure.microsoft.com/tr-tr/overview/what-is-cloud-computing/#cloud-computing-models>, Son Erişim Tarihi: 20.02.2021.
- İnternet: Perçin, S., Gök, A. C. (2013). ERP Yazılımı seçiminde iki aşamalı AAS-TOPSIS yaklaşımı. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 8(2), 93–114. URL: <https://app.trdizin.gov.tr/makale/TVRVME5UYzBOQT09/erp-yazilimi-seciminde-iki-asamali-aas-topsis-yaklasimi>, Son Erişim Tarihi: 20.04.2021.
- İnternet: PLM advisors. (2021). PLM Requirements Specification. URL: <https://plmadvisors.com/tools/plm-requirements-specification/>, Son Erişim Tarihi: 13.04.2021.
- İnternet: PLM ve Ötesi. (2021). PLM ve ERP. URL: <http://plmveotesi.com/plm-ve-erp/>, Son Erişim Tarihi: 05.04.2021.
- İnternet: Sanga, C., Venter, I. . (2015). Algorithm for the evaluation of Free and Open Source Software when the Evaluator is “Uncertain”. *International Journal of Management Science and Information Technology*, (17), 36–55. URL: https://www.researchgate.net/publication/282007353_Algorithm_for_the_evaluation_of_Free_and_Open_Source_Software_when_the_Evaluator_is_Uncertain, Son Erişim Tarihi: 13.04.2021.
- İnternet: Shilovitsky, O. (2021a). Beyond PLM (Product Lifecycle Management) Blog PLM Out-Of-The-Box Pendulum. URL: <http://beyondplm.com/2019/10/01/plm-out-of-the-box-pendulum/>, Son Erişim Tarihi: 20.02.2021.
- İnternet: Shilovitsky, O. (2021b). Beyond PLM (Product Lifecycle Management) Blog Should We Stop “Engineering PLM”? - Beyond PLM (Product Lifecycle Management). URL: <http://beyondplm.com/2012/09/29/should-we-stop-engineering-plm/>, Son Erişim Tarihi: 08.04.2021.

- İnternet: Solis, B. (2017). Cognizant Report, The Six Stages of Digital Transformation Maturity. URL: <https://www.cognizant.com/whitepapers/the-six-stages-of-digital-transformation-maturity.pdf>, Son Erişim Tarihi: 22.01.2021.
- İnternet: Subramaniam, A. (2021). Product Life Cycle Management. URL: <https://www.slideshare.net/anandsubramaniam/product-life-cycle-management>, Son Erişim Tarihi: 28.02.2021.
- İnternet: Techopedia. (2021). What is Data Architecture? - Definition from Techopedia. URL: <https://www.techopedia.com/definition/6730/data-architecture>, Son Erişim Tarihi: 29.03.2021.
- İnternet: Ungerer, M., Buchanan, K. (2002). Usage guide for the STEP PDM Schema V1.2, Release 4.3. URL: [https://scholar.google.com/scholar?q=Usage guide for the STEP PDM Schema V1.2%2C Release 4.3%2C PDM Implementor Forum%2C January 2002](https://scholar.google.com/scholar?q=Usage+guide+for+the+STEP+PDM+Schema+V1.2%2C+Release+4.3%2C+PDM+Implementor+Forum%2C+January+2002), Son Erişim Tarihi: 20.03.2021.
- İnternet: Varhan, O., (2020). Economic Contributions And Collaborative Benefits Of PLM (Product Lifecycle Management). URL: https://www.researchgate.net/publication/338901936_ECONOMIC_CONTRIBUTIONS_AND_COLLABORATIVE_BENEFITS_OF_PLM_PRODUCT_LIFECYCLE_MANAGEMENT_TO_ORGANIZATIONS_A_Project_Submitted_to_The_Graduate_School_of_Engineering_and_Sciences_of_Izmir_Institute_of_Tech, Son Erişim Tarihi: 20.04.2021.
- İnternet: Vincent C., Guess. (2006). CMII for Business Process Infrastructure (2. baskı). CMII Research Institute. URL: https://books.google.com.tr/books/about/CMII_for_Business_Process_Infrastructure.html?id=FKUtLwAACAAJ&redir_esc=y, Son Erişim Tarihi: 20.03.2021.
- İnternet: Wieszala, P., Trzaskalik, T., Targiel, K. (2011). Analytic Network Process in ERP System Selection. URL: [https://mcdm.ue.katowice.pl/files/papers/mcdm11\(6\)_14.pdf](https://mcdm.ue.katowice.pl/files/papers/mcdm11(6)_14.pdf), Son Erişim Tarihi: 03.03.2021.
- İnternet: Wildeman, R. C. (2009). The ROI Of Product Life-Cycle Management- A Total Economic Impact™ Analysis Uncovers Extended Rewards Alongside Risks. Application Development & Program Management Professionals. URL: www.forrester.com, , Son Erişim Tarihi: 20.02.2021.
- Izadpanah, S., Tollenaere, M., Gzara. (2008). *Managing the evolution of product configuration within PLM systems*. In Proceedings of IFIP 5th International Conference on Product Lifecycle Management PLM'08 Fostering the culture of innovation, Seoul, Korea, 461–471.
- Jadhav, A. S., Sonar, R. M. (2009). Evaluating and selecting software packages: A review. *Information and Software Technology*, 51(3), 555–563.
- Jharkharia, S., Shankar, R. (2007). Selection of logistics service provider: An analytic network process (ANP) approach. *Omega*, 35(3), 274–289.

- Jun, H.-B., Shin, J.-H., Kiritsis, D., Xirouchakis, P. (2009). System architecture for closed-loop PLM. *International Federation of Automatic Control Proceedings Volumes*, 39(3), 849-854.
- Jun, H. B., Kiritsis, D., Xirouchakis, P. (2007). Research issues on closed-loop PLM. *Computers in Industry*, 58(8-9), 855-868.
- Kärkkäinen, H., Pels, H. J., Silventoinen, A. (2012). Defining the customer dimension of PLM maturity. *IFIP Advances in Information and Communication Technology (C. 388 AICT)*. New York LLC: Springer, 623-634.
- Keil, M., Tiwana, A. (2006). Relative importance of evaluation criteria for enterprise systems: A conjoint study. *Information Systems Journal*, 16(3), 237-262.
- Kemppainen, T., Kropsu-Vehkaperä, H., Haapasalo, H. (2011). *Introducing product data ownership network*. Research Reports in Department of Industrial Engineering and Management 1/2011, University of Oulu Research Reports in DIEM, Oulu, 39.
- Kiritsis, D. (2007). PLM and product embedded information devices. *International Federation of Automatic Control Proceedings Volumes*, 40(3), 8-23.
- Kiritsis, D. (2011). Closed-loop PLM for intelligent products in the era of the Internet of things. *Computer-Aided Design*, 43, 479-501.
- Klassen, R. D., Vachon, S. (2009). Collaboration and evaluation in the supply chain: The impact on plant-level environmental investment. *Production and Operations Management*, 12, 336-352.
- Koomen, B. (2018). *Set based PLM implementation, a modular approach to PLM process knowledge, management and automation*. 14th IFIP International Conference on Product Lifecycle Management, 0-10.
- Kow, M. Y., Lim, T. L., Abu Bakar, N., Mahdzir, A. (2015). *Product Lifecycle Management Technology Assessment: a Case Study in the Industrial Equipment Industry*. Malaysia-Japan Joint International Conference 2015 (MJJIC2015), Malaysia, 1-7.
- Kreis, A. (2018). *Optimized information exchange process between CAD and CAM: Enhanced data exchange in the field of joining technology from the viewpoint of an automotive supplier*. 2018 5th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA), Singapore, 184-188.
- Kropsu-Vehkaperä, H. (2009). *Product structure and lifecycle management: A systematic literature review*. The 3rd Nordic Innovation Research Conference-NIR 2008—IEM Arctic Workshop, Finland, 147-161.
- Kumar, R., Midha, P. S. (2001). A QFD based methodology for evaluating a company's PDM requirements for collaborative product development. *Industrial Management and Data Systems*, 101(3), 126-131.

- Kung, K. H., Ho, C. F., Hung, W. H., Wu, C. (2015). Organizational adaptation for using PLM systems: Group dynamism and management involvement. *Industrial Marketing Management*, 44, 83–97.
- Lämmer, L., Theiss, M. (2015). Product lifecycle management. *Concurrent Engineering in the 21st Century: Foundations, Developments and Challenges*, 455–490.
- Lee, S. G., Ma, Y. S., Thimm, G. L., Verstraeten, J. (2008). Product lifecycle management in aviation maintenance, repair and overhaul. *Computers in Industry*, 59(2–3), 296–303.
- Lee, Y. C., Sheu, L. C., Tsou, Y. G. (2008). Quality function deployment implementation based on Fuzzy Kano model: An application in PLM system. *Computers and Industrial Engineering*, 55(1), 48–63.
- Lin, C.-T., Tsai, M.-C. (2010). Location choice for direct foreign investment in new hospitals in China by using ANP and TOPSIS. *Qual Quant*, 44, 375–390.
- Lin, G. A. O., Jun, G. A. O., Yangxi, F. A. N., Jianqiang, Z. (2009). *Research on PLM system architecture, model and process*. 2009 WASE International Conference on Information Engineering (ICIE 2009), Taiyuan, 491–495.
- Liu, S., Wang, L. (2014). Understanding the impact of risks on performance in internal and outsourced information technology projects: The role of strategic importance. *International Journal of Project Management*, 32(8), 1494–1510.
- López, C., Salmeron, J. L. (2012). Risks response strategies for supporting practitioners decision-making in software projects. *Procedia Technology*, 5, 437–444.
- Lu, S. C. Y., Elmaraghy, W., Schuh, G., Wilhelm, R. (2007). A scientific foundation of collaborative engineering. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 56(2), 605–634.
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1–10.
- Machac, J., Steiner, F. (2014). Risk Treating in Early Lifecycle Phases. *Acta Technica Corviniensis-Bulletin of Engineering*, 7(3), 123.
- Marchetta, M. G., Mayer, F., Forradellas, R. Q. (2011). A reference framework following a proactive approach for product lifecycle management. *Computers in Industry*, 62 (7), 672–683.
- Mas, F., Arista, R., Oliva, M., Hiebert, B., Gilkerson, I., Rios, J. (2015). A review of PLM impact on US and EU aerospace industry. *Procedia Engineering*, 132, 1053–1060.
- Mas, F., Menendez, J. L., Oliva, M., Rios, J., Gomez, A., Olmos, V. (2014). *IDMU as the collaborative engineering engine: Research experiences in Airbus*. 2014 International Conference on Engineering, Technology and Innovation: Engineering Responsible Innovation in Products and Services, ICE 2014, Bergamo, 1–7.

- Mas, F., Menéndez, J. L., Oliva, M., Servan, J., Arista, R., del Valle, C. (2014). Design within complex environments: Collaborative engineering in the aerospace industry. *Information System Development*, 197–205.
- Mas, F., Menéndez, J., Oliva, M., Gómez, A., Ríos, J., Ríos Collaborative Engineering, J., Luis Menéndez, J. (2013). *Collaborative engineering paradigm applied to the aerospace industry*. 10th Product Lifecycle Management for Society (PLM), Nantes, France, 675–684.
- McCall, J. A., Richards, P. K., Walters, G. F. (1977). *Factors in software quality, volumes I, II, and III*. US Rome Air Development Center Reports, US Department of Commerce, USA, I, 24-50.
- McKay, A., Bloor, M. S., De Pennington, A. (1996). A framework for product data. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 8(5), 825–838.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2), 81–97.
- Minetola, P., Iuliano, L., Calignano, F. (2015). A customer oriented methodology for reverse engineering software selection in the computer aided inspection scenario. *Computers in Industry*, 67, 54–71.
- Monell, D. W., Piland, W. M. (2000). Aerospace systems design in NASA's collaborative engineering environment. *Acta Astronautica*, 47(2), 255–264.
- Mulebeke, J. A. W., Zheng, L. (2006). Analytical network process for software selection in product development: A case study. *Journal of Engineering and Technology Management*, 23(4), 337–352.
- Murine, G. E. (1980). *Applying software quality metrics in the requirements analysis phase of a distributive system*. Proceedings of Minnow Brook Conference, Blue Mountain Lake, New York, 1-25.
- Myung, S. (2008). *Implementation process of enterprise PLM system*. International Conference on Product Lifecycle Management, Suwon, 2-8.
- Opricovic, S., Tzeng, G. H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156(2), 445–455.
- Otto, B. (2012). Managing the business benefits of product data management: The case of Festo. *Journal of Enterprise Information Management*, 25(3), 272–297.
- Öztürk, S., Yağcı, N. (2016). *Kamu yazılımlarında ürün kalitesinin değerlendirilmesi için pratik bir kod kalitesi modeli*. 10. Ulusal Yazılım Mühendisliği Sempozyumu (UYMS), Çanakkale, 725-729.
- Paavel, M., Karjust, K., Majak, J. (2017). PLM Maturity Model Development and Implementation in SME. *Procedia CIRP*, 63, 651–657.

- Palmer, N. (2009). Workflow management coalition. *Encyclopedia of Database Systems*, 3550.
- Piengang, F. C. N., Beauregard, Y., Kenné, J. P. (2019). An APS software selection methodology integrating experts and decisions-maker's opinions on selection criteria: A case study. *Cogent Engineering*, 6(1), 1–34.
- Pomerol, J.-C., Barba-Romero, S. (2000). *Multicriterion decision in management: principles and practice*. Kluwer Academic Publishers, USA, 215.
- Prasad, K., Chakraborty, S. (2016). A QFD-based decision making model for computer-aided design software selection. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 7(2), 49–58.
- Puzovic, S., Vasovic, J. V., Radojicic, M. (2019). An Integrated MCDM Approach to PLM Software Selection. *Acta Polytechnica Hungarica*, 16(4), 45–65.
- Rachuri, S., Subrahmanian, E., Bouras, A., Fenves, S. J., Foufou, S., Sriram, R. D. (2008). Information sharing and exchange in the context of product lifecycle management: Role of standards. *Computer Aided Design*, 40(7), 789–800.
- Ram, J., Wu, M. L., Tagg, R. (2014). Competitive advantage from ERP projects: Examining the role of key implementation drivers. *International Journal of Project Management*, 32(4), 663–675.
- Rangan, R. M., Rohde, S. M., Peak, R., Bliznakov, P. (2005). Streamlining product lifecycle processes: A survey of product lifecycle management implementations, directions, and challenges. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 5, 227–237.
- Rao, M. (2005). Overview: The social life of KM tools. *Knowledge Management Tools and Techniques*, 1–73.
- Ravichandran, T. (2005). Organizational assimilation of complex technologies: An empirical study of component-based software development. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Engineering Management*, 52(2), 249–268.
- Reddy, R., Wood, R. T., Cleetus, K.J. (1991). Concurrent engineering: The Darpa Initiative: Encouraging new industrial practices. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Spectrum*, 28(7), 26–27.
- Ríos, J., Morate, F. M., Oliva, M., Hernández, J. C. (2016). Framework to support the aircraft digital counterpart concept with an industrial design view. *International Journal of Agile Systems and Management*, 9, 212–231.
- Ronzulli, G., Garetti, M., Terzi, S. (2006). *Reference model for the evaluation of the performance of a PLM implementation*. 2006 IEEE International Technology Management Conference, Milan, 1–7.

- Rouhani, S., Ravasan, A. Z. (2014). A fuzzy TOPSIS based approach for ITSM software selection. *International Journal of IT/Business Alignment and Governance*, 5(2), 1–26.
- Rouyendegh, B. D., Erkan, T. E. (2011). Erp system selection by ahp method: Case study from Turkey. *International Journal of Business and Management Studies*, 3(1), 39–48.
- Russo, R. F. S. M., Camanho, R. (2015). Criteria in AHP: A systematic review of literature. *Procedia Computer Science*, 55, 1123–1132.
- Saaksvuori, A., Immonen, A. (2002). *Product lifecycle management*. Berlin/Heidelberg: Springer, 247.
- Saaksvuori, A., Immonen, A. (2008). *Product lifecycle management (Third Edition)*. Berlin Heidelberg: Springer, 7–26.
- Saaty, T. L., Ozdemir, M. S. (2003). Why the magic number seven plus or minus two. *Mathematical and Computer Modelling*, 38(3–4), 233–244.
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. USA: McGraw-Hill, Inc., 21.
- Saaty, T. L. (1996). *Decision making with dependence and feedback: The analytic network process*, Pittsburgh: RWS Publications, 370.
- Saaty, T. L. (2000). Fundamentals of the analytic network process-dependence and feedback in decision-making with a single network. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 13, 129–157.
- Saaty, T. L., Katz, J. M. (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 48, 23–26.
- Samanlioglu, F., Ayağ, Z. (2019). A fuzzy AHP-VIKOR approach for evaluation of educational use simulation software packages. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 37(6), 7699–7710.
- Savino, M. M., Mazza, A., Ouzrout, Y. (2012). PLM Maturity model: A multi-criteria assessment in southern Italy companies. *International Journal of Operations and Quantitative Management*, 18(3), 159–180.
- Schein, E. H. (1995). The role of the founder in creating organizational culture. *Family Business Review*, 8(3), 221–238.
- Schuh, G., Rozenfeld, H., Assmus, D., Zancul, E. (2008). Process oriented framework to support PLM implementation. *Computers in Industry*, 59(2–3), 210–218.
- Şen, C. (2007). *Kurumsal uygulama yazılım paketlerinin seçiminde kullanılan yaklaşımların karşılaştırmalı analizi ile bir model geliştirilmesi ve uygulama sonuçlarının değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 118–120.

- Şen, C. G., Baraçlı, H., Şen, S., Başligil, H. (2009). An integrated decision support system dealing with qualitative and quantitative objectives for enterprise software selection. *Expert Systems with Applications*, 36(3 Part 1), 5272–5283.
- Sharma, A. (2005). Collaborative product innovation: Integrating elements of CPI via PLM framework. *CAD Computer Aided Design*, 37(13), 1425–1434.
- Siddiqui, Q. A., Burns, N. D., Backhouse, C. J. (2004). Implementing product data management the first time. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 17(6), 520–533.
- Silcher, S., Minguez, J., Scheibler, T., Mitschang, B. (2010). *A service-based approach for next-generation product lifecycle management*. 2010 IEEE International Conference on Information Reuse and Integration (IRI 2010), Las Vegas, 219–224.
- Silventoinen, A., Papinniemi, J., Lampela, H. (2009). *A roadmap for product lifecycle management implementation in SMEs*. International Society for Professional Innovation Management Conference (ISPIM), Austria, 21.
- Silventoinen, A., Pels, H. J., Lampela, H. (2011). *Towards future PLM maturity assessment dimensions*. PLM11- 8th International Conference on Product Lifecycle Management, IFIP Working Group, Eindhoven, 5, 480-492.
- Singh, S., Misra, S. C. (2018a). *Core challenges to cloud PLM adoption in large manufacturing firms*. 2018 5th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA), Singapore, 141–145.
- Singh, S., Misra, S. C. (2018b). *Success determinants to Product Lifecycle Management (PLM) performance*. 2018 5th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA), Singapore, 386–390.
- Singh, S., Misra, S. C. (2019). Identification of barriers to PLM institutionalization in large manufacturing organizations: A case study. *Business Process Management Journal*, 25(6), 1335–1356.
- Singh, S., Misra, S. C., Kumar, S. (2019a). Critical Barriers to PLM Institutionalization in Manufacturing Organizations. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Engineering Management*, 1–13.
- Singh, S., Misra, S. C., Kumar, S. (2019b). What are the stumbling blocks to making product lifecycle management routine in organizations?. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Engineering Management Review*, 47(2), 123–127.
- Singh, S., Misra, S. C., Chan, F. T. S. (2020a). Establishment of critical success factors for implementation of product lifecycle management systems. *International Journal of Production Research*, 58(4), 997–1016.
- Singh, S., Misra, S. C., Kumar, S. (2020b). Identification and ranking of the risk factors involved in PLM implementation. *International Journal of Production Economics*, 222, 107496.

- Soto-Acosta, P., Placer-Maruri, E., Perez-Gonzalez, D. (2016). A case analysis of a product lifecycle information management framework for SMEs. *International Journal of Information Management*, 36(2), 240–244.
- Stark, J. (2007). PLM enabling global products. *Global Product: Strategy, Product Lifecycle Management and the Billion Customer Question*, 115–130.
- Stark, J. (2015). *21st century paradigm for product realisation*. London: Product Lifecycle Management, Springer-Verlag, 1–29.
- Stark, J. (2016). *PLM applications, product lifecycle management (volume 2): The devil is in the details*. Cham: Springer International Publishing, 199–231.
- Sudarsan, R., Fenves, S. J., Sriram, R. D., Wang, F. (2005). A product information modeling framework for product lifecycle management. *Computer Aided Design*, 37(13), 1399–1411.
- Sumner, M. (2000). Risk factors in enterprise-wide/ERP projects. *Journal of Information Technology*, 15(4), 317–327.
- Sundararajan, S., Bhasi, M., Vijayaraghavan, P. K. (2014). Case study on risk management practice in large offshore-outsourced Agile software projects. *Institution of Engineering and Technology Software*, 8(6), 245–257.
- Svensson, D., Malmqvist, J. (2002). Strategies for product structure management at manufacturing firms. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 2(1), 50–58.
- Terzi, S., Bouras, A., Dutta, D., Garetti, M., Kiritsis, D. (2010). Product lifecycle management-From its history to its new role. *International Journal of Product Lifecycle Management*, 360–389.
- Thamhain, H. J. (2004). Linkages of project environment to performance: Lessons for team leadership. *International Journal of Project Management*, 22(7), 533–544.
- Tomovic, C. L., Ncube, L. B., Walton, A., Grieves, M. (2010). Development of Product Lifecycle Management metrics: Measuring the impact of PLM. *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, 19(3–4), 167–179.
- Tornincasa, S., Monaco, F. D. (2010). *The future and the evolution of CAD*. 14th International Research/Expert Conference, Torino, 11–18.
- Turban, E., Sharda, R., Delen, D., King, D. (2010). *Business intelligence: A managerial approach*. Corydon: Prentice Hall, 58-59.
- Üçler, Ç., Vayvay, Ö. (2018). KOBİ’lerde eş zamanlı mühendislik: Otomotiv tedarikçi sektöründe bir uygulama. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 10(2), 76-91.

- Vadoudi, K., Allais, R., Reyes, T., Troussier, N. (2014). Sustainable product lifecycle management and territoriality: New structure for PLM. *International Federation for Information Processing Advances in Information and Communication Technology*, 442, 475–484.
- Vengugopalan, S. R., Sai, L. P., Ganesh, L. S., Ramakrishnan, G. (2008). *Application of AHP for PLM tools selection*. Proceedings of the International Conference on Product Lifecycle Management (PLM'08), Bangalore, 111–125.
- Vezzetti, E., Violante, M. G., Marcolin, F. (2014). A benchmarking framework for product lifecycle management (PLM) maturity models. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 71(5–8), 899–918.
- Wei, C. C., Chien, C. F., Wang, M. J. J. (2005). An AHP-based approach to ERP system selection. *International Journal of Production Economics*, 96(1), 47–62.
- Wiebe, E. N. (1997). Adding agility to CAD: Integrating product data management tools into an organization. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 7(1), 21–35.
- Willaert, S. S. A., Graaf, R., Minderhoud, S. (1998). Collaborative engineering: A case study of Concurrent Engineering in a wider context. *Journal of Engineering and Technology Management*, 15(1), 87–109.
- Wu, W. H., Fang, L. C., Wang, W. Y., Yu, M. C., Kao, H. Y. (2014). An advanced CMII-based engineering change management framework: The integration of PLM and ERP perspectives. *International Journal of Production Research*, 52(20), 6092–6109.
- Young, R. I. M., Gunendran, A. G., Cutting-Decelle, A. F., Gruninger, M. (2007). Manufacturing knowledge sharing in PLM: A progression towards the use of heavy weight ontologies. *International Journal of Production Research*, 45(7), 1505–1519.
- Zakria, G., Guan, Z., Riaz, Y., Jahanzaib, M., Khan, A. (2010). Selecting and prioritizing key factors for CAD/CAM software in small- and medium-sized enterprises using AHP. *Frontiers of Mechanical Engineering in China*, 5(2), 157–164.
- Zancul, E. (2012). *PLM reference model: a preliminary proposal for reference model evolution*. IFIP International Conference on Product Lifecycle Management, Heidelberg, 525–534.
- Zhang, H., Ouzrout, Y., Bouras, A., Selva, V.D., Savino, M. M. (2013a). *Selection of product lifecycle management components based on AHP methodologies*. International Conference on Advanced Logistics and Transport, ICALT 2013, Sousse, 523–528.
- Zhang, H., Ouzrout, Y., Bouras, A., Mazza, A., Savino, M. M. (2013b). *PLM Components Selection Based on a Maturity Assessment and AHP Methodology*. IFIP International Conference on Product Lifecycle Management, Heidelberg, 439–448.

- Zhang, H., Bouras, A., Ouzrout, Y., Sekhari, A. (2014a). *Fuzzy multi-criteria lifecycle system maturity decision making based on an integrated Fuzzy AHP and VIKOR methodology*. 2014 International Conference on Computational Science and Technology (ICCST), Kota Kinabalu, 1-6.
- Zhang, H., Sekhari, A., Ouzrout, Y., Bouras, A., Yu, S. (2014b). A PLM components monitoring framework for SMEs based on a PLM maturity model and FAHP methodology. *Journal of Modern Project Management*, 2(1), 108–119.
- Ziemke, M. C., Spann, M. S. (1993). Concurrent engineering's roots in the World War II era. *Concurrent Engineering*, 24–41.





EK-1. ANP Yöntemi ikili karşılaştırma anket formu

"A" sütununda belirtilenlere göre ilgili satırdaki kriterlerin birbirlerine göre önem derecelerini belirleyiniz. "A" Sütunundaki bilgilerin filtrelenerek doldurulması sağlanacaktır.	KRİTER#1	KRİTER#1									KRİTER#2	"U" Sütunundaki bilgiler seçim sonucunuzu belirtmektedir. Bu sütundaki bilgilerden atlanan var mı diye de kontrol edebilirsiniz.								
		Keskinlikte daha önemli	Ara değer	Çok daha önemli	Ara değer	Oldukça önemli	Ara değer	Biraz daha fazla önemli	Ara değer	Eşit derecede önemlidir			Ara değer	Biraz daha fazla önemli	Ara değer	Oldukça önemli	Ara değer	Çok daha önemli	Ara değer	Keskinlikte daha önemli
AMAC	K1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	K2	SEÇİM SONUCU
Örnek#1	KRİTER#1					5													KRİTER#2	KRİTER#1, KRİTER#2'a göre Oldukça önemli
Örnek#2	KRİTER#3															7			KRİTER#4	KRİTER#4, KRİTER#3'a göre Çok daha önemli
PLM Yazılım Seçimi	Fonksiyonel Uygunluk																		Uyarlama ve Teknik Altyapı	Lütfen seçim yapınız!
PLM Yazılım Seçimi	Fonksiyonel Uygunluk																		Veri Yönetimi	Lütfen seçim yapınız!
PLM Yazılım Seçimi	Fonksiyonel Uygunluk																		Tedarikçi Firma	Lütfen seçim yapınız!
PLM Yazılım Seçimi	Uyarlama ve Teknik Altyapı																		Veri Yönetimi	Lütfen seçim yapınız!
PLM Yazılım Seçimi	Uyarlama ve Teknik Altyapı																		Tedarikçi Firma	Lütfen seçim yapınız!
PLM Yazılım Seçimi	Veri Yönetimi																		Tedarikçi Firma	Lütfen seçim yapınız!
Fonksiyonel Uygunluk	Gelişmiş Arama ve Raporlama																		Gömülü Görselleştirme	Lütfen seçim yapınız!
Fonksiyonel Uygunluk	Gelişmiş Arama ve Raporlama																		İşlevsellik	Lütfen seçim yapınız!
Fonksiyonel Uygunluk	Gelişmiş Arama ve Raporlama																		İzlenebilirlik ve İş Akış Yönetimi	Lütfen seçim yapınız!
Fonksiyonel Uygunluk	Gelişmiş Arama ve Raporlama																		Kullanım Kolaylığı	Lütfen seçim yapınız!
Fonksiyonel Uygunluk	Gömülü Görselleştirme																		İşlevsellik	Lütfen seçim yapınız!
Fonksiyonel Uygunluk	Gömülü Görselleştirme																		İzlenebilirlik ve İş Akış Yönetimi	Lütfen seçim yapınız!
Fonksiyonel Uygunluk	Gömülü Görselleştirme																		Kullanım Kolaylığı	Lütfen seçim yapınız!
Fonksiyonel Uygunluk	İşlevsellik																		İzlenebilirlik ve İş Akış Yönetimi	Lütfen seçim yapınız!
Fonksiyonel Uygunluk	İşlevsellik																		Kullanım Kolaylığı	Lütfen seçim yapınız!
Fonksiyonel Uygunluk	İzlenebilirlik ve İş Akış Yönetimi																		Kullanım Kolaylığı	Lütfen seçim yapınız!
Uyarlama ve Teknik Alt Yapı	Analiz Edilebilirlik																		Birlikte Çalışabilirlik	Lütfen seçim yapınız!
Uyarlama ve Teknik Alt Yapı	Analiz Edilebilirlik																		Genişletilebilirlik	Lütfen seçim yapınız!
Uyarlama ve Teknik Alt Yapı	Analiz Edilebilirlik																		Kurulum Yeteneği	Lütfen seçim yapınız!
Uyarlama ve Teknik Alt Yapı	Analiz Edilebilirlik																		Modülerlik	Lütfen seçim yapınız!
Uyarlama ve Teknik Alt Yapı	Analiz Edilebilirlik																		Performans Verimliliği	Lütfen seçim yapınız!
Uyarlama ve Teknik Alt Yapı	Analiz Edilebilirlik																		Uyarlanabilirlik	Lütfen seçim yapınız!
Uyarlama ve Teknik Alt Yapı	Analiz Edilebilirlik																		Uyumluluk	Lütfen seçim yapınız!
Uyarlama ve Teknik Alt Yapı	Analiz Edilebilirlik																		WEB Tabanlı Uygulama Desteği	Lütfen seçim yapınız!
Uyarlama ve Teknik Alt Yapı	Birlikte Çalışabilirlik																		Genişletilebilirlik	Lütfen seçim yapınız!
Uyarlama ve Teknik Alt Yapı	Birlikte Çalışabilirlik																		Kurulum Yeteneği	Lütfen seçim yapınız!
Uyarlama ve Teknik Alt Yapı	Birlikte Çalışabilirlik																		Modülerlik	Lütfen seçim yapınız!
Uyarlama ve Teknik Alt Yapı	Birlikte Çalışabilirlik																		Performans Verimliliği	Lütfen seçim yapınız!
Uyarlama ve Teknik Alt Yapı	Birlikte Çalışabilirlik																		Uyarlanabilirlik	Lütfen seçim yapınız!
Uyarlama ve Teknik Alt Yapı	Birlikte Çalışabilirlik																		Uyumluluk	Lütfen seçim yapınız!
Uyarlama ve Teknik Alt Yapı	Birlikte Çalışabilirlik																		WEB Tabanlı Uygulama Desteği	Lütfen seçim yapınız!
Uyarlama ve Teknik Alt Yapı	Genişletilebilirlik																		Kurulum Yeteneği	Lütfen seçim yapınız!
Uyarlama ve Teknik Alt Yapı	Genişletilebilirlik																		Modülerlik	Lütfen seçim yapınız!
Uyarlama ve Teknik Alt Yapı	Genişletilebilirlik																		Performans Verimliliği	Lütfen seçim yapınız!
Uyarlama ve Teknik Alt Yapı	Genişletilebilirlik																		Uyarlanabilirlik	Lütfen seçim yapınız!
Uyarlama ve Teknik Alt Yapı	Genişletilebilirlik																		Uyumluluk	Lütfen seçim yapınız!
Uyarlama ve Teknik Alt Yapı	Genişletilebilirlik																		WEB Tabanlı Uygulama Desteği	Lütfen seçim yapınız!
Uyarlama ve Teknik Alt Yapı	Kurulum Yeteneği																		Modülerlik	Lütfen seçim yapınız!
Uyarlama ve Teknik Alt Yapı	Kurulum Yeteneği																		Performans Verimliliği	Lütfen seçim yapınız!
Uyarlama ve Teknik Alt Yapı	Kurulum Yeteneği																		Uyarlanabilirlik	Lütfen seçim yapınız!

EK-1. (devam) ANP Yöntemi ikili karşılaştırma anket formu

"A" sütununda belirtilenlere göre ilgili satırdaki kriterlerin birbirlerine göre önem derecelerini belirleyiniz. "A" Sütunundaki bilgilerin filtrelenerek doldurulması sağlıklı olacaktır.	KRİTER#1	Kesinlikle daha önemli									KRİTER#2									"U" Sütunundaki bilgiler seçim sonucunuzu belirtmektedir. Bu sütundaki bilgilerden atlanan var mı diye de kontrol edebilirsiniz.
		9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
AMAÇ	K1																		K2	SEÇİM SONUCU
Uyarılma ve Teknik Alt Yapı	Kurulum Yeteneği																		Uyumluluk	Lütfen seçim yapınız!
Uyarılma ve Teknik Alt Yapı	Kurulum Yeteneği																		WEB Tabanlı Uygulama Desteği	Lütfen seçim yapınız!
Uyarılma ve Teknik Alt Yapı	Modülerlik																		Performans Verimliliği	Lütfen seçim yapınız!
Uyarılma ve Teknik Alt Yapı	Modülerlik																		Uyarlanabilirlik	Lütfen seçim yapınız!
Uyarılma ve Teknik Alt Yapı	Modülerlik																		Uyumluluk	Lütfen seçim yapınız!
Uyarılma ve Teknik Alt Yapı	Modülerlik																		WEB Tabanlı Uygulama Desteği	Lütfen seçim yapınız!
Uyarılma ve Teknik Alt Yapı	Performans Verimliliği																		Uyarlanabilirlik	Lütfen seçim yapınız!
Uyarılma ve Teknik Alt Yapı	Performans Verimliliği																		Uyumluluk	Lütfen seçim yapınız!
Uyarılma ve Teknik Alt Yapı	Performans Verimliliği																		WEB Tabanlı Uygulama Desteği	Lütfen seçim yapınız!
Uyarılma ve Teknik Alt Yapı	Uyarlanabilirlik																		Uyumluluk	Lütfen seçim yapınız!
Uyarılma ve Teknik Alt Yapı	Uyarlanabilirlik																		WEB Tabanlı Uygulama Desteği	Lütfen seçim yapınız!
Uyarılma ve Teknik Alt Yapı	Uyumluluk																		WEB Tabanlı Uygulama Desteği	Lütfen seçim yapınız!
Veri Yönetimi	Bilgi Güvenliği																		Güvenilirlik	Lütfen seçim yapınız!
Veri Yönetimi	Bilgi Güvenliği																		Yedekleme ve Kurtarma	Lütfen seçim yapınız!
Veri Yönetimi	Bilgi Güvenliği																		Yetkilendirme Yönetimi	Lütfen seçim yapınız!
Veri Yönetimi	Güvenilirlik																		Yedekleme ve Kurtarma	Lütfen seçim yapınız!
Veri Yönetimi	Güvenilirlik																		Yetkilendirme Yönetimi	Lütfen seçim yapınız!
Veri Yönetimi	Yedekleme ve Kurtarma																		Yetkilendirme Yönetimi	Lütfen seçim yapınız!
İşlevsellik	Gömülü Görselleştirme																		İzlenebilirlik ve İş Akış Yönetimi	Lütfen seçim yapınız!
İzlenebilirlik ve İş Akış Yönetimi	Gömülü Görselleştirme																		İşlevsellik	Lütfen seçim yapınız!
Kullanım Kolaylığı	Gelişmiş Arama ve Raporlama																		İşlevsellik	Lütfen seçim yapınız!
Birlikte Çalışabilirlik	Genişletilebilirlik																		Uyumluluk	Lütfen seçim yapınız!
Uyarlanabilirlik	Analiz Edilebilirlik																		Birlikte Çalışabilirlik	Lütfen seçim yapınız!
Uyarlanabilirlik	Analiz Edilebilirlik																		Genişletilebilirlik	Lütfen seçim yapınız!
Uyarlanabilirlik	Analiz Edilebilirlik																		Modülerlik	Lütfen seçim yapınız!
Uyarlanabilirlik	Birlikte Çalışabilirlik																		Genişletilebilirlik	Lütfen seçim yapınız!
Uyarlanabilirlik	Birlikte Çalışabilirlik																		Modülerlik	Lütfen seçim yapınız!
Uyarlanabilirlik	Genişletilebilirlik																		Modülerlik	Lütfen seçim yapınız!
WEB Tabanlı Uygulama Desteği	Performans Verimliliği																		Uyarlanabilirlik	Lütfen seçim yapınız!
Bilgi Güvenliği	Güvenilirlik																		Yetkilendirme Yönetimi	Lütfen seçim yapınız!
Gelişmiş Arama ve Raporlama	Performans Verimliliği																		Uyarlanabilirlik	Lütfen seçim yapınız!
Gömülü Görselleştirme	Birlikte Çalışabilirlik																		Performans Verimliliği	Lütfen seçim yapınız!
İşlevsellik	Birlikte Çalışabilirlik																		Modülerlik	Lütfen seçim yapınız!
İşlevsellik	Birlikte Çalışabilirlik																		Uyarlanabilirlik	Lütfen seçim yapınız!
İşlevsellik	Birlikte Çalışabilirlik																		WEB Tabanlı Uygulama Desteği	Lütfen seçim yapınız!
İşlevsellik	Modülerlik																		Uyarlanabilirlik	Lütfen seçim yapınız!
İşlevsellik	Modülerlik																		WEB Tabanlı Uygulama Desteği	Lütfen seçim yapınız!
İşlevsellik	Uyarlanabilirlik																		WEB Tabanlı Uygulama Desteği	Lütfen seçim yapınız!
İzlenebilirlik ve İş Akış Yönetimi	Birlikte Çalışabilirlik																		Uyarlanabilirlik	Lütfen seçim yapınız!
Uyarlanabilirlik	Gelişmiş Arama ve Raporlama																		İşlevsellik	Lütfen seçim yapınız!
Uyarlanabilirlik	Gelişmiş Arama ve Raporlama																		Kullanım Kolaylığı	Lütfen seçim yapınız!
Uyarlanabilirlik	İşlevsellik																		Kullanım Kolaylığı	Lütfen seçim yapınız!

EK-1. (devam) ANP Yöntemi ikili karşılaştırma anket formu

"A" sütununda belirtilenlere göre ilgili satırdaki kriterlerin birbirlerine göre önem derecelerini belirleyiniz. "A" Sütunundaki bilgilerin filtrelenerek doldurulması sağlıklı olacaktır.	KRİTER#1	Kesinlikle daha önemli									KRİTER#2									"U" Sütunundaki bilgiler seçim sonucunuzu belirtmektedir. Bu sütundaki bilgilerden atlanan var mı diye de kontrol edebilirsiniz.
		9	8	7	6	5	4	3	2	1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
AMAÇ	K1										K2									SEÇİM SONUCU
Uyarlanabilirlik	Güvenilirlik										Yedekleme ve Kurtarma									Lütfen seçim yapınız!
Uyarlanabilirlik	Güvenilirlik										Yetkilendirme Yönetimi									Lütfen seçim yapınız!
Uyarlanabilirlik	Yedekleme ve Kurtarma										Yetkilendirme Yönetimi									Lütfen seçim yapınız!
Bilgi Güvenliği	Gelişmiş Arama ve Raporlama										İzlenebilirlik ve İş Akış Yönetimi									Lütfen seçim yapınız!
Güvenilirlik	Performans Verimliliği										Uyumluluk									Lütfen seçim yapınız!
Gelişmiş Arama ve Raporlama	PLM-1										PLM-2									Lütfen seçim yapınız!
Gelişmiş Arama ve Raporlama	PLM-1										PLM-3									Lütfen seçim yapınız!
Gelişmiş Arama ve Raporlama	PLM-2										PLM-3									Lütfen seçim yapınız!
Gömülü Görselleştirme	PLM-1										PLM-2									Lütfen seçim yapınız!
Gömülü Görselleştirme	PLM-1										PLM-3									Lütfen seçim yapınız!
Gömülü Görselleştirme	PLM-2										PLM-3									Lütfen seçim yapınız!
İşlevsellik	PLM-1										PLM-2									Lütfen seçim yapınız!
İşlevsellik	PLM-1										PLM-3									Lütfen seçim yapınız!
İşlevsellik	PLM-2										PLM-3									Lütfen seçim yapınız!
İzlenebilirlik ve İş Akış Yönetimi	PLM-1										PLM-2									Lütfen seçim yapınız!
İzlenebilirlik ve İş Akış Yönetimi	PLM-1										PLM-3									Lütfen seçim yapınız!
İzlenebilirlik ve İş Akış Yönetimi	PLM-2										PLM-3									Lütfen seçim yapınız!
Kullanım Kolaylığı	PLM-1										PLM-2									Lütfen seçim yapınız!
Kullanım Kolaylığı	PLM-1										PLM-3									Lütfen seçim yapınız!
Kullanım Kolaylığı	PLM-2										PLM-3									Lütfen seçim yapınız!
Analiz Edilebilirlik	PLM-1										PLM-2									Lütfen seçim yapınız!
Analiz Edilebilirlik	PLM-1										PLM-3									Lütfen seçim yapınız!
Analiz Edilebilirlik	PLM-2										PLM-3									Lütfen seçim yapınız!
Birlikte Çalışabilirlik	PLM-1										PLM-2									Lütfen seçim yapınız!
Birlikte Çalışabilirlik	PLM-1										PLM-3									Lütfen seçim yapınız!
Birlikte Çalışabilirlik	PLM-2										PLM-3									Lütfen seçim yapınız!
Genişletilebilirlik	PLM-1										PLM-2									Lütfen seçim yapınız!
Genişletilebilirlik	PLM-1										PLM-3									Lütfen seçim yapınız!
Genişletilebilirlik	PLM-2										PLM-3									Lütfen seçim yapınız!
Kurulum Yeteneği	PLM-1										PLM-2									Lütfen seçim yapınız!
Kurulum Yeteneği	PLM-1										PLM-3									Lütfen seçim yapınız!
Kurulum Yeteneği	PLM-2										PLM-3									Lütfen seçim yapınız!
Modülerlik	PLM-1										PLM-2									Lütfen seçim yapınız!
Modülerlik	PLM-1										PLM-3									Lütfen seçim yapınız!
Modülerlik	PLM-2										PLM-3									Lütfen seçim yapınız!
Performans Verimliliği	PLM-1										PLM-2									Lütfen seçim yapınız!
Performans Verimliliği	PLM-1										PLM-3									Lütfen seçim yapınız!
Performans Verimliliği	PLM-2										PLM-3									Lütfen seçim yapınız!
Uyarlanabilirlik	PLM-1										PLM-2									Lütfen seçim yapınız!
Uyarlanabilirlik	PLM-1										PLM-3									Lütfen seçim yapınız!
Uyarlanabilirlik	PLM-2										PLM-3									Lütfen seçim yapınız!
Uyumluluk	PLM-1										PLM-2									Lütfen seçim yapınız!
Uyumluluk	PLM-1										PLM-3									Lütfen seçim yapınız!
Uyumluluk	PLM-2										PLM-3									Lütfen seçim yapınız!
WEB Tabanlı Uygulama Desteği	PLM-1										PLM-2									Lütfen seçim yapınız!
WEB Tabanlı Uygulama Desteği	PLM-1										PLM-3									Lütfen seçim yapınız!
WEB Tabanlı Uygulama Desteği	PLM-2										PLM-3									Lütfen seçim yapınız!
Bilgi Güvenliği	PLM-1										PLM-2									Lütfen seçim yapınız!
Bilgi Güvenliği	PLM-1										PLM-3									Lütfen seçim yapınız!
Bilgi Güvenliği	PLM-2										PLM-3									Lütfen seçim yapınız!
Güvenilirlik	PLM-1										PLM-2									Lütfen seçim yapınız!
Güvenilirlik	PLM-1										PLM-3									Lütfen seçim yapınız!
Güvenilirlik	PLM-2										PLM-3									Lütfen seçim yapınız!

EK-1. (devam) ANP Yöntemi ikili karşılaştırma anket formu

"A" sütununda belirtilenlere göre ilgili satırdaki kriterlerin birbirlerine göre önem derecelerini belirleyiniz. "A" Sütunundaki bilgilerin titrelenerek doldurulması sağlıklı olacaktır.	KRİTER#1										KRİTER#2	"U" Sütunundaki bilgiler seçim sonucunuzu belirtmektedir. Bu sütundaki bilgilerden atlanan var mı diye de kontrol edebilirsiniz.								
		Kesinlikle daha önemli	Ara değer	Çok daha önemli	Ara değer	Oldukça önemli	Ara değer	Biraz daha fazla önemli	Ara değer	Oldukça önemli			Ara değer	Çok daha önemli	Kesinlikle daha önemli					
AMAÇ	K1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	K2	SEÇİM SONUCU
Yedekleme ve Kurtarma	PLM-1																		PLM-2	Lütfen seçim yapınız!
Yedekleme ve Kurtarma	PLM-1																		PLM-3	Lütfen seçim yapınız!
Yedekleme ve Kurtarma	PLM-2																		PLM-3	Lütfen seçim yapınız!
Yetkilendirme Yönetimi	PLM-1																		PLM-2	Lütfen seçim yapınız!
Yetkilendirme Yönetimi	PLM-1																		PLM-3	Lütfen seçim yapınız!
Yetkilendirme Yönetimi	PLM-2																		PLM-3	Lütfen seçim yapınız!
Servis ve Teknik Destek	PLM-1																		PLM-2	Lütfen seçim yapınız!
Servis ve Teknik Destek	PLM-1																		PLM-3	Lütfen seçim yapınız!
Servis ve Teknik Destek	PLM-2																		PLM-3	Lütfen seçim yapınız!

EK-2. (devam) Anketlerden elde edilen ikili karşılaştırma matrislerinin değerleri ve tutarlılık oranları

Node Cluster	Graphical	Verbal	Matrix	Questionnaire	Direct	Normal	Hybrid
Choose Node	3 İşlevsellik	2 Gömülü Görselleştirme is 3 İşlevsellik node in "1 Fonksiyonel Uygunluk" cluster	4 İzlenil~	2 Gömülü Görselleştirme is 3 İşlevsellik node in "1 Fonksiyonel Uygunluk" cluster	2 Gömülü ~	0.50000	0.50000
Cluster: 1 Fonksiyonel U~	1 Fonksiyonel ~	2 Gömülü Görselleştirme is 3 İşlevsellik node in "1 Fonksiyonel Uygunluk" cluster	4 İzlenil~	2 Gömülü Görselleştirme is 3 İşlevsellik node in "1 Fonksiyonel Uygunluk" cluster	4 İzlenil~	0.50000	0.50000
Choose Cluster	1 Fonksiyonel ~	2 Gömülü Görselleştirme is 3 İşlevsellik node in "1 Fonksiyonel Uygunluk" cluster	4 İzlenil~	2 Gömülü Görselleştirme is 3 İşlevsellik node in "1 Fonksiyonel Uygunluk" cluster	4 İzlenil~	0.50000	0.50000
Node Cluster	Graphical	Verbal	Matrix	Questionnaire	Direct	Normal	Hybrid
Choose Node	3 İşlevsellik	2 Birlikte Çalışılabilirlik is 3 İşlevsellik node in "2 Uyarılma ve Teknik Altyapı" cluster	5 Modüler~	2 Birlikte Çalışılabilirlik is 3 İşlevsellik node in "2 Uyarılma ve Teknik Altyapı" cluster	2 Birlikte ~	0.32576	0.32576
Cluster: 1 Fonksiyonel U~	1 Fonksiyonel ~	2 Birlikte Çalışılabilirlik is 3 İşlevsellik node in "2 Uyarılma ve Teknik Altyapı" cluster	5 Modüler~	2 Birlikte Çalışılabilirlik is 3 İşlevsellik node in "2 Uyarılma ve Teknik Altyapı" cluster	5 Modüler~	0.19972	0.19972
Choose Cluster	1 Fonksiyonel ~	2 Birlikte Çalışılabilirlik is 3 İşlevsellik node in "2 Uyarılma ve Teknik Altyapı" cluster	5 Modüler~	2 Birlikte Çalışılabilirlik is 3 İşlevsellik node in "2 Uyarılma ve Teknik Altyapı" cluster	5 Modüler~	0.32433	0.32433
Node Cluster	Graphical	Verbal	Matrix	Questionnaire	Direct	Normal	Hybrid
Choose Node	3 İşlevsellik	2 Uyarılma ve ~	7 Uyarıl~	2 Uyarılma ve ~	2 Uyarılma ~	0.15019	0.15019
Cluster: 1 Fonksiyonel U~	1 Fonksiyonel ~	2 Uyarılma ve ~	7 Uyarıl~	2 Uyarılma ve ~	2 Uyarılma ~	0.15019	0.15019
Choose Cluster	1 Fonksiyonel ~	2 Uyarılma ve ~	7 Uyarıl~	2 Uyarılma ve ~	2 Uyarılma ~	0.15019	0.15019
Node Cluster	Graphical	Verbal	Matrix	Questionnaire	Direct	Normal	Hybrid
Choose Node	3 İşlevsellik	PLM-2 is 1.1976 times more important than PLM-1	PLM-2 ~	PLM-2 is 1.1976 times more important than PLM-1	PLM-1 ~	0.33273	0.33273
Cluster: 1 Fonksiyonel U~	1 Fonksiyonel ~	PLM-2 is 1.1976 times more important than PLM-1	PLM-2 ~	PLM-2 is 1.1976 times more important than PLM-1	PLM-1 ~	0.37305	0.37305
Choose Cluster	1 Fonksiyonel ~	PLM-2 is 1.1976 times more important than PLM-1	PLM-2 ~	PLM-2 is 1.1976 times more important than PLM-1	PLM-1 ~	0.29422	0.29422
Node Cluster	Graphical	Verbal	Matrix	Questionnaire	Direct	Normal	Hybrid
Choose Node	4 İzlenilebilirlik	3 İşlevsellik is 1.3966 times more important than 2 Gömülü Görselleştirme	3 İşlevsel~	3 İşlevsellik is 1.3966 times more important than 2 Gömülü Görselleştirme	2 Gömülü ~	0.41725	0.41725
Cluster: 1 Fonksiyonel U~	1 Fonksiyonel ~	3 İşlevsellik is 1.3966 times more important than 2 Gömülü Görselleştirme	3 İşlevsel~	3 İşlevsellik is 1.3966 times more important than 2 Gömülü Görselleştirme	2 Gömülü ~	0.58275	0.58275
Choose Cluster	1 Fonksiyonel ~	3 İşlevsellik is 1.3966 times more important than 2 Gömülü Görselleştirme	3 İşlevsel~	3 İşlevsellik is 1.3966 times more important than 2 Gömülü Görselleştirme	2 Gömülü ~	0.58275	0.58275

EK-2. (devam) Anketlerden elde edilen ikili karşılaştırma matrislerinin değerleri ve tutarlılık oranları

Node Cluster Choose Node 4 İzenilebili~ Cluster. 1 Fonksiyonel U~ Choose Cluster 2 Uyarılma ve ~	Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct Comparisons wrt "4 İzenilebilirlik ve İş Akış Yönetimi" node in "2 Uyarılma ve Teknik Altyapı" cluster 7 Uyarılabilirlik is 1.5314 times more important than 2 Birlikte Çalışılabilirlik Inconsistency 7 Uyarıl~ 2 Birlikte~ 1.5313	Normal Hybrid Inconsistency: 0.00000 0.39504 0.60496
Node Cluster Choose Node 4 İzenilebili~ Cluster. 1 Fonksiyonel U~ Choose Cluster 2 Uyarılma ve ~	Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct Comparisons wrt "4 İzenilebilirlik ve İş Akış Yönetimi" node in "Alternatives" cluster PLM-2 is 2.0534 times more important than PLM-1 Inconsistency PLM-2 ~ PLM-3 ~ PLM-1 ~ 2.0533 2.7322 PLM-2 ~ 1.3495	Normal Hybrid Inconsistency: 0.00002 0.17275 0.35305 0.47421
Node Cluster Choose Node 5 Kullanım Kol~ Cluster. 1 Fonksiyonel U~ Choose Cluster 1 Fonksiyonel ~	Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct Comparisons wrt "5 Kullanım Kolaylığı" node in "1 Fonksiyonel Uygunluk" cluster 1 Gelişmiş Arama ve Raporlama is 1.41 times more important than 3 İşlevsellik Inconsistency 3 İşlevsel~ 1 Gelişmiş~ 1.41	Normal Hybrid Inconsistency: 0.00000 0.58506 0.41494
Node Cluster Choose Node 5 Kullanım Kol~ Cluster. 1 Fonksiyonel U~ Choose Cluster Alternatives	Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct Comparisons wrt "5 Kullanım Kolaylığı" node in "Alternatives" cluster PLM-1 is 1.421 times more important than PLM-2 Inconsistency PLM-2 ~ PLM-3 ~ PLM-1 ~ 1.421 2.852 PLM-2 ~ 1.125	Normal Hybrid Inconsistency: 0.03591 0.49863 0.28932 0.21205

EK-2. (devam) Anketlerden elde edilen ikili karşılaştırma matrislerinin değerleri ve tutarlılık oranları

Node Cluster Choose Node 1 Analiz Edile~ Cluster: 2 Uyarlama ve T~ Choose Cluster Alternatives	Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct Comparisons wrt "1 Analiz Edilebilirlik" node in "Alternatives" cluster PLM-2 is 1.0823 times more important than PLM-1 Inconsistency PLM-1 ~ PLM-2 ~	Matrix PLM-2 ~ PLM-3 ~ PLM-2 ~ PLM-3 ~	Questionnaire Direct PLM-3 ~ 1.2787 1.187	Normal Hybrid Inconsistency: 0.01224 PLM-1 PLM-2 PLM-3 0.29817 0.36121 0.34063
Node Cluster Choose Node 2 Birlikte Çal~ Cluster: 2 Uyarlama ve T~ Choose Cluster 2 Uyarlama ve ~	Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct Comparisons wrt "2 Birlikte Çalışılabilirlik" node in "2 Uyarlama ve Teknik Altyapı" cluster 3 Genişletilebilirlik is 1.684 times more important than 8 Uyumluluk Inconsistency 3 Genişle~ 8 Uyumlulu~	Matrix 8 Uyumlulu~ 1.684	Questionnaire Direct 1.684	Normal Hybrid Inconsistency: 0.00000 3 Genişle~ 8 Uyumlulu~ 0.62742 0.37258
Node Cluster Choose Node 2 Birlikte Çal~ Cluster: 2 Uyarlama ve T~ Choose Cluster Alternatives	Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct Comparisons wrt "2 Birlikte Çalışılabilirlik" node in "Alternatives" cluster PLM-2 is 1.2121 times more important than PLM-1 Inconsistency PLM-1 ~ PLM-2 ~	Matrix PLM-2 ~ PLM-3 ~ PLM-1 ~ PLM-2 ~	Questionnaire Direct PLM-3 ~ 1.026 1.2121 1.161	Normal Hybrid Inconsistency: 0.00051 PLM-1 PLM-2 PLM-3 0.31428 0.37231 0.31341
Node Cluster Choose Node 3 Genişletileb~ Cluster: 2 Uyarlama ve T~ Choose Cluster Alternatives	Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct Comparisons wrt "3 Genişletilebilirlik" node in "Alternatives" cluster PLM-1 is 1.328 times more important than PLM-2 Inconsistency PLM-1 ~ PLM-2 ~	Matrix PLM-2 ~ PLM-3 ~ PLM-1 ~ PLM-2 ~	Questionnaire Direct PLM-3 ~ 1.225 1.328 1.125	Normal Hybrid Inconsistency: 0.00421 PLM-1 PLM-2 PLM-3 0.38932 0.31322 0.29746

EK-2. (devam) Anketlerden elde edilen ikili karşılaştırma matrislerinin değerleri ve tutarlılık oranları

Node Cluster	Graphical	Verbal	Matrix	Questionnaire	Direct	Normal	Hybrid
Choose Node							
7 Uyarlanabilirlik~							
Cluster: 2 Uyarılama ve T~							
Choose Cluster							
2 Uyarılama ve ~							
Node Cluster	Graphical	Verbal	Matrix	Questionnaire	Direct	Normal	Hybrid
Choose Node							
7 Uyarlanabilirlik~							
Cluster: 2 Uyarılama ve T~							
Choose Cluster							
3 Veri Yönetimi							
Node Cluster	Graphical	Verbal	Matrix	Questionnaire	Direct	Normal	Hybrid
Choose Node							
7 Uyarlanabilirlik~							
Cluster: 2 Uyarılama ve T~							
Choose Cluster							
Alternatives							
Node Cluster	Graphical	Verbal	Matrix	Questionnaire	Direct	Normal	Hybrid
Choose Node							
7 Uyarlanabilirlik~							
Cluster: 2 Uyarılama ve T~							
Choose Cluster							
Alternatives							
Node Cluster	Graphical	Verbal	Matrix	Questionnaire	Direct	Normal	Hybrid
Choose Node							
8 Uyumluluk							
Cluster: 2 Uyarılama ve T~							
Choose Cluster							
Alternatives							

EK-2. (devam) Anketlerden elde edilen ikili karşılaştırma matrislerinin değerleri ve tutarlılık oranları

Node Cluster	Graphical	Verbal	Matrix	Questionnaire	Direct	Normal	Hybrid
Choose Node	Comparisons wrt "2 Güvenilirlik" node in "2 Uyarılma ve Teknik Altyapı" cluster						
2 Güvenilirlik							
Cluster. 3 Veri Yönetimi							
Choose Cluster							
2 Uyarılma ve ~							
Node Cluster	Graphical	Verbal	Matrix	Questionnaire	Direct	Normal	Hybrid
Choose Node	Comparisons wrt "2 Güvenilirlik" node in "Alternatives" cluster						
2 Güvenilirlik							
Cluster. 3 Veri Yönetimi							
Choose Cluster							
Alternatives							
Node Cluster	Graphical	Verbal	Matrix	Questionnaire	Direct	Normal	Hybrid
Choose Node	Comparisons wrt "3 Yedekleme ve Kurtarma" node in "Alternatives" cluster						
3 Yedekleme ve~							
Cluster. 3 Veri Yönetimi							
Choose Cluster							
Alternatives							
Node Cluster	Graphical	Verbal	Matrix	Questionnaire	Direct	Normal	Hybrid
Choose Node	Comparisons wrt "4 Yetkilendirme Yönetimi" node in "Alternatives" cluster						
4 Yetkilendirim~							
Cluster. 3 Veri Yönetimi							
Choose Cluster							
Alternatives							

EK-2. (devam) Anketlerden elde edilen ikili karşılaştırma matrislerinin değerleri ve tutarlılık oranları

Node Cluster Choose Cluster 1 Fonksiyonel ~	Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct 2 Uyarılama ve Teknik Altyapı is 1.1806 times more important than 1 Fonksiyonel Uygunluk	Inconsistency 1 Fonksiyonel ~ 2 Uyarılama ~ 3 Veri Yön ~ 4 Servis v ~	2 Uyarılama ~ 3 Veri Yön ~ 4 Servis v ~	3 Veri Yön ~ 4 Servis v ~	4 Servis v ~	Alternativ ~	Normal Hybrid Inconsistency: 0.00658 1 Fonksiyel ~ 2 Uyarılama ~ 3 Veri Yön ~ 4 Servis ~ Alternati ~
Node Cluster Choose Cluster 2 Uyarılama ve ~	Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct 2 Uyarılama ve Teknik Altyapı is 2.1186 times more important than 1 Fonksiyonel Uygunluk	Inconsistency 1 Fonksiyel ~ 2 Uyarılama ~ 3 Veri Yön ~ 4 Servis v ~	2 Uyarılama ~ 3 Veri Yön ~ 4 Servis v ~	3 Veri Yön ~ 4 Servis v ~	4 Servis v ~	Alternativ ~	Normal Hybrid Inconsistency: 0.01321 1 Fonksiyel ~ 2 Uyarılama ~ 3 Veri Yön ~ 4 Servis ~ Alternati ~
Node Cluster Choose Cluster 3 Veri Yönetimi ~	Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct 2 Uyarılama ve Teknik Altyapı is 1.4663 times more important than 1 Fonksiyonel Uygunluk	Inconsistency 1 Fonksiyel ~ 2 Uyarılama ~ 3 Veri Yön ~ 4 Servis v ~	2 Uyarılama ~ 3 Veri Yön ~ 4 Servis v ~	3 Veri Yön ~ 4 Servis v ~	4 Servis v ~	Alternativ ~	Normal Hybrid Inconsistency: 0.00878 1 Fonksiyel ~ 2 Uyarılama ~ 3 Veri Yön ~ 4 Servis ~ Alternati ~
Node Cluster Choose Cluster En Uygun PLM Y~	Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct 2 Uyarılama ve Teknik Altyapı is 1.0363 times more important than 1 Fonksiyonel Uygunluk	Inconsistency 1 Fonksiyel ~ 2 Uyarılama ~ 3 Veri Yön ~	2 Uyarılama ~ 3 Veri Yön ~ 4 Servis v ~	3 Veri Yön ~ 4 Servis v ~	4 Servis v ~	Alternativ ~	Normal Hybrid Inconsistency: 0.00888 1 Fonksiyel ~ 2 Uyarılama ~ 3 Veri Yön ~ 4 Servis ~



GAZİ GELECEKTİR..