

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TÜRK SAVUNMA SANAYİSİ İÇİN ENDÜSTRİ 4.0 OLGUNLUK MODELİ GELİŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Umut OKTAY

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Orhan TORKUL

Mart 2021

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Umut OKTAY

10.11.2020

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Orhan TORKUL'a teşekkürlerimi sunarım.

Sıkı çalışmalarım sırasında anlayış ve yardımlarını esirgemeyen eşime teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLOLAR LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	viii
SUMMARY	ix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Amaç.....	4
1.2. Önem.....	4
1.3. Yöntem	5
BÖLÜM 2.	
AKILLI FABRİKALAR.....	7
2.1. Akıllı Fabrikaların Tanımı.....	12
2.2. Akıllı Fabrikaların Bileşenleri	13
2.3. Akıllı Fabrikaların Özellikleri	20
2.4. Geleneksel Fabrikalar ile Akıllı Fabrikaların Farkları.....	22
2.5. Akıllı Fabrikaların Faydaları	24
BÖLÜM 3.	
SAVUNMA SANAYİİ	27
3.1. Savunma Sanayisinin Özellikleri.....	27
3.2. Savunma Sanayinin Pazar Özellikleri	29

3.3. Savunma Sanayi Ürünlerinin Özellikleri.....	30
3.4. Savunma Sanayi Firmalarının Özellikleri	32
3.5. Türk Savunma Sanayii.....	33

BÖLÜM 4.

OLGUNLUK MODELLERİ	36
4.1. Impuls Endüstri 4.0 Hazırlık Modeli (2015)	37
4.2. Güçlendirilmiş ve Endüstri 4.0 Uygulama Stratejisi Modeli (2016).....	38
4.3. Endüstri 4.0 /Dijital Operasyonlar Öz Değerlendirme Modeli (2016)...	38
4.4. Bağlı Kurumsal Olgunluk Modeli (2014).....	39
4.5. SAP ve Capgemini'nin Ayırık Endüstriler için Hızlı Dijital Modeli (2016).....	39
4.6. Tübitak – Dijital Olgunluk Modeli	41
4.7. Sanayi İşletmelerinin Endüstri 4.0 Hazırlığı ve Olgunluğu: Schumacher Modeli (2016)	42
4.8. Endüstri 4.0 için Sistem Entegrasyon Olgunluk Modeli SIMMI 4.0 (2016)	43

BÖLÜM 5.

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ	52
5.1. MACHBETH Yöntemi.....	53
5.2. TOPSIS Yöntemi	59

BÖLÜM 6.

UYGULAMA	62
6.1. Performans Değerlendirme Kriterleri	64
6.1.1. Teknoloji kullanımı	65
6.1.2. Ürün geliştirme	65
6.1.3. İnsan ve ARGE kültürü	66
6.1.4. Strateji ve yönetim.....	66
6.2. Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması (MACBETH Yöntemi)	67
6.3. TOPSIS Yöntemi ile Endüstri 4.0 Olgunluk Değerinin Hesaplanması..	76

BÖLÜM 7.

SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	80
7.1. Sonuç ve Tartışma	80
7.2. Öneriler	83
 KAYNAKLAR	85
EKLER.....	92
ÖZGEÇMİŞ	98



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AHP	: Analytic Hierarchy Process
API	: Application Programming Interface
AR-GE	: Araştırma ve Geliştirme
BCG	: Boston Consulting Group
BİT	: Bilgi ve İletişim Teknolojileri
CPPS	: Cyber-Physical Production Systems
CPPS	: Siber Fiziksel Üretim Sistemlerini
CPS	: Siber Fiziksel Sistemler: Cyber Physical Systems
ÇAKV	: Çok Amaçlı Karar Verme
ÇKKVY	: Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri
ÇNKV	: Çok Nitelikli Karar Verme
IoT	: Nesnelerin İnterneti: Internet of Things
MACBETH	: Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique
MSB	: Millî Savunma Bakanlığı
NATO-CNAD	: NATO Ulusal Silahlanma Direktörleri Konferansı
RFID	: Radyo Frekanslı Tanıma Sistemi
SASAD	: Savunma Sanayi İmalatçılar Derneği
SIMMI.- 4.0	: System Integration Maturity Model for Industry 4.0
TDK	: Türk Dil Kurumu
TOPSİS	: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
TSK	: Türk Silahlı Kuvvetleri
UİİSP	: Uluslararası İş birliği ve İhracat Stratejik Planı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Endüstrinin Gelişimi	8
Şekil 2.2. Endüstri 4.0 Bileşenleri.....	11
Şekil 2.3. Akıllı fabrika bileşenleri	14
Şekil 2.4. Nesnelerin İnterneti Kavramının Katmanları.....	15
Şekil 2.5: Siber Fiziksel Sistemin Genel Yapısı	16
Şekil 2.6: Akıllı Fabrikanın özellikleri.....	21
Şekil 4.1. Sektörlere Göre Endüstri 4.0	47
Şekil 5.1. Karar Verme Yöntemleri	53
Şekil 5.2. Machbeth Değer Ağacı	55
Şekil 5.3. Tutarlılığın Kontrol Edilmesi.....	57
Şekil 6.1. Uygulama Adımları	62
Şekil 6.2. Ana Kriterlere ait Değer Ağacı	68
Şekil 6.3. Ana Kriterlerin Mukayesesi	69
Şekil 6.4. Ana Kriterlerin Ağırlıkları	69
Şekil 6.5. Teknolojinin Kullanımı için Değer Ağacı	70
Şekil 6.6. Ürün Geliştirme için Değer Ağacı	70
Şekil 6.7. İnsan ve ARGE Kültürü için Değer Ağacı	71
Şekil 6.8. Strateji ve Yönetim için Değer Ağacı.....	71
Şekil 6.9. Teknolojinin Kullanımı Kriterlerinin Mukayesesi ve Ağırlıkları.....	72
Şekil 6.10. Ürün Geliştirme Kriterlerinin Mukayesesi ve Ağırlıkları.....	72
Şekil 6.11. Strateji ve Yönetim Kriterlerinin Mukayesesi ve Ağırlıkları	73
Şekil 6.12. İnsan ve ARGE Kültürü Kriterlerinin Mukayesesi ve Ağırlıkları	73

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Akıllı Fabrikaların Geleneksel Fabrikalardan Farkları.....	24
Tablo 3.1. DefenseNews Top 100 Listesindeki Türk Firmalarının Sırası	35
Tablo 5.1. Macbeth Ölçekleri.....	56
Tablo 6.1. Savunma Sanayii Endüstri 4.0 Olgunluk Kriterleri	64
Tablo 6.2. Ana Kriter Kodları	68
Tablo 6.3. Alt Kriterlerin Ağırlıkları.....	74
Tablo 6.4. Alt Kriterlerin Nispi Ağırlıkları	74
Tablo 6.5. Üç Uzmanı göre Kriter Ağırlıkları	75
Tablo 6.6. Kriterlerin Ağırlıklarına göre Sıralanması.....	75
Tablo 6.7. Karar Matrisi.....	76
Tablo 6.8. Normalize Karar Matrisi	77
Tablo 6.9. Ağırlıklandırılmış Değerler.....	78
Tablo 6.10. Çözüm Değerleri.....	78
Tablo 6.11. İdeal ve İdeal Olmayan Değerlere Uzaklıklar	79
Tablo 6.12. İdeal Çözüme Nispi Mesafeler	79

ÖZET

Anahtar kelimeler: Endüstri 4.0 , savunma sanayii, olgunluk modeli

Endüstri 4.0 , üretim sistemlerinin akıllı ürünler ve bilgi teknolojileri sistemleriyle doğrudan iletişim sağlayabildiği bir üretim kavramıdır. Bu sayede üretimde tüm süreçlerin düzenlenmesi ve bütünleşmesi ile yüksek sayısallaşma imkânı verir. Ancak yüksek yatırım maliyetleri gerektirmekte ve bilgi güvenliğinde açığa sebep olmaktadır.

Endüstri 4.0 konseptinin neden olduğu gelişme ve değişiklikler tüm sanayii dalları gibi savunma sanayiinde de köklü değişimleri gerektirmekte ve önemli faydalar sağlamaktadır.

Firmaların Endüstri 4.0 a ne kadar geçtiği, Endüstri 4.0 'ın hangi alt başlığında ne kadar eksik olduğu olgunluk modelleri ile ölçülmektedir. Literatürdeki Endüstri 4.0 olgunluk modellerinde farklı kriterler ve farklı hesaplama yöntemleri kullanılmaktadır.

Farklı sanayi sektörleri için Endüstri 4.0 kriterlerinin farklı öneme sahip olduğu ve bunların zaman içerisinde değiştiği kabul edilmektedir. Bu nedenle kendine has özellikleri ile diğer sektörlerden ayrılan savunma sanayisinin Endüstri 4.0 'a geçişinde hangi kriterlerin ne kadar değerli olduğunun hesaplanmasına ve bu değerlere göre bir olgunluk modeli geliştirilmesine ihtiyaç bulunmaktadır.

Bu çalışmada Savunma Sanayisine has, iki aşamalı bir Olgunluk modeli geliştirilmiştir. Birinci aşamada Türk Savunma Sanayiinde çalışanların görüşleri doğrultusunda, MACBETH yöntemi ile, 17 adet kriterin ağırlıkları belirlenmiştir. Ardından bu ağırlıklar kullanılarak ikinci aşamada, beş firmanın Endüstri 4.0 'a geçişini ne kadar tamamlayabildiği ve hangi kriterlerde ne kadar geliştiğini görebilmek maksadıyla, bir Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi olan TOPSİS ile olgunluk değerleri hesaplanmıştır. Değerlendirmeye alınan 5 Numaralı firmanın, Endüstri 4.0 'a geçiş anlamında diğer dört firmaya göre daha iyi durumda olduğu görülmüştür.

INDUSTRY 4.0 MATURITY MODEL FOR TURKISH DEFENSE INDUSTRY

SUMMARY

Keywords: Industry 4.0, defense industry, maturity model.

The Industry 4.0 concept is a production concept where production systems can communicate directly with smart products and information technology systems. In this way, it provides high digitization opportunity with the arrangement and integration of all processes in production. However, the high investment costs involved and the fact that it causes information security gap are the most important difficulties.

The developments and changes caused by the Industry 4.0 concept require radical changes in the defense industry like all branches of industry and provide significant benefits.

How long companies have adapted or transformed into Industry 4.0, how much they are missing and in which subtitle or component of Industry 4.0 are measured with maturity models based on Industry 4.0 criteria. In the literature different criteria and different calculation methods are used in maturity models.

It is accepted that Industry 4.0 criteria have different importance for different industrial sectors and they change over time. Because of this, it is necessary to investigate the value of each criterion in the transition of the defense industry to Industry 4.0, which differs from other sectors with its unique features, and to develop a maturity model according to these values.

A two-stage maturity model for the Defense Industry has been developed in this study. In the first stage, the weights of the criteria were calculated with the MACBETH method in accordance with the opinions of the employees in the Turkish Defense Industry. Then, in the second stage, using these weights, a maturity value was calculated with TOPSIS, one of the Multi Criteria Decision Making Methods, to be able to see how much companies have completed their transition to Industry 4.0 and how much they have developed in which criteria. Among the companies in the study, Company5 has been evaluated as the best mature one with regard to Industry 4.0 transition as a result of TOPSIS Industry 4.0 Maturity Model.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Veri iletişiminin üretimin tüm safhalarında gerçek zamanlı sağlanarak kişiselleştirilmiş, hızlı ve esnek üretim yapılması şeklinde tanımlanan Endüstri 4.0 veya dördüncü sanayi devrimi kavramı, 2011 yılındaki Hannover fuarında tanıtılmış ve Almanya'nın öncülüğünde yapılan araştırmalar ile uygulanmaya başlanmış, ardından 2016 yılındaki Davos Dünya Ekonomik Forumu'nda ana gündem konusu yapılarak tartışılmıştır.

Endüstri 4.0 kavramı, üretim sistemlerinin akıllı ürünler ve bilgi teknolojileri sistemleriyle doğrudan iletişim sağlayabildiği bir üretim şeklidir. Bu sayede üretimde tüm süreçlerin düzenlemesi ve entegrasyonu ile yüksek sayısallaşma imkânı verir. Fakat içerdiği büyük değişiklikler nedeniyle yüksek yatırım maliyetleri gerektirmesi, getirdiği en önemli zorluktur. Diğer yandan iç içe kurulmuş akıllı sistemler ve bunlar arasındaki bilgi alışverişi, eş zamanlı etkileşimle yüksek oranda maliyetleri azaltmayı sağlar.

Endüstri 4.0 'ın bileşenleri arasında artırılmış gerçeklik, siberfiziksel sistemler, nesnelerin interneti, bulut bilişim, büyük veri, dikey ve yatay entegrasyon, otonom robotlar, eklemeli üretim (3D yazıcılar) ve siber güvenlik bulunmaktadır. Firmaların Endüstri 4.0 'a geçişlerini yapabilmeleri için bu bileşenleri içeren teknoloji ve uygulamaları sahip olmaları gerekmektedir (Banger, 2017).

Endüstri 4.0 'a geçiş ile birlikte Türkiye'nin yapacağı kazanımlar konusunda The Boston Consulting Group (BCG) ve TÜSİAD'ın birlikte yaptığı çalışmada, aşağıdaki faydalar öne çıkmıştır (TÜSİAD ve BCG, 2016):

- Düşük fire ve yüksek kalite oranı,

- Esneklik ve yüksek üretim hızı,
- Maliyetler konusunda yüksek verimlilik,
- Yeni iş olanaklarının kazanılması,
- Küresel rekabet gücünde avantajlar kazanılması,
- İleri teknoloji platformları,
- Yüksek nitelikli insan kaynağına ulaşım.

Endüstri 4.0 sayesinde kazanılan yukarıdaki faydalar, Endüstri 4.0 'a geçmek için yatırım yapmaları konusunda firmaları teşvik etmektedir. Firmalar yaptıkları bu yüksek yatırımları, artan verimlilik ve düşen işletim maliyetleri ile telafi edebilmektedir (PWC, 2016).

Bununla birlikte Endüstri 4.0 'ın etkileri, bileşenlerinin önemi ve faydaları sanayi sektörlerine göre değişiklik göstermektedir. İçecek ve gıda ile Otomotiv sanayileri gibi ürün çeşitliliğinin yüksek olduğu endüstriler, Endüstri 4.0 'a geçtiklerinde esneklikten yüksek ölçüde yararlanırken, yüksek kalite odaklı ilaçlar ve yarı iletkenler gibi sanayi sektörleri, asgariye indirilmiş hata oranlarını hedeflemektedirler (MÜSİAD, 2017).

Endüstri 4.0 konseptinin neden olduğu gelişmeler, tüm sanayii dalları gibi ülkelerin güçleri ve bağımsızlıkları adına hayati öneme sahip savunma sanayiinde de önemli faydalar sağlamakla birlikte köklü değişimleri de gerektirmektedir. Günümüzde çok boyutlu ve çok merkezli dünya siyaseti nedeniyle ülkeler arasındaki ilişkiler çok kolay ve sık bir şekilde hem de önemli boyutlarda değişikliğe uğrayabildiğinden ülkelerin savunması ve dolayısı ile savunma sanayii de aynı oranda önem kazanmaktadır. Siyasi konularda problem içinde olan iki ülkeden biri, diğerinden savunma sistemlerini alması durumunda hem siyasi hem de askeri anlamda savunma sistemlerini alan ülke diğer ülkeye göre dezavantajlı konuma geçer. Bu da savunma sistemleri alan ülkeyi bazı konularda diğer ülkeye taviz vermeye zorunlu kılabilir. Bununla bağlantılı olarak bir ülkenin savunma sanayii konusunda diğer ülkelere bağımlı olması, bu ülke açısından hayati riskler oluşturmaktadır. Dışa bağımlı bir savunma sanayii istemeyen ülkeler, savunma sanayiine hali hazırda önemli yatırımlar yapmaktadır. Savunma sanayiinde Endüstri 4.0 'a geçiş bu yatırımları daha da artırmaktadır. Bunun yanı sıra

değişen koşullar yüksek teknoloji içeren ve bu konudaki gelişmelerin anında yansıtıldığı savunma sistemlerine yönelimleri arttırmıştır. Özellikle gelişmiş ülkeler bu konuda büyük yol kat ederek Endüstri 4.0 dönüşümlerini sağlamış durumdadır ve birçok savunma sistemi belirli aralıklarla güncellenebilen birer yazılım içermektedir.

Gelişmiş ülkelerin neredeyse tamamında genel bütçenin önemli bir kısmını, savunma bütçesi teşkil etmektedir. Bu bütçenin uygun kullanılması, verimliliği önemli ölçüde artıran Endüstri 4.0 ile mümkün olabilmektedir (Snasel, 2016). Üretimde artan verimliliğin yanı sıra Endüstri 4.0 'ın değişen müşteri taleplerine hızla cevap verebilmesi (modüler olması), robotların kullanılarak insan kaynaklı hataların azaltılması ve üretimin artması, Nesnelerin İnterneti ile lojistik optimizasyonun gerçekleştirilmesi, öngörülürlüğü artırarak stok maliyetlerini düşürmesi sayesinde Endüstri 4.0 , üretim sürecinin sonucunda maliyetleri düşürmektedir (Serdar, 2019). Ayrıca büyük ölçekli bir ihracat geliri sağlama olanağının olması nedeni ile savunma sanayisinin ve savunma sanayisinde Endüstri 4.0 'a geçişin önemi artmaktadır.

Bununla birlikte savunma sanayii bilgilerinin gizli kalması, özgün olması, diğer ülkelere bağımlı olmaması gibi bazı özellikleri Endüstri 4.0 kriterlerinin tamamını karşılamayı güçleştirmekte veya diğer sektörlerdeki gibi yüksek karşılanma oranlarına ulaşmak mümkün görünmemektedir.

Firmaların Endüstri 4.0 a ne kadar geçtiği veya dönüştüğü, Endüstri 4.0 'ın hangi alt başlığında veya bileşeninde ne kadar eksik olduğu olgunluk modelleri ile ölçülmektedir. Literatürdeki Endüstri 4.0 olgunluk modellerinde farklı alt başlıklar veya kriterler ve farklı hesaplama yöntemleri kullanılmaktadır.

Farklı sanayi sektörlerinde Endüstri 4.0 'a geçişin farklı hızlarda olduğu ve farklı sanayi sektörleri için Endüstri 4.0 kriterlerinin farklı öneme sahip olduğu ve bunların zaman içerisinde değiştiği kabul edilmektedir. Bu nedenle kendine has özellikleri ile diğer sektörlerden ayrılan savunma sanayisinin Endüstri 4.0 'a geçişinde hangi kriterlerin ne kadar değerli olduğunun hesaplanmasına ve bu değerlere göre bir olgunluk modeli geliştirilmesine ihtiyaç bulunmaktadır (Ataman, 2018).

1.1. Amaç

Araştırma kapsamında Endüstri 4.0 - savunma sanayii ilişkisi, Endüstri 4.0 çerçevesinde savunma sanayiinin durumu ve Endüstri 4.0 'a dönüşümünün hesaplanması incelenecektir. Öncelikle, Endüstri 4.0 kavramı ve bileşenleri ortaya konularak etkilerine değinilecek, ardından savunma sanayiinin tanımı ve özellikleri ortaya konularak savunma sanayisinin özelliklerinin Endüstri 4.0 'a geçilmesini nasıl etkileyeceği ve bu geçişin nasıl değerlendirilebileceği ortaya konacak ve Türk Savunma Sanayisinde faaliyet gösteren firmaların bu kapsamda değerlendirilmesi amacıyla bir olgunluk modeli tasarlanacaktır.

Yakın gelecekte, savunma sanayi firmalarının, dördüncü bölümde bahsedilen Endüstri 4.0 olgunluk modelinin parametrelerine uygun olarak Endüstri 4.0 'a geçişini gerçekleştirmesi beklenmektedir. Diğer bir ifade ile, bir savunma sanayi firması ve ürünleri göz önünde bulundurularak Savunma Sanayii için Endüstri 4.0 olgunluk parametrelerinin, tekrar ortaya konması ve belirlenen/yeniden tanımlanan parametrelerin ağırlıklandırılması yapılarak birbirlerine göre önceliklendirmesi yapılması amaçlanmaktadır. Buna uygun olarak bu çalışmada aşağıdaki soruların cevaplandırılması amaçlanmaktadır;

- Savunma Sanayinde Endüstri 4.0 'a geçişi değerlendirmek maksadıyla hangi kriterler kullanılabilir?
- Savunma Sanayinde Endüstri 4.0 'a geçişi değerlendirilebilmek maksadıyla belirlenen kriterlerin ağırlıkları nasıl hesaplanabilir?
- Belirlenen bu kriterler ve ağırlıkları ışığında Savunma Sanayinde faaliyet gösteren firmaların Endüstri 4.0 'a geçiş durumu nasıl değerlendirilebilir?

1.2. Önem

Son dönemde Türkiye, diğer pek çok ülke gibi savunma sanayii ürün ve hizmetlerindeki dışa bağımlılığını asgariye indirmek amacı ile önemli yatırımlar yapmaktadır. Türk Silahlı Kuvvetlerinin teknolojik gücünü artıracak önemli bir

faktörün de akıllı fabrikalar olduğu dolayısı ile akıllı fabrikalara geçişin iyi değerlendirilmesi ve hızlandırılması gerektiği düşünülmektedir.

Değişen koşullar neticesinde, teknoloji odaklı savaşların ön plana çıkması savunma sanayisinde dijital dönüşümü, bu kapsamda akıllı fabrikalara geçişi gerekli kılmaktadır. Bugün ülkeler asker sayısı ile değil, teknolojik gücüne göre sıralandırılmaktadır. Teknolojik gelişmelerin hayatın her alanında büyük bir hızla gerçekleşmesi, savunma sanayisinde de Endüstri 4.0 'a geçişi zorunlu kılmaktadır. Endüstri 4.0 'a geçiş çok maliyetli olmakla birlikte daha donanımlı ve verimli sistem ve ürünlerin geliştirilerek kullanılması sayesinde olmuştur. Diğer şirketler ile rekabetinde üstünlük sağlamak isteyen şirketlerin temel hedefi Endüstri 4.0 kriterleri bağlamında dönüşümünü tamamlamak olmalıdır. Bu bağlamda savunma sanayi için de Endüstri 4.0 'a geçiş bir gereklilik olarak görülmektedir.

Bununla birlikte Endüstri 4.0 olgunluk modellerinden kullanılan değerlendirme boyutları, kriterler ve yetkinlikler modelden modele farklılık göstermektedir. Değişik sektörler için bu parametreler test edilmiş olmakla birlikte özellikleri itibarıyla farklılık gösteren Türk savunma sanayisi için parametrelerin yeniden gözden geçirilmesinin faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak, bir savunma sanayisi şirketi için Endüstri 4.0 olgunluk kriterlerinin, yeniden gözden geçirilmesi ve bu kriterlerin birbirlerine göre öncelikleri düşünülerek ağırlık hesaplarının yapılması sürecin sıhhatli bir şekilde işlemesi için büyük önem taşımaktadır.

1.3. Yöntem

Mevcut Endüstri 4.0 Olgunluk parametrelerini ortaya koyan bazı yöntemler/ metotlar bulunmakla birlikte kendine has özellikleri ile diğer sanayii dallarından ayrılan Savunma Sanayii için geliştirilmiş sadece bir yöntem tespit edilebilmiştir. Söz konusu çalışmada savunma sanayiinin Endüstri 4.0 'a geçişini etkileyecek kendine has özellikleri olduğu kabul edilerek Olgunluk Modeli parametreleri yeniden

tanımlanacak ve Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri kullanılarak öncelikle kriterlere yönelik ağırlıklandırma yapılacak, ardından şirketlerin durumunu gösteren olgunluk modeli geliştirilecektir. Söz konusu Olgunluk Modeli geliştirilirken gerek parametrelerin tespitinde gerekse ağırlıklandırma yapılırken Savunma Sanayisinin özellikleri göz önünde bulundurulacaktır.

Bu yapılırken Türk Savunma Sanayiinde faaliyet gösteren önemli firmalarda çalışanların görüşleri alınarak belirlenen kriterlerin, Savunma Sanayii için geçerliliği başka uzmanlarca sorgulanacak ve bu doğrultuda öncelikle MACBETH¹ yöntemi ile kriterlerin ağırlıkları belirlenecektir. Ardından bu ağırlıklar kullanılarak Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden TOPSİS² ile bir olgunluk modeli geliştirilecektir.

¹ Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique

² Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

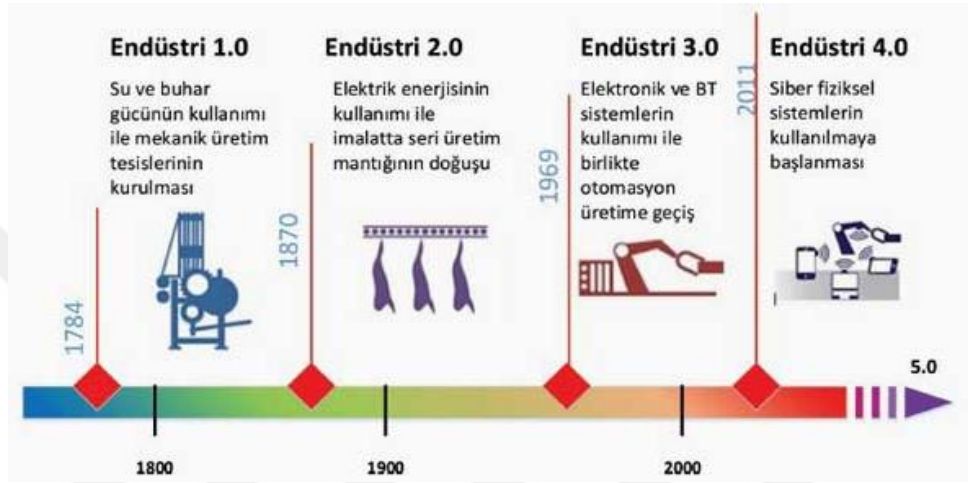
BÖLÜM 2. AKILLI FABRİKALAR

Günümüze gelinceye değin üç büyük sanayi devriminin (Şekil 2.1.) gerçekleştiği yaygın olarak kabul edilmektedir. Her bir sanayi devrimi endüstriyel ve toplumsal yönden ilerlemelere zemin hazırlamış ve bir sonraki sanayii devrimi için imkân sağlamıştır. Bahse konu sanayii devrimlerinden birincisi “Buhar Makinesi” nin kullanılmaya başlanmasıdır. Endüstri 1.0 şeklinde anılan bu dönemde; buhar makinalarının icadı sayesinde, üretimde su ve buhar teknolojilerinden istifade edilmesi sayesinde insan gücüne ve basit aletlere dayanarak gerçekleştirilen “atölye tipi üretim” terkedilerek, makineye dayanan “fabrika tipi üretim”e geçilmiştir. Bu devrim sayesinde üretim hacminde önemli yükselişler sağlanmış; bu da ülke ekonomilerinin büyümesine fırsat vermiştir (Alçın, 2016). 20’nci yüzyılın başlarında gerçekleşen ikinci sanayii devrimi ile birlikte, üretimde elektrik enerjisinden istifade edilmeye başlanmış ve seri üretime geçilmiştir (Yıldız, 2018). Anılan dönem içerisinde ayrıca, çelik bazlı üretim metotları kullanılmaya başlanmış; radyo, telgraf, içten patlamalı motorlar vb. gibi birçok icatlar gerçekleştirilmiştir (Sayer ve Ülker, 2014).

Üretim sektöründe elektronikten istifade edilerek otomasyona başlanması da Üçüncü sanayi devrimine neden olmuştur (Schmidt ve ark., 2015). Bu devrimle birlikte; üretim süreçlerinde robotik ve otomasyon sistemleri yoğun bir biçimde kullanılmaya başlanmıştır. Bu dönemde mikro-elektronik teknoloji, fiber optikler, biogenetikler, nükleer enerji, lazerler, sentetik ürünler, hologram, biotarım gibi icatlar da gerçekleşmiştir. Bu buluşlar dördüncü sanayi devrimine zemin hazırlamıştır (Pfohl ve ark, 2015).

Küreselleşme sınırları kaldırmış, teknolojinin de sayesinde mesafeleri kısaltmış ve dünyanın neredeyse tamamının global bir pazar haline gelmesine zemin hazırlamıştır. Dünyanın çoğunluğunda gerçekleşen ekonomik ve sosyal değişikliklerin herkesi bir

şekilde etkilemesinin yanı sıra artan bir ivme ile teknolojinin gelişmeye devam etmesi rekabetin de artmasına neden olmuştur (Ürgün ve Duru; 2014). Firmalar söz konusu rekabetçi ortamda iş yapabilmek için işletmelerini ve süreci duyarlı ve çevik bir şekilde yönetebilecekleri, yakın iş birliği içeren ve hızlı adapte olabilen yapılara gereksinim duymuşlar (Schumacher ve ark, 2016); bu ihtiyaçlar ve onların güdülediği arayışlar ise, Endüstri 4.0 kavramını ortaya çıkarmıştır.



Şekil 2.1. Endüstrinin Gelişimi (Alçın, 2016)

Birinci Sanayi Devrimi'nde su ve buhar gücünün kullanılmaya başlanması ile ortaya çıkan sanayileşme, İkinci Sanayi Devrimi'nde öncü olan elektrik gücü, mekanik-elektronik aletler ve Henry Ford'un üretim bantları devreye sokmasıyla ve Üçüncü Endüstri Devrimi'nde dijital çağın başlaması ile birlikte yepyeni üretim standartları oluşturarak günümüze kadar gelmiştir.

Yüksek teknolojik gelişmeler 2000'li yılların başından itibaren artan bir ivme ile giderek hızlanmıştır. Diğer bir gelişme de ucuz üretim sayesinde sanayi gücünün doğuya kayması, ucuz ham madde ve iş gücünü sağlayan Çin ve Hindistan gibi ülkelerin endüstriyel anlamda öne çıkması olmuştur. Bu gelişmeleri yakından takip eden ve gelecekte karşısına çıkabilecek sorunlara tedbir almak isteyen Almanya; dünyanın en büyük fuarlarından biri olduğu kabul edilen Hannover Messe 2011'de ilk defa Yeni Sanayi Devrimi'ni yani Endüstri 4.0 kavramını açıklamıştır. Ardından Alman hükümeti 2013 yılında Yeni Sanayi Devrimi'ne adaptasyonu sürecini ve takip edilecek stratejileri içeren bir Eylem Planı'nı ve "Endüstri 4.0 Stratejik Girişiminin

Uygulanması İçin Öneriler” raporunu yayınlamıştır (Kagermann ve ark, 2015). Endüstri 4.0 kavramı 2016 Davos Dünya Ekonomik Forumu’nda ABD ve Kore gibi pek çok ülke tarafından da kullanılmaya başlanmıştır.

En genel ifadeyle Endüstri 4.0 , daha farklı, yeni hizmet ve ürünlerin ortaya çıkmasına fırsat sağlayacak, üretimde yer alan malzeme ve süreçleri müşteri ihtiyaçlarını karşılayacak biçimde ağ sistemi ile birleştirerek, daha verimli ve etkin örgütsel süreçlerin sağlanması maksadıyla inovatif iletişim ve bilgi teknolojilerinin endüstriyel süreç ve faaliyetlerle entegrasyonudur (Barreto ve ark, 2017).

Elektriğin kullanımı, mekanikleşme ve bilgisayarlaşma gibi gelişmelerin ardından Nesnelerin ve Hizmetlerin İnterneti adı verilen fiziksel nesnelerin birbiri ile etkileşimini sağlayan iletişim ağının gelişmesiyle günümüz sanayileri yeni bir sanayi devrimine doğru ilerlemiştir. Endüstri 4.0 olarak da adlandırılan bu sanayi devriminde şirketlerin kendi makinalarıyla, depolama sistemleriyle ve kaynaklarıyla rahatça iletişime geçmesi ön görülmektedir. Akıllı olarak adlandırılan makinalar kendi kendilerini ihtiyaca göre ayarlayabilmekte (self-configuration) ve açıp kapatabilmektedir (self-turning). Hâlihazırda kullanımda olan akıllı fabrikalar, akıllı makineler ile birlikte üretime yeni bir yaklaşım kazandırılmıştır.

Yeni ihtiyaçlarla ortaya çıkan bu endüstriyel ivmelenme beraberinde belli başlı yeni kavramları ve yeni icatları meydana getirmiştir. Bu yeni üretim teknolojileri daha hızlı karar almayı, üretimi uygun değerlerde tutmayı ve aynı zamanda gelecekte kullanılabilecek anlamlı veriler üretmeyi amaçlamaktadır. Üretimde kullanılan bu teknolojiler kendi verilerini üreterek çalışanlara olduğu gibi yöneticilere ve diğer cihazlara doğru veri aktarımını sağlamaktadır (Kagermann ve ark, 2015).

Klaus Schwab (2017), Dördüncü Sanayi Devrimi kitabında Endüstri 4.0 ’ın temel kavramlarını “Megatrendler” olarak tanımlamıştır. Megatrendler kavramı bahsi geçen karmaşık ve etkileşimli ileri teknolojileri simgelemektedir. Schwab’a göre megatrendler yeni sanayi devriminin itici güçlerindendir. Schwab bu trendleri Fiziksel, Dijital ve Biyolojik olmak üzere 3 ana başlığa ayırmıştır. Fiziksel trendler, 3D

yazıcılar, otonom taşıtlar, ileri robotik ve yeni malzemelerdir. Fiziksel megatrendler, elle tutulur olmalarından dolayı kolayca görülebilmektedir. Dijital trendler, internet, sensörler, alıcılar, aktüatörler aracılığı ile sanal ortamın fiziksel ortama, fiziksel ortamın ise sanal ortama aktarımı olarak açıklanabilmektedir. Biyolojik megatrendler, biyoloji alanında yapılan çalışmalarda endüstrinin yeni buluşlarının kullanımı temsil etmektedir. Gen dizileme, gen aktive etme ve gen düzenleme gibi eskiden çok yüksek maliyetli ve uzun süren çalışmaların birkaç dakika ve bin dolardan daha az bir maliyete indirmesi biyolojik megatrendler ile açıklanabilmektedir.

Endüstri 4.0 kapsamında ortaya çıkan yeni malzeme ve aletler ile yeni teknoloji kullanılarak geliştirilen kavramlar (bilgisayar, yazıcı gibi) Endüstri 4.0 'ın temel bileşenlerini oluşturmaktadır ve aşağıdaki başlıklar altında daha detaylı olarak açıklanmaya çalışılmıştır. Bahse konu Endüstri 4.0 temel bileşenleri Şekil 2.2.'de sunulmuştur.

Klaus Schwab Endüstri 4.0 'ın karmaşıklığı, kapsamı ve ölçeği itibariyle insanoğlunun gerçekleştirdiği diğer sanayi devrimlerinden farklı olduğunu ifade etmiştir. Schwab, üç nedene dayandırarak bu farklılığı açıklamıştır (Klaus Schwab, 2017). Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

Sistem etkisi; toplumlar, sektörler ve şirketler arasında ve bu üç unsurun kendi arasında sistemsal etkileşimidir.

Genişlik ve derinlik; Endüstri 4.0 devriminin dijital değişim üzerinde yükseldiğini işaret etmektedir. Çok farklı teknolojilerin iş yaşamında, finans dünyasında, toplum ve bireyler arasında kullanılması ve geliştirilmesidir.

Hız; diğer üç devrime göre Endüstri 4.0 devrimi doğrusal olarak değil “üstün bir hızla gelişmekte” ve her yenilik, hemen ardından gelen diğer yeniliği desteklemektedir.



Şekil 2.2. Endüstri 4.0 Bileşenleri (Klaus Schwab, 2017).

Endüstri 4.0 ile birlikte kazanılan özellikler aşağıdadır;

Birlikte çalışabilirlik: Üretimle ilgili bilgiler, insan ve sistemin iletişim halinde ve birbiriyle koordineli olduğu bu siber fiziki ortamda, makineler, süreçler ve insanlar arasında bilgilerin sanal ortamda taşınması sağlanmaktadır. Çalışma ortamı ve zaman engelleri uzaktan erişim ve sanal ofis ile aşılmaktadır (Fırat ve Fırat, 2017).

Sanallaştırma: Akıllı fabrikaların kullanımı, sensörler yardımıyla bütün süreçlerin ekran başından ve uzaktan takip edilmesini mümkün kılmaktadır.

Gerçek zamanlı yetkinlik: Gerçek zamanlı karar verme, hızlı veri işlenmesi ve kullanımı becerilerini içermektedir.

Kişiselleştirme: Gerçek zamanlı karar düzeneğini siber fiziki sistemler oluşturmaktadır. Üretime ilişkin önemli kararlar tek elden değil, sistemler ve makinelerin de bu dahil olduğu bir süreçte verilmektedir.

Hizmet Oryantasyonu: Kullanılan yazılımlar Nesnelerin interneti ile uyum içindedir.

Modülerlik: üretim proseslerinin müşterilerin taleplerine göre ayarlanabilmesi ve hatta değiştirilebilmesi için, makinelere sistem yazılımı farklı görevleri verebilmelidir (Santos ve ark., 2017).

Endüstri 4.0 'ın bileşenleri olarak Şekil 2.2.'de verilmiş olan teknoloji ve özellikler başka kaynaklarda da akıllı fabrikaların tanımı ve bileşenleri kapsamında belirtilmektedir. Bu kapsamda akıllı fabrikalar takip eden bölümlerde incelenecektir.

2.1. Akıllı Fabrikaların Tanımı

Akıllı fabrika, karşılıklı veri değişimi ve akıllı üretimi gerçekleştiren, fiziksel dünya ile sanal dünyanın entegrasyonunu yapan, bir zeki organizma şeklindedir. Akıllı fabrika; otomasyon kullanılarak tüm süreçlerin kendi kendine düzeltildiği, iyileştirildiği; ekipman ve makine odaklı bir işletme ortamıdır (Wan ve Zhou, 2015). Mevcut fabrikalar ile mukayese edildiğinde akıllı fabrikalar, depolamayı azaltmakta, ciddi boyutlarda kaynak kullanımındaki verimi artırmakta; ürün depolama ve dağıtım döngüsünü kişiselleştirmekte ve kısaltmakta, çok daha az fireyle ve çok daha hızlı üretime imkân sağlamakta; tüm tedarik zinciri sürecinde stoklamada büyük bir azalma fırsat vermekte ve müşteri taleplerini sürekli takip ederek bu taleplere göre üretimin güncellenmesini, eş zamanlı gerçekleştirilmesini sağlamaktadır (Wang ve Zhou, 2015).

Sürekli öğrenme ve gelişim içinde olduğundan “Öğrenen Fabrikalar”, çalışan insan sayısı sıfıra indirilmeye çalışıldığından “Karanlık Fabrikalar” şeklinde de tanımlanan Akıllı Fabrikalar sürekli karmaşıklığı artan depolama ve üretim süreçlerinin de yönetilebilir şekle getirilmesini ve üretimin karlı, sürdürülebilir ve cazip olmasına imkân vermektedir (Yıldız, 2018).

Son yıllarda pek çok değişik alandaki üretim süreçlerinde, Akıllı Fabrikalardan istifade edilmeye başlanmıştır. Akıllı Fabrikalarda IoT³ ve CPS⁴ gibi uygulamaların yanı sıra pek çok yazılımın kullanıldığı teknik altyapılar inşa edilerek bu fabrikaların Endüstri 4.0 a uyumlu hale gelmesine çalışılmaktadır (Prinz ve ark., 2016).

2.2. Akıllı Fabrikaların Bileşenleri

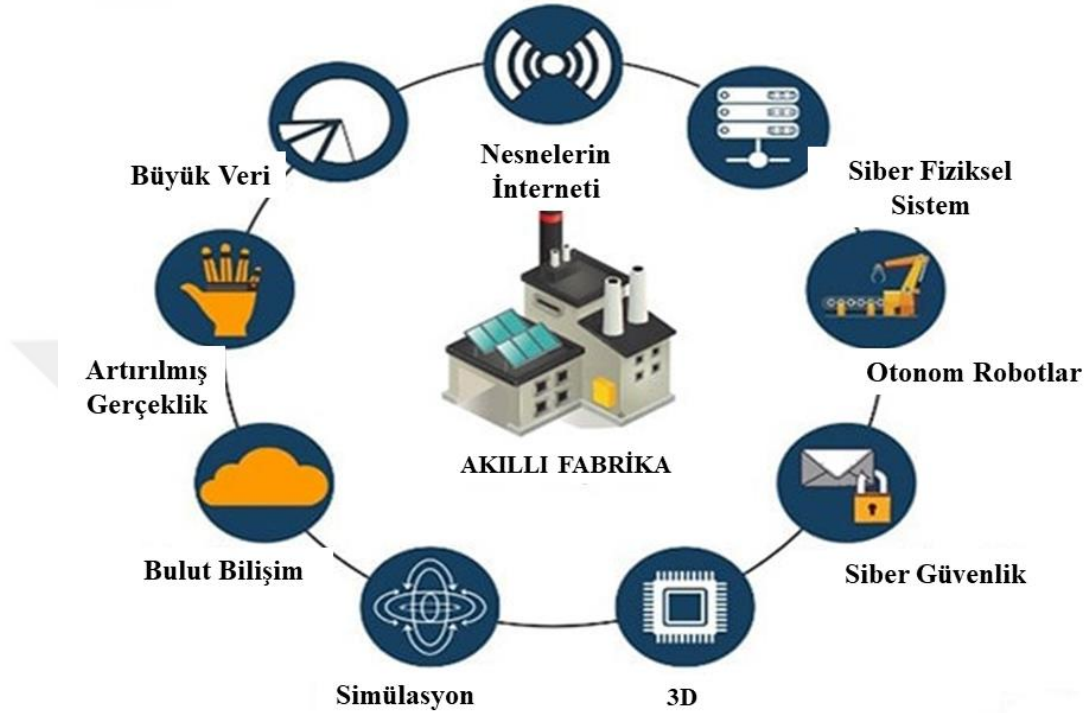
Akıllı Fabrikaların kaynaklar arasında farklılık göstermekle birlikte pek çok yapısal bileşeni (Şekil 2.3.) mevcuttur. Bunlardan birincisi ve en önemlisi; “sistem içi iletişim sistemi”dir. Akıllı fabrikada ekipmanlar, sensörlü makineler, otonom robotlar v.b. her nesne kendi içinde ve diğerleriyle iletişimi sağlamak ve haberleşmek durumundadır. “Sistem içi iletişim” bileşeni ile birlikte IoTs kavramı birlikte anılmaktadır ki IoTs kavramı genellikle Endüstri 4.0 ile birlikte kullanılmaktadır (Bartodziej, 2017). “Nesnelerin İnterneti” kavramının en genel tanımı şu şekildedir; Nesnelerin İnterneti “nesnelerin sensörler, RFID etiketleri, yazılım programları, akıllı telefonlar, tetikleyiciler vb. vasıtasıyla insanlarla ve birbirleri ile internet alt yapısına sahip bir iletişim ağında etkileşim içinde olması; bu şekilde kendi kendini yapılandırabilmesidir” (Xia ve ark., 2012; Lee ve ark., 2013; Erturan ve Engin, 2017; Hermann ve ark., 2016; Akt. Bakan ve Şekkeli, 2018).

Nesnelerin İnterneti kavramının katmanları; “çevre, cihaz, iletişim ve bilinç” şeklindedir (Şekil 2.4.). Çevre katmanında doğal çevre; ağırlık, ses şiddeti, konum, sıcaklık, ph değeri, nem, ışık şiddeti vb. ölçülebilir ancak ham verilerle tanımlanmaktadır. Cihaz katmanında bu işlenmemiş veriler, sayısal veya analog sinyallere çevrilerek iletişim katmanına gönderilmektedir. İletişim katmanında hem insan-makine arasındaki hem de makine-makine arasındaki iletişim için ihtiyaç duyulan kablolu ve kablosuz iletişim altyapısı ve protokolü bulunmakta ve bunlar vasıtasıyla işlenmek üzere ham veriler “Veri İşlem Merkezi”ne ulaştırılmaktadır. Küçük hacimli verilerin işlenmesi, gömülü sistemler tarafından yapılırken depolanmak için büyük veriler “Bulut Bilişim Sistemleri”ne gönderilirler. Tanıma, kimliklendirme,

³ Nesnelerin İnterneti: Internet of Things

⁴ Siber Fiziksel Sistemler: Cyber Physical Systems

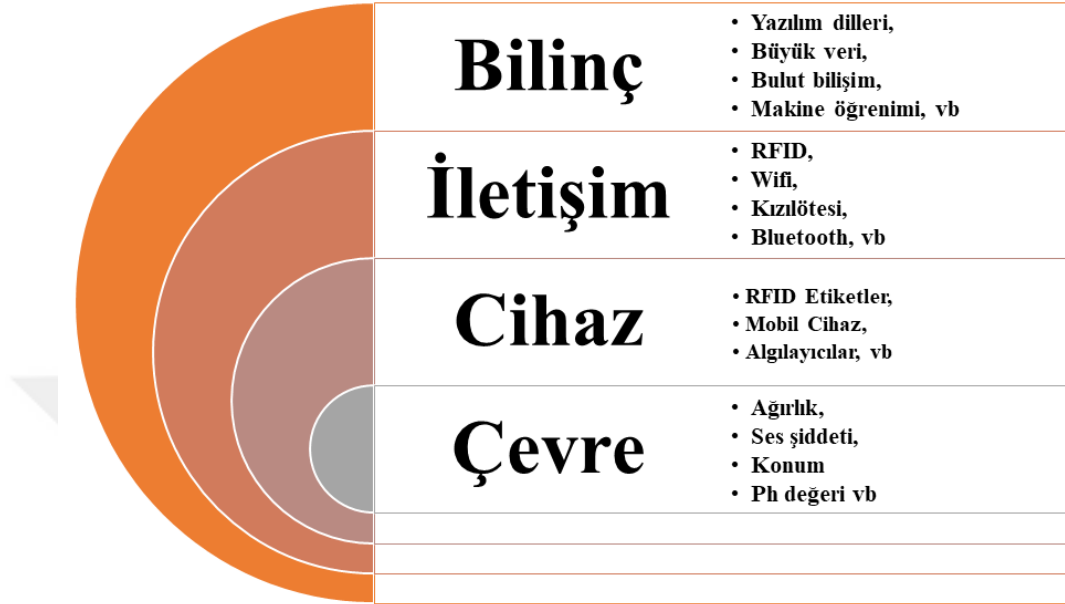
gizlilik, güvenlik, v.b. işlemler de çevre katmanında yapılır (Bozuklu ve Gökrem, 2016).



Şekil 2.3. Akıllı fabrika bileşenleri (Kaynak: Bakan ve Şekkeli, 2018)

Nesnelerin İnterneti teknolojisinde; minimum insan katkısıyla üretimi takip edebilmekte, yarı mamul, malzeme, ham madde v.b. ihtiyaçlar hızla tespit ve temin edilebilmekte; muhtemel arıza ve problemler önceden tahmin edilerek önlenilebilmekte ve böylece üretim gerçekleşmeyen duruş zamanları azaltılabilmektedir. Ayrıca; üretim süreci ile ilgili tüm bilgilere yönetim tarafından dünyanın her yerinden istenildiği zaman eş zamanlı olarak ulaşılabilen, bu bilgiler müşteriler ve dağıtım kanalları ile de paylaşılabilir (Ercan ve Kutay, 2016). Nesnelerin İnterneti endüstriyel alanlarda (tedarik zinciri, süreç otomasyonu, donanımlarının kontrolü, v.b.), çevresel yönetimde (vahşi yaşam ve yerleşim alanları, deprem ve tsunami, atmosfer durumu v.b.); altyapı denetiminde (karayolları, tren, köprü v.b.), sağlık ve tıp sistemlerinde (kan şekeri, kalp ritminden, kan basıncı v.b. gözetimi), nakliye sistemlerinde (filo yönetimi, altyapı, taşıt, akıllı park, v.b.), enerji yönetiminde (etkinlik, verimlilik vs.),

yapı ve ev otomasyonunda (iklimlendirme, havalandırma, ısı, ışık v.b.), tatbik edilmektedir (Köroğlu, 2015).

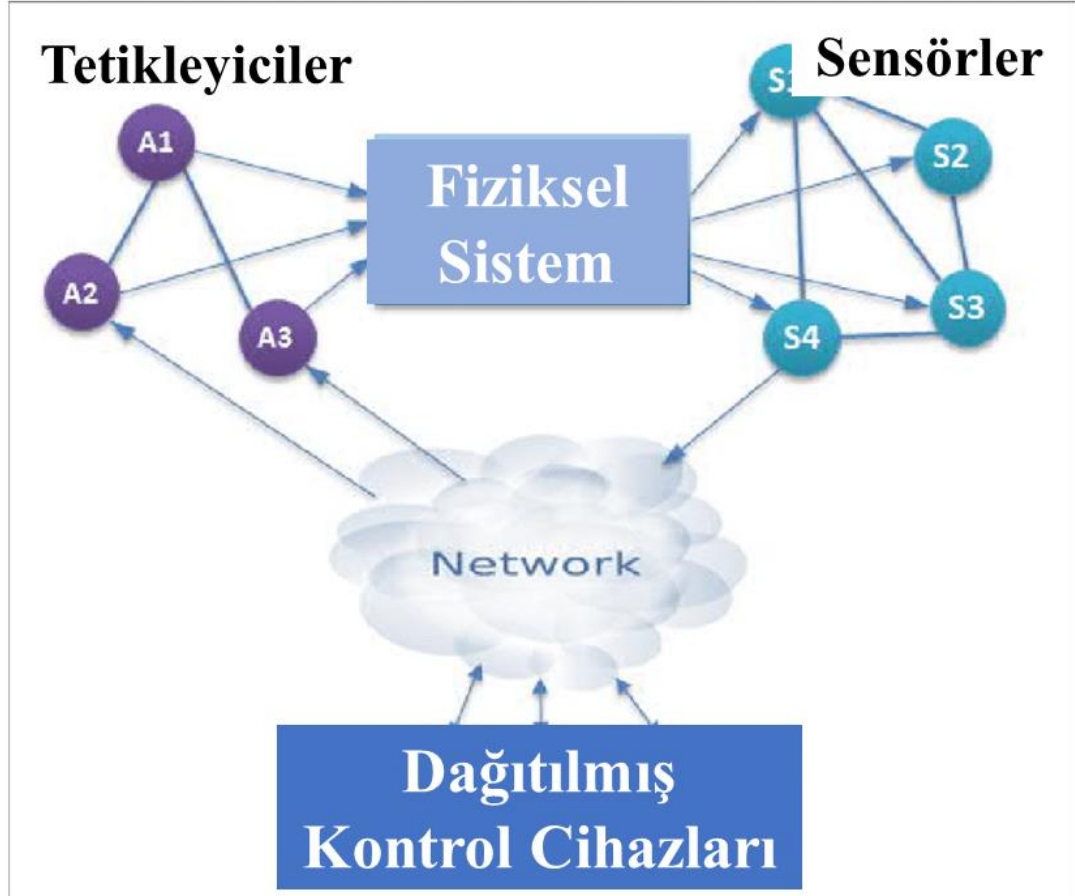


Şekil 2.4. Nesnelerin İnterneti Kavramının Katmanları (Kaynak: Bozuklu ve Gökrem, 2016)

Akıllı fabrikaları oluşturan bir diğer unsur da Siber Fiziksel Sistemler (CPS) dir. Siber Fiziksel Sistemler sanal ortam ile fiziksel ortam arasında irtibatı sağlayarak iletişimi gerçekleştiren, üretim sürecindeki tüm detayları anında ve sürekli gözetleyen, kontrol eden ve muhtemel problemlerde çözüm bulan sistemlerdir (Baheti ve Gill, 2011; Lorig ve Timm, 2015).

CPS, sistemin tamamından istenilen fonksiyonları yerine getirmek maksadıyla; tetikleyiciler (aktüatörler), sensörler ve RFID teknolojisi ile fiziksel dünya ile ilgili bilgileri sanal dünyaya aktarmaktadır (Şekil 2.5.) (Lee, 2015). RFID teknolojisi Radyo frekansları kullanarak nesneleri tanıma yöntemidir ve nesneler hakkında elde ettiği bilgileri RFID okuyucusu, bir mikroişlemci veya bilgisayardan oluşan ara birime göndermekte, bu ara birim tarafından işlenen bilgiler, bilgi işletme sistemlerine gönderilmektedir (Adıgüzel, 2005; Özkazanç, 2010; Rushton ve ark., 2010). Bu şekilde siber fiziksel sistemler ile IoT gerçek zamanlı olarak haberleşerek hem kendi aralarında hem de fabrika içindeki veya dışındaki şahıslarla birlikte faaliyet

göstermektedir (Ercan ve Kutay, 2016). Akıllı üretim robotlarının bu sistemin bel kemiği olduğu söylenebilir. Bu robotlar üretim kontrol sistemine doğrudan bağlıdır ve baştan sona üretim sürecini tümünü düzenleyerek kaynakların en iyilenmesini sağlarlar (Guban ve Kovacs, 2017:114).



Şekil 2.5: Siber Fiziksel Sistemin Genel Yapısı (Kaynak: Lee, 2015).

Bulut bilişim teknolojisi Akıllı fabrikaların bileşenlerinden bir diğeridir. Nesnelerden edinilen güncel ve anlık veriler akıllı fabrikalarda, bulut tabanlı bilişim sistemlerinde saklanmaktadır. Böylelikle oldukça kolay bir şekilde üretim sürecinin takip edilerek muhtemel problemlere uzaktan bile müdahale edilebilmektedir. Üretim için ihtiyaç duyulan tüm konular hakkında bilgi toplanarak bulut sistemleri aracılığı ile paylaşılabilir (Lee, 2015).

“Çevrim içi bilgi paylaşım hizmeti” şeklinde de tanımlanan Bulut bilişim teknolojisinde, bilişim araçları arasında bilgiler; internet vasıtasıyla paylaşılmaktadır

(Bakan ve Şekkeli, 2018:24). Bilişim ve depolama ile ilgili sınırlamaları ortadan kaldıran bu teknoloji kapsamında; gerek lokal gerekse global ölçüde üretilen, depolanan ve paylaşılan verilerin tamamı Büyük Veri'yi oluşturur. Büyük veri; rastgele veya sistemli bir şekilde zamanla elde edilen, ham veya işlenmiş verilerdir. Büyük verinin kullanılmak üzere analiz edilmesi sonucunda, strateji oluşturma ve karar verme fırsatı sağlanmaktadır (Lee, 2015).

Akıllı fabrika bileşenlerinden bir diğeri de Simülasyondur. Akıllı fabrikalar için simülasyon; fabrikadaki tedarik ve üretim sürecinin bir kısmının veya tamamının durum, davranış ve/veya iş akışının analiz edilebilmesi ve düzenlenebilmesi amacıyla, fabrika içindeki veya dışındaki (tedarik, stoklama, üretim, pazarlama, dağıtım, satış vb.) süreç ve faaliyetlerin bilgisayar ortamında modellenerek yeniden yapılandırılmasıdır. Simülasyonun reaktif, proaktif ve çevrim dışı şeklinde üç modu mevcuttur. Hassas analize ihtiyaç duyulduğunda veya belirsizliğin fazla olması halinde çevrim dışı simülasyona başvurulur. Planlanmış çizelgeden olabilecek sapmaların öngörülmesi amacıyla proaktif simülasyon yapılır ve bu sayede kısa dönemli uygulamalarda daha isabetli sonuçlar alınır. Mevcut durumun ve yapılmış faaliyetlerin analizi ve kayıpların minimizasyonu için ise, reaktif mod uygulanmaktadır (Monostori ve ark., 2016).

Diğer bir bileşen Artırılmış Gerçeklik teknolojisidir. Artırılmış gerçeklik teknolojisi; gerçek dünya ile irtibatını devam ettiren, gerçek dünyada bulunan görüntülere sanal görüntü ve bilgilerin eklenebildiği, aynı ortamda sanal ve gerçek nesnelerin birlikte algılanmasına fırsat veren ortamdır (İçten ve Bal, 2017). Üretilmelerine geçilmeden önce üretim sürecinin yanı sıra ürünlerin tasarımı ve işleyişi artırılmış gerçeklik teknolojisi sayesinde denenebilmekte ve değişik senaryolar dahilinde muhtemel sorunlar tespit edilebilmekte, sanal ortamda muhtemel problemler ve aksaklıklar denenip gerçekleşmeden önlenmekte ve alınan kararlar ile üretim süreci daha verimli kılınabilmektedir. Ayrıca makinelerin işleyişi esnasında meydana gelen problemin makine sökülmeden niçin ve nereden kaynaklandığı tespit edilebilmekte, bizzat gidilmeden istenilen mekanlar bulunulan yerden gezilebilmekte ve hatta izlenecek

mekandaki ortam değerlerini (koku, nemi, rüzgârı vb.) hissedebilmek mümkündür (Monostori ve ark., 2016).

Akıllı fabrikalar açısından son derece kritik önem taşıyan bir diğer bileşen Siber güvenlidir. Siber güvenlik; kullanıcı, firma ve siber çevrenin varlıklarını emniyete almak maksadıyla güvenlik anlayışı, araç, risk yönetim yaklaşımları, politika, kurallar, güvenlik önlemleri, en iyi uygulamalar, eğitimler, eylemler, teknoloji ve sigorta uygulamalarının bir araya getirilmesi şeklinde tanımlanmaktadır. Kullanıcıların ve kuruluşun varlıkları; alt yapı, personel, bağlantılı bilgisayarlar, iletişim sistemleri, hizmetler, uygulamalar ile siber ortam vasıtasıyla saklanan ve/veya iletilen bilgilerin tamamını kapsamaktadır.

Siber güvenlik kavramı ile siber ortamda kullanıcıların ve kuruluşun tüm bu varlıklarının muhtemel risk ve tehditlere karşı korunması hedeflenmektedir (Solms ve Niekerk, 2013).

Sistemlerin güvenliğini sağlamak için son dönemde tedarik zincirlerinde Blok zinciri teknolojisinden de istifade edilmeye başlanmıştır (Hackius ve Petersen, 2017). Blok zincir teknolojisinde tedarik zincirinin ve düzensiz gelen bilgilerin neden olduğu düzensizliği azaltmak, tedarikçi ile müşteri arasındaki tedarik zincirinin tamamının izlenebilirliğini ve şeffaflığını mümkün kılmak ve böylece güvenliği artırmak maksadıyla; teyit edilen bilginin düzenli ve sabit bir biçimde depolanması ve dağıtılması sağlanır (Amina, 2016).

Yatay Dikey Entegrasyon: Lojistik ve tedarik, üretim, satış, pazarlama, v.b. birbiri ile ilişkili şirket dışı veya şirket içi zincirlerin kendi aralarında dijital yolları kullanarak veri alışverişini sağlaması “entegrasyon” şeklinde tanımlanabilir (Francisco Almada-Lobo, 2013).

Türdeş alanlarda ve aynı sektörde bulunan paydaşların Yatay Entegrasyon sayesinde bir araya gelmeleri bu paydaşların maliyetler ve rekabet açısından avantaj sağlamalarına imkân vermektedir. Buna örnek olarak bir sosyal medya şirketi olan

Facebook Şirketinin aynı alanda çalışan Instagram'ı satın alması gösterilebilir (Evan, 2019).

Dikey Entegrasyon, fabrikalar, üretim içerisinde yer alan birimler ve üretim hatları arasındaki farklı hiyerarşik yapıyı değer katma noktalarına zincirleme bir şekilde aktarımdaki dijitalleşmeyi ve bağlantıyı içerir (Alçın, 2016). Ham maddenin fabrika isteklerine göre üretilip fabrikaya ulaştırıldığı, istenen ürüne dönüştürüldüğü ve müşterinin kullanımına sunulduğu bütün süreçleri içerir (Amadeo, 2019).

Akıllı Robotlar: Robot kavramı başlangıçta, kısıtlı bir kodlama ve belirlenmiş bir sistem dahilinde düşünerek seçimler yapabilen, yardımsız hareket edebilen makine şeklinde algılanmış ve günlük hayatımıza da girmiştir. İlk ortaya çıktığında programlanabilir robotlar şeklinde düşünülmekle beraber zamanla çalışmalar yerini otonom işlem yapabilen kısıtlı makinelere bırakmıştır.

Bu makineler özellikle insanların çalışmasının uygun olmayacağı veya çalışamayacağı ortamlarda ya da kapasitesini aşan işlerde kullanılmaktadır. Yapması beklenen her hareket için yeni bir kodlama ve programlama hazırlanan robotik çalışmaların zamanla yerini; daha ziyade kendi hareketleri konusunda karar veren ve uygulayan “akıllı” robotlar hakkındaki çalışmalar almıştır (Okutan, 2006).

Kullanıldıkları alanlara göre robotlar; Servis Robotları ve Endüstriyel Robotlar şeklinde iki temel alanda incelenebilmektedir. Günümüzde Servis Robotları ev işleri, kişisel ve profesyonel amaçlar için kullanılan robotlardır. Bunlar sanayi, savunma, lojistik, boş zaman değerlendirme (recreation) ve eğlence robotlarıdır. Endüstriyel Robotlar ise programlanabilir, ISO 8373'e göre en az üç programlanabilir eksenli bulunan, çok amaçlı, otonom kontrol sağlayabilen, hareketli veya sabit endüstriyel faaliyetlerde kullanılan robotlardır (Fırat ve Fırat, 2017).

Üç Boyutlu Yazıcılar: Önde gelen eklemeli makineler ve üretim teknolojileri son yıllarda pek çok alanda önem kazanmaya başlamıştır. “Eklemeli üretim” şeklinde tanımlanan bu alan, ürünlerin katman katman tamamlanması ve üç boyutlu olarak

üretilmesini ifade etmektedir. Endüstri 4.0 'ın da en önemli bileşenlerinden birisi olan 3D yazıcılar üretime dolayısı ile fabrikalara yeni bir boyut kazandırmıştır. Üç boyutlu yazıcılar ile imal edilen ürünlerin ağırlıklarının azaltılması, daha az hammadde kullanımı ve farklı özelliklere sahip ürünlerin kolaylıkla üretilmesi mümkün kılınmaktadır (Kökhan ve Özcan, 2018).

Üç boyutlu yazıcıların diğer bir tanımı şu şekildedir; tamamen bilgisayar kullanılarak tasarlanmış veya bir tarayıcının üç boyutlu olarak taradığı objelerin, ilave işçilik gerektirmeyen ve boyutlandırılabilen ürünlerin pratik ve hızlı bir biçimde üretimini yapan makinelerdir. Bu yazıcılar kullanılarak çok karmaşık ürünlerin en ince ayrıntısının bile kolayca ve hızla verilmesi sağlanmaktadır.

Büyük Veri: hesaplamalardan, gözlemlerden, araştırmalardan, sosyal, sensorlerden, medyadan, internet ortamından vb. ulaşılan, ilişkisel veri tabanlarıyla yönetilemeyen büyük çaptaki verileri kullanılır haldeki bilgiye dönüştürme işlemine verilen genel bir isimdir (Doğan ve Arslantekin, 2016). Veri artışındaki muazzam hız nedeniyle gün geçtikçe değerli bilgiye ulaşmak güçleşmiş, sürekli artan bu verilerin kullanılabilen şekilde işlenmesi ve analiz edilmesi, Büyük Veri yaklaşımı ile anlamlı bilgiler haline dönüştürülmesi işletmelere rekabet gücü, verimlilik ve maliyet açısından avantajlar sağlamıştır (Raste, 2014). Üretimde kayıpları ve maliyetleri azaltmak, tüketici yönelimlerini anlamak, uygun stratejik planları yapmak için Büyük Veri kullanılmaktadır. Büyük Veri kavramı 5V ile özetlenen hız (velocity), çeşitlilik (variety), hacim (volume), gerçeklik (veracity) ve değer (value) şeklindeki beş karakteristik bileşen ile tanımlanmaktadır (Baaziz ve Quoniam, 2018).

2.3. Akıllı Fabrikaların Özellikleri

Akıllı fabrikalar, performansını kendi kendine bir ağ vasıtasıyla, otomatik olarak en iyileyeabilen (optimize edebilen), yeni durumlara kendini uyumlu hale getirebilen, üretim sürecini özerk bir şekilde yönetebilen ve çalışması ile eş zamanlı olarak öğrenebilen bir sistemdir. Akıllı fabrikaların kendine has özellikleri; şeffaflık, optimizasyon, bağlantısallık, çeviklik ve proaktifliktir (Şekil 2.6.). Bu özellikler sistem

ve çalışması hakkında üreticilere bilgi vermesi ve yön göstermesi bakımından önem taşımaktadır (Wang ve ark., 2016; Davutoğlu, 2017).



Şekil 2.6: Akıllı Fabrikanın özellikleri (Davutoğlu, 2017)

- Bağlantısallık

Bağlantısallık, akıllı fabrikanın en önemli özelliği olarak kabul edilmektedir. Akıllı fabrikalarda nesnelerin tamamı sürekli ve doğru bilgi toplayabilmek ve bu bilgileri güncel tutabilmek için akıllı sensörlere sahip kılınmıştır. Süreçlerle ilgili doğru ve zamanında kararlar verebilmek amacıyla ihtiyaç duyulan verilerin elde edilmesi için akıllı fabrikalarda tüm nesnelerin kendi aralarında bağlantılı olması gerekmektedir. İşletme dışı ve içi süreçlerle ilgili toplanan verilerin tamamı, bu bağlantı sayesinde tedarik zincirinin tamamını başından sonuna kadar izleme imkânı verir (Wang ve ark.).

- Optimizasyon

Akıllı fabrikaların optimizasyonu, süreç ve işlemlerin asgari müdahale ve azami güvenilirlik ile gerçekleştirilmesine imkân sağlar. Fabrika içindeki otomatik iş süreci ve akışları, gelişmiş izlenebilirlik, varlıkların senkronizasyonu, optimize edilmiş enerji tüketimi ve ileri seviyede programlanabilirlik sayesinde kalitesi ve çalışma süresi ile verimlilik yükselmekte; atıklar ve maliyetler düşmektedir (Davutoğlu, 2017).

- Şeffaflık

Akıllı fabrikalarda bilginin şeffaflığı esastır. Eş zamanlı ve anlık bilgi ulaşımı ile sahadan, üretilmekte olan üründen veya süreçlerden edinilen veriler işlenerek aynı anda insanlara ve otonom sistemlere gönderilmektedir. Şeffaf ağ, fabrika genelinde anlık uyarılar ve alarmlar kullanarak eş zamanlı izlenebilirlik ve takip sağlamak ve böylece sistemin daha isabetli kararlar verebilmesine fırsat sunmaktadır (Wang ve ark., 2016; Lee ve ark., 2015).

- Proaktiflik

Proaktif sistemde otomatik bir şekilde çalışanlar sorun olmadan evvel sorun olacağını sunulan bilgiler ışığında tahmin ederek tedbir alabilmektedirler. Bununla beraber bu tahmin her zaman doğru olmamakta veya problem bazen yanlış anlaşılmaktadır. Bu da gereğinden fazla stok tutmaya, kalite hatalarına, güvenlik kayıplarına vs. neden olmaktadır. Aslında sürekli gelen eş zamanlı bilgilerle birlikte geçmiş zamanla ilgili bilgi ve veriler sayesinde akıllı fabrikalarda tahminler daha gerçekçi ve doğru olmaktadır. Böylelikle kalite ve verimlilik artmaktadır (Wang ve ark., 2016).

- Çeviklik

Akıllı fabrikanın ürün ve üretim programındaki değişikliklere, asgari müdahale yapılarak uyumlu hale gelmesine “Çeviklik” denir. Diğer bir deyişle malzeme, ürün veya program akışında bir değişiklik olduğunda akıllı fabrikalar “çeviklik” özellikleri sayesinde, değişen durumlara göre kendilerini adapte edip üretimlerini yeniden yapılandırabildikleri için sorun yaşanmamaktadır (Davutoğlu, 2017).

2.4. Geleneksel Fabrikalar ile Akıllı Fabrikaların Farkları

Dalgalı piyasalar ve Küreselleşme nedeniyle sürekli değişen ve gelişen şartlara uyum sağlamaya çalışan fabrikalara, iletişim ve bilgi teknolojilerinde görülen gelişmeler çözümler sunmaktadır. Bu anlamda Akıllı fabrikaların üretim sürecinde, çalışanlar ve

işletmeler üzerinde önemli etkilerinin olacağı düşünölmektedir. Çünkü insan gücü temel alınarak gerçekleştirilen üretim süreç ve yöntemleri değişirken, geleneksel işletmeler artık yerlerini sürekli öğrenebilen, kendi kendine çalışan “akıllı fabrikalar”a bırakmıştır (Prinz ve ark., 2016).

Geleneksel fabrikaların akıllı fabrikalardan; stok yönetimi, üretim süreci, üretim yöntemleri, karar süreci, kaynak kullanımı, bileşenler, bilişim sistemleri, rotalama, örgüt yapısı, bilgi yönetimi, bağlantı, kontrol v.b. konularda önemli farklılıkları bulunmaktadır (Tablo 2.1.) (Wang ve ark., 2016; Lee ve ark., 2015; Davutoğlu, 2017).



Tablo 2.1. Akıllı Fabrikaların Geleneksel Fabrikalardan Farkları

	GELENEKSEL FABRİKA (GF)	AKILLI FABRİKA (AF)	AÇIKLAMA
Üretim yöntemleri	İnsan temelli	İnternet temelli	Üretim yöntemleri GF.da çalışanların uzmanlık, bilgi ve becerilerine göre değişirken AF.da internet ile sağlanan Nesneler ve otonom sistemlerin haberleşmesine bağlıdır.
Üretim süreci	Bağımsız üretim	Sistemlerin entegrasyonu	Makinalar üretim sırasında GF.da birbirinden bağımsız şekilde çalışır ve önceden yapılandırılmaya ihtiyaç duyarlar iken AF.da birbirlerine bağlıdır ve haberleşerek kendilerini değiştirebilmekte ve çalışabilmektedirler.
Stok yönetimi	Stok bulundurmaya odaklı	Stok bulundurmamaya odaklı	GF.da süreçteki değişimi dikkate alarak stoklamaya önem verilir. AF.da tam zamanlı müşteri ve üretime odaklı olması yüzünden stoklamaya yer verilmez
Karar süreci	İnsan odaklı	Teknoloji odaklı	Karar verme fonksiyonu; GF.da insan odaklı yapılandırılmakta iken AF.da yapay zeka ile çalışan robotlar aracılığıyla yapılandırılır.
Bilgi yönetimi	İzole bilgi	Büyük veri	GF.da makinalar kendi çalışması ile ilgili bilgileri kaydetmekte ve bilgi nadiren başkaları tarafından kullanılmaktadır. AF.da Akıllı nesneler, büyük veri üretmekte, bu veriler yüksek bant genişliğinde transfer edilmekte ve bulut ile büyük verileri işlenmektedir.
Kaynak kullanımı	Sınırlı ve önceden belirlenmiş kaynaklar	Kaynak dağılımı	GF.da Seri üretim yapabilmek için, daha önceden dikkatlice hesaplanmış ve yapılandırılmış kaynaklar bulundurulmaktadır. AF.da çok çeşitli tipte küçük parti ürünleri üretmek için, farklı türde kaynaklar bir arada bulunmaktadır
Örgüt yapısı	Örgütsel katmanlar	Örgüt düzleştirme	Her ikisinde de örgüt yapısı piramit şeklinde olmakla beraber tepe ile alt kademeleri arasında yönetim katmanları GF.da durmakta iken AF.da örgüt içi bilgi paylaşımının yaygınlaşması ve hızlanması ile ortadan kalkmıştır.
Rotalama	Sabit rotalama	Dinamik rotalama	GF.da üretim hattı sabittir. Değişiklik olması gerektiği durumlarda sistem kapatılarak manuel bir şekilde yapılandırılmaktadır. AF.da farklı tipteki ürünler arasında geçiş yapabilmek için gerek kaynak ve gerekse hattın rotası otomatik olarak yeniden yapılandırılmaktadır.
Bağlantı	Atölye kontrol ağı	Kapsamlı bağlantılar	GF.da İş istasyonları arasında kontrol amaçlı bağlantı kullanılmaktadır ancak makineler arası bağlantı bulunmamaktadır. AF.da Makineler, ürünler, bilgi sistemleri ve insanlar birbirleri ile bağlantı kurmuşlardır ve yüksek internet alt yapısı sayesinde etkileşim halindedirler.
Bilişim Sistemleri	Ayrılmış katman	Derin yakınsama	GF.da sahada kullanılan cihazlar üst bilişim sistemlerinden ayrılmıştır. AF.da internet ağı üzerinden faaliyet yapılmaktadır. Fiziksel yapılar ve bilişim sistemleri entegre olmaktadır.
Kontrol	Bağımsız denetim	Kendini örgütleme	GF.da Her makine kendisine verilen görevleri gerçekleştirmek için önceden programlanmıştır. AF.da Kontrol fonksiyonu çok fazla birime dağıtılmıştır. Bu akıllı birimler birbirleriyle kendilerini organize etmek için müzakere etmektedirler.
Bileşenler	Sensörler	Akıllı sensörler	Sensörler GF.da Ölçüm ve hata bulmaya yönelik kullanılmakta iken AF.da öz farkındalık ve öz öngörü sahibidirler.

2.5. Akıllı Fabrikaların Faydaları

Geleneksel fabrikaların dijital dünya ile buluşması yani internetle etkileşimi sonucunda akıllı fabrikalar oluşmuştur. Teknoloji tabanlı olmaları Akıllı fabrikalara

önemli avantajlar sağlayarak üretimde büyük faydaları ortaya çıkarmıştır. Bu faydalar aşağıda sıralanmıştır (Alçın, 2016; Davutoğlu, 2017);

Yüksek Rekabet Gücü; fabrika donanımı ve içindeki gömülü sistemler ile kullanılan makinelerin internetle donatılması, hata ve arızaları minimize eden otomatik kontroller ve diğer tüm özellikleri akıllı fabrikaları geleneksel fabrikalara göre daha verimli kılmakta ve küresel olarak daha rekabetçi olmalarına imkân vermektedir.

Performans Etkinliği; tüm verilerin tedarik zincirinin tamamında anlık toplanması, acil durumlar ile hataların gerçek zamanlı bir şekilde tespitinin yapılarak müdahale edilebilmesi, verilerin gerek insanlardan gerekse nesnelerden de toplanmasıyla yüksek doğruluk içermesi performansın daha hızlı ve iyi analiz edilmesini ve ihtiyaç duyulan iyileştirmelerin daha etkin ve hızlı bir şekilde yapılmasına imkân sağlamaktadır.

Yüksek Üretkenlik; akıllı üretim metotları sayesinde tedarik zinciri ağı kullanılarak ilgili tüm verilere anında erişim sağlanabilmektedir. Tedarikçi ve üreticilerin siparişler ve üretim konusunda istedikleri verilere eş zamanlı ulaşabilmeleri sayesinde gereksinim duyulan malzeme ve tedarik miktarı ile işlem süresi net bir şekilde belirlenebildiğinden verimlilik yüksek olmaktadır.

Düşük Maliyet; etkili personel istihdamı ve yönetimi, daha düşük fire miktarı/oranı, öngörülebilir envanter ihtiyaçları, azaltılmış süreç ve işlem değişkenliği ile geleneksel fabrikalara göre akıllı fabrikalarda maliyetler daha düşük gerçekleşmektedir. Bunun yanı sıra ürün ve süreç kalitesinin yükselmesi sayesinde onarım, arıza ve bakım kaynaklı maliyetlerde önemli azalmalar görülür.

Kalite; akıllı fabrikaların en önemli özelliği üretim hatlarını ve sürecini yani “kendini optimize etmek”tir. Bu sayede hata (problem) eğilimlerini daha hızlı, etkili ve kolay bir şekilde öngörmekte ve bulmakta; kalitesizliğe sebep olan makine, insan veya çevresel sebepleri tespit ederek, bunlara çözüm sunabilmektedir.

İnovatif İş Modelleri; kendi aralarında iletişim kuran akıllı sistemler çeşitli nesnelerden aldıkları veriler sayesinde; yeni iş modelleri, hizmetler ve süreçler oluşturabilmektedir.

Çalışma Şartlarında İyileşme; makinelerin uygun düzenlemeler sayesinde insan çalışma süreçlerine entegrasyonu, fabrika çalışanlarının başta daha bağımsız ve esnek çalışma süreleri olmak üzere yeni fırsatlar sağlamaktadır.

Daha Fazla Esneklik; akıllı fabrikalar teknolojiye dayanan üretim sistemleri sayesinde değişikliklere daha hızlı ve etkin tepki vermekte ve daha kolay uyum gösterebilmektedir.

Yüksek Güvenlik; birçok aktivitenin bizzat makineler tarafından gerçekleştirilmesi fabrika çalışanlarının hatalarının ve kazaların asgariye inmesini sağlamaktadır.

Özetle; fabrikaların teknoloji kullanılarak “akıllanması” sayesinde ürün kalitesi, teçhizat etkinliği ve güvenilirlik artmakta; fire miktarı ve hata oranı azalmaktadır. Ayrıca müşteri siparişlerine ve bunlardaki anlık değişikliklere anında karşılık verilebilmekte, tam zamanında, inovatif yöntemlerle, yüksek güvenlik içinde, düşük maliyetle ve etkin bir şekilde üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Bu da akıllı fabrikalara büyük ekonomik gelir fırsatı vermektedir (Alçın, 2016).

BÖLÜM 3. SAVUNMA SANAYİİ

3.1. Savunma Sanayisinin Özellikleri

Güvenlik ve savunma ihtiyacı sosyal gereksinimlerdir ve kamu hizmeti olarak kabul edilir, bu nedenle devlet toplumu tehdit ve tehlikelere karşı korumalıdır (Baran, 2018). Her ülke, milli bağımsızlığını ve egemenliğini korumaya çalışmaktadır. Bu koruma içgüdüsünün doğal bir sonucu olarak bütçelerinin büyük bir kısmını savunmaya aktarmakta, savunma güçlerine önemli ve hayati yatırımlar yapmaktadırlar. Modern dünyada, savunma sanayi adına teknolojik gelişmelerin takip edilmesi ve uyarlanması çok önemlidir. Bu nedenle ülkeler sürekli olarak savunmalarını modernleştirmek ve güçlendirmek çabası içindedirler. Buna rağmen birçok ülke savunma donanımlarını hâlâ ithal etmektedir. Özellikle gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerde bu çok daha fazla görülmektedir. Dolayısıyla gelişmiş ülkeler ulusal güvenlikleri için kendi ihtiyaçlarını kendi ürettikleri sistemler ile karşılarken aynı anda savunma sanayisi ürünlerini diğer ülkelere satarak gelirlerini arttırmaktadırlar. Üretim yapabilmek için savunma sanayisine yapılan yatırımlar ulusal ihtiyaçları karşılayanın yanı sıra önemli bir gelir kapısı da sağlamaktadır (Baran, 2018).

Savunma sanayiinde üst düzeyde bir uluslararası rekabet görülür. Günümüzün modern dünyasında dahi pek çok ülkede görülen iç savaşla birlikte uluslararası savaşlar da devam etmektedir. Dolayısıyla yurtdışından bir savunma sanayii ürününün veya teknolojisinin tedariki, siyasi koşulların değişmesi nedeniyle birdenbire kesintiye uğrayabilir. Sadece bu yüzden, ülkelerin savunma sanayii ürünlerini ve teknolojilerini daha maliyetli bile olsa kendilerinin gerçekleştirmeleri makul görülebilir. Savunma sanayisinde ithalatçı bir ülke olmak yerine ihracatçı konumuna ulaşabilme imkânı da bu sektördeki yatırımların artmasına neden olmaktadır. Bu yüzden gelişmekte olan pek çok ülke Türkiye gibi son yıllarda bu alandaki yatırımlarını arttırmaya çalışmaktadır.

Savunma sanayisi ile ilgili birkaç değişik tanım mevcuttur. Tanımlardaki bu farklılık savunma ve imalat sanayilerinin birbiri içine girmiş olmasından, bir olarak görölmesinden kaynaklanmaktadır. Savunma sanayisi ile imalat sanayisi arasındaki ayırım bugünlerde çok daha netleşmiştir. Savunma sanayisine ilişkin tanımlarda ortak olan ifadelerin başında “Savunma Bakanlığı’nın ihtiyaç duyduğu ürün ve hizmetlerin sağlandığı sanayii” ifadelerinin yanısıra, “ölke güvenliğinde ihtiyaç duyulan savunma hizmetlerin sunulması ve araç-gereçlerinin üretimi kapsamında çalışan endüstriyel iş çevresini içeren sektör” ifadeleri bulunmaktadır. (Şimşek, 1989; Eren ve Kılıç, 2013; Akalın, 2016). Daha az rastlanan ortak ifadelerden diğerkleri de “Savunma sanayisinin birçok üretim kolu ile iş birliği içerisinde olduğu” ve “Büyük bütçelerin ayrıldığı bir ekonomik faaliyet alanı olduğu” şeklindedir. Sonuç olarak Savunma Sanayisi için “Savunma becerisini edinmek için bir ölkenin gereksinim duyduğu tüm ürün ve hizmetlerin üretiminin yapıldığı, pek çok diğerk sektörler ile bağlantılı ve bu nedenle alt ve yan sanayinin gelişmesine önemli katkı sağlayan üretim koludur” (Şimşek 1989; Bakırcı ve ark., 2016).

Savunma sanayisinin yapısı çok yönlüdür. Savunma sanayisini yalnızca üretim ile açıklamak mümkün görünmemektedir. Savunma sanayinin alt unsurları arasında üretimin yanı sıra ihtiyaç duyulan ürün ve hizmetlerin planlanması, önceliklendirilmesi, millî olması gerekenlerin ve olabileceklerin belirlenmesi, gerekli altyapının oluşturulması da bulunmaktadır (Şimşek, 1989; Canbay, 2010; Yarman, 2012, Baran, 2018).

Savunma sanayii; diğerk sektörler ile mukayese edildiğinde kendisine özel pekçok özellikleri içermektedir. Bu farklı özellikler şu şekilde özetlenebilir;

- “Yurt içinde tek müşteriye sahip olmak”,
- “İleri kalite gerektirmek”,
- “Yüksek teknoloji içermek”,
- “Dış politik etkilere bağılı bir dış pazara sahip olmak”,
- “Farklı durumlarda pahalılık”,
- “Gizlilik”,

- “Yüksek miktarda yatırım gerektirmektedir” (Canbay, 2010).

Albayrak (2015)’e göre savunma sanayisinin özellikleri şu şekildedir:

- Müşteri devlettir.
- Tüketici tektir. Bu kesim ihtiyaçları belirler ve ürünleri de onlar tüketir.
- Genel talep yapısı oldukça belirsizdir.
- Sivil sanayii ürünlerine göre kâr oranları çok yüksektir.
- Sivil mallar ile mukayese edildiğinde dış pazar payı daha fazla olmasına rağmen savunma sanayisi ticareti belli düzenlemelere tabiidir.
- Savunma sanayisinin en belirgin özelliği teknoloji tekelidir.

3.2. Savunma Sanayinin Pazar Özellikleri

Öncelikle millî savunma ihtiyaçlarını karşılaması beklenen bu yüzden ulusal pazara hitap eden savunma sanayisi, aynı zamanda uluslararası pazara da sahiptir. Hem imkân-kabiliyetlerin kısıtlı olması nedeniyle hem de ekonomik olmadığı için her ülkenin tüm savunma sanayi ihtiyaçlarını kendi üretimi ile karşılaması mümkün veya uygun olmadığından ülkeler bazı savunma ihtiyaçlarını satın alma yöntemi ile karşılamaktadır. Bu nedenle işletmeler kendi silahlı kuvvetlerinin ihtiyaçlarını öncelikli olarak karşılamaya çalışsalar da diğer silahlı kuvvetlerin ihtiyaçlarına yönelik üretim yapmaya da çalışırlar. Ancak siyasi ilişkiler, savunma sanayisinde alım-satımları yani pazar koşullarını tayin eder (Yarman, 2012, Baran, 2018).

Savunma sanayisi, başka silahlı kuvvetlerden kaynaklanan ve sürekli bir değişim ve gelişim içindeki, farklı ortamlarda ortaya çıkma temayülündeki tehditlere cevap vermeye yönelik olduğundan savunma sanayisinden yapılan talepler sürekli değişir. Tek alıcı durumundaki bir ülkenin taleplerini karşılamak savunma sanayisinin sürdürülebilirliği anlamında büyük öneme sahiptir. Nitekim diğer sektörlerde fiyat önemli bir tercih nedeni olsa da yüksek kâr oranları nedeniyle rekâbetin de yüksek olduğu, büyük ölçekli projeler içerdiği için büyük ölçekli firmaların kurulduğu

savunma sanayisinde fiyattan ziyade tercihlerde asıl belirleyici faktörler, siyasi nedenler ile ürünlerin kalitesidir (Akgül, 1986; Temiz, 2012, Baran, 2018).

Savunma sanayisi konusunda diğer ülkelere üstünlük sağlayabilmek için teknolojik üstünlük en çok aranan özelliklerdendir. Ancak içerdiği ileri mühendislik gereksinimi nedeniyle bu yüksek teknoloji, maliyetlerin yükselmesi anlamına gelmektedir (Akgül, 1986; Bakırcı ve ark., 2016).

Savunma sanayisinde son teknolojinin istenmesi, araştırma ve geliştirme (AR-GE) çalışmalarına ağırlık verilmesine neden olmaktadır. Ayrıca halkla ilişkiler, süreç yönetimi ve kalite kontrol alanlarında da yüksek kalite istendiğinden ayrılan yüksek bütçenin de sayesinde savunma sanayisinde yüksek istihdam ihtiyacı ortaya çıkmaktadır (Akgül, 1986, Baran, 2018).

Savunma sanayisinin bir diğer farkı da üretimi yapılan ürün ve hizmetlerin alıcı ülkelere teslim edileceği ulaştırılma yollarını yine uluslararası siyasi ilişkilerin belirlemesidir. Şöyle ki ülkeler arasında gerçekleşen savunma sanayisine ait ürün ve hizmetlerin alıcı ülkeye nakliyatı da benzer şekilde bu iki ülke ile siyasi ilişkilerinde sorun olmayan ya da çıkar çatışması yaşanmayan ülkeler üzerinden gerçekleşmektedir.

Savunma sanayisi pazarının en temel özelliği yüksek güvenilirlik istemesidir. Diğer bir ifade ile, savunma sanayisi pazarında hem ürün ve hizmetlerin bizzat kendisinde hem de ürünün satılması ve sonrası sürecinde sunulan hizmetlerde hatanın kabul edilmemesidir. Ayrıca günümüzde üretilen savunma sanayii ürün ve hizmetlerinin geliştirilebilir olması istenmektedir. Böylelikle belirli aralıklarla gerçekleşen geliştirmeler ile savunma sanayisi ürün ve hizmetleri güncellenmekte, daha uzun ömürlü kılınmaktadır (Çilingir, 1989, Önal, 2016).

3.3. Savunma Sanayi Ürünlerinin Özellikleri

Savunma sanayi, bir ana sistem ile bu ana sistemi oluşturan birçok alt sistemden oluşmaktadır. Farklı ürün ve parçalar farklı seviyeler ve sistemler için

geliştirilmektedir. Örneğin aynı uzun namlulu silahlar farklı kara, hava ve deniz araçlarında kullanılmaktadır. Bu sebeple savunma sanayisi ürünlerinin kullanım alanlarını sınırlandırmak mümkün olmadığı gibi yanıltıcı sonuçlar doğuracaktır. Ayrıca tüm bu ürün ve hizmetlerin sistem olarak, askerî hareketin gereksinimlerini tam karşılayarak sorunsuz ve uzun ömürlü çalışması istenir. Savunma sanayi ürün ve hizmetlerinin geniş kapsamlı olması da göz önünde bulundurulduğunda ürün çeşitliliği ile birlikte AR-GE harcamaları artmaktadır (Yarman, 2012).

Savunma sanayi çok yüksek maliyetli ve sürekli güncellenmesi, iyileştirilerek güçlendirilmesi gereken bir alan olduğundan tedariki yapılan ürün ve hizmetlerin dayanıklı ve uzun ömürlü olmaları ile birlikte teknolojik gelişmeler yüzünden ihtiyaçlar açısından yetersiz kalmayacak veya geliştirilmeye açık olmaları gerekmektedir (Ansal ve ark. 2006).

Ülkelerin gereksinim duydukları ürün ve hizmetleri tedarik edebilmeleri ve ülkeler arasındaki ticaretin kolaylaşması için NATO tarafından bu konuyla ilgili bazı standartlar geliştirilmiştir. Türkiye de bu standartları esas almakta ve Millî Savunma Bakanlığı (MSB) tarafından geliştirmiş olan sertifika sistemini kullanarak üretici işletmelere talep ettiği standartları iletmektedir (Ansal ve ark. 2006).

Günümüzde savunma sanayisi hizmet ve ürünlerine yönelik etkinlik değerlendirmelerinde inceleme altına alınan hususlar aşağıdadır (Zaim, 2009):

- Hız,
- Vuruş gücü,
- İsabet oranı,
- Menzil,
- Dayanıklılık,
- Gizlilik,
- Uzaktan kontrol,
- Yenilenebilirlik,
- Güvenirlik.

Bu hususlardan uzaktan kontrol, yenilenebilirlik ve güvenilirlik, dijitalleşme başta olmak üzere son dönemde yaşanan teknolojik gelişmeler etkisi ile eklenmiştir. Özellikle yazılımların güvenilir olması ve yenilenebilmesi de son dönemde aranmaktadır. Ayrıca eş zamanlı bir şekilde ürünlerin kontrol edilebilmesi istenmektedir.

3.4. Savunma Sanayi Firmalarının Özellikleri

Özellikle son on yılda savunma sanayii üretim sanayiinden ayrılarak ayrı bir sektör olarak kabul edilmeye başlanmış olsa da bir ülkenin savunma sanayisini ulusal sanayisinden ayrı düşünmek imkansızdır (Yarman, 2012).

Bununla birlikte, ölçek olarak savunma sanayisinde çalışan firmaların önemli bir kısmı dünya genelinde ticaret yapacak çaptadır. Bu nedenle teşkilat yapıları itibariyle yönetim ve idare faaliyetlerini kolaylaştırmak maksadıyla; pek çok alt birime ayrılmışlardır. Firmaların bünyesindeki bu alt birimler bağımsız bir şekilde kendi kendilerini yönetme yeteneğine sahiplerdir ve bu şekilde kendi uzmanlık konusunda her birim yüksek nitelikli ve verimli çalışmalar ortaya çıkarırlar (Zaim, 2009).

Büyük savunma sanayisi projeleri kapsamındaki alt birim ve unsurların teşkilatlandırılması, sözleşmede istenen zamanlamanın uygulanması, sistem mühendisliği, lojistik sistem ile birlikte çalışabilirliği, maliyete etkinliği ve performans değerlendirmesi gibi aktiviteler, tüm yöneticilerin konularında özel eğitim olarak uzmanlaşmış olmalarını gerektirmektedir.

Atom bombası ile 1940 yılından itibaren takip edilmeye başlanan proje bazlı yönetim şekli; nükleer denizaltı, füzeler, savaş uçakları v.b. büyük projelerde de savunma sanayi firma ve şirketlerinin uyguladığı, vazgeçilmez ve önemli bir nitelik haline gelmiştir (Yarman, 2012).

Savunma sanayii firmaları için en önemli konular arasında gizlilik bulunmaktadır. Ülkeler, hem diğer ülkelerin karşı tedbir geliştirmemesi hem de geniş kapsamlı

alışmalar sonucu geliştirilmiş, yüksek teknolojilerin diğerk ülkelere geçmemesi için büyük gayret gösterirler (Zaim, 2009).

3.5. Türk Savunma Sanayii

1980’li yıllarda başlatılan savunma sanayisi reformunun bir sonucu ve gereğı olarak çıkartılan 3238 Sayılı Yasa, savunma sanayi politikasını düzenleyen ve şekillendiren en önemli dokümanlardan biridir. Yasa çerçevesinde yeniden savunma sanayisinin tasarımı ve bu anlamda gereken finansmanın sağlanması için gerekli bütün konular kapsamlı ve ayrıntılı bir şekilde düzenlenmiştir. Söz konusu yasa ve politika ile yabancı sermayenin Türk savunma sanayisinde kullanılması ve böylece geliştirilen ortak üretim projeleri ile modern teknolojilerin edinilmesi mümkün olmuştur. Kazanılan bu teknolojiler ile bilhassa komuta-kontrol, roket ve mühimmat, zırhlı araç, askeri elektronik ve havacılık konularında diğerk sektörlerde de kullanılabilecek kritik yetenekler elde edilmiş ve bu konularda sağlam bir alt yapı inşa edilmiştir. 3238 sayılı kanun kapsamında savunma sanayisinde faaliyet gösteren ve özellikle Türk Silahlı Kuvvetleri (TSK)’nin ihtiyaçlarını karşılayabilecek şirketlerle ilgili de düzenlemeler yapılmıştır.

Savunma sanayii kapsamında tüketici-üretici ilişkisinin tanımlanması, gereksinim duyulan yapı ve sistemin inşası, ihracatçı olarak uluslararası pazarda söz sahibi olunması ve ihtiyaçların millî imkânlarla karşılanması maksadıyla Savunma Sanayi İmalatçılar Derneğı (SASAD) Ankara’da 1990’da kurulmuştur. Millî Savunma Bakanlığı’nın desteğı ve önerisi ile kurulmuş olan SASAD savunma sanayisi ürünlerini TSK ihtiyaçlarını karşılamak ve ihraç edebilmek için üreten veya bu kapsamda bir sorumluluk almış üretici firma ve kuruluşların olduğı bir örgüttür (Ataman, 2018). Uzun süre büyük bir değışiklik olmadan faaliyetlerine devam eden SSM, 9 Temmuz 2018 yılında Müsteşarlık olmaktan çıkarak bir başkanlık haline getirilmiş ve Cumhurbaşkanlığı’na bağlanmıştır. Ardından 15 Temmuz 2018 tarihinde sorumlulukları, görev, yetki ve kuruluşu güncellenmiştir.

Savunma sanayisi hariç genel anlamda ekonominin diğer tüm sektörlerinde uluslararası ticaret söz konusu olduğunda rekabette açıklık ve eşitlik, tekelin reddi temelde kurallar olmakla beraber, savunma ürün ve hizmetleri söz konusu olduğunda ticaret bu koşul ve düzenlemelere tabi değildir. Savunma ürünlerinin ticaretini etkileyen özelliklerin başında dışarıya bağımlı bir savunma sanayisi ile ülkelerin bağımsızlıklarını risk altında görmek istememeleridir.

Türkiye de bu doğrultuda yasal ve yönetsel düzenlemelerini gerçekleştirerek yatırımlarını yaptı. Bu sayede savunma ihtiyaçlarını milli imkanlarla karşılama oranını sürekli arttırmaktadır. TSK'nin gereksinim hissettiği teçhizat, gereç, araç ve silahların 1980'li yıllarda %20'ye yakını milli imkanlarla karşılanırken, 2003'te %25'i, 2011'de karşılama oranı % 54 seviyesini yakalamıştır (Yarman, 2012). Savunma sistem ihtiyaçlarının milli imkanlardan karşılama oranı, 2017 yılı itibariyle %60'lara çıkarılmıştır. Yapılan bu millileştirme çalışmaları ile, teknolojinin yurt içinde üretilmesi, savunma sanayii sistemlerinin kısıtlamasız bir şekilde üretilmesi ve kullanılması, fikri mülkiyet haklarına sahip olunması hedeflenmektedir (Saraçöz, 2018: 34).

Uluslararası İşbirliği ve İhracat Stratejik Planı (UIİSP) 2017 yılında SSB tarafından hazırlanmış ve 2021 yılına kadar olan dönemi kapsamaktadır. Bu stratejik plan ile savunma sanayinin stratejik hedefleri aşağıdaki beş madde ile belirlenmiştir (2017-2021 UIİSP⁵).

- Türk şirketlerinin uluslararası pazarlardaki rekabet gücünü artırmak için finansman modellerinin oluşturulmasına öncülük etmek,
- Uluslararası iş birliğinde bütüncül bir yaklaşımla stratejik bir perspektif oluşturmak,
- Pazarlamanın finansmanında teşviklerin azami düzeyde kullanılmasını sağlayacak çalışmalar yapmak,

⁵ <https://www.ssb.gov.tr/Website/contentList.aspx?PageID=386&LangID=1>, Erişim Tarihi: 20.10.2019

- Savunma sanayinin tanıtım, iş geliştirme ve iş birliği faaliyetlerini destekleyecek projeler yürütmek,
- NATO-CNAD (Ulusal Silahlanma Direktörleri Konferansı) Faaliyetlerinin Uluslararası İş birliği ve Sanayileşme Faaliyetlerine Katkısını artırmak.

Alınan tedbirler ve yapılan yoğun çalışmalar sonucunda Türk savunma sanayii firmaları dünyada saygın bir yere sahiptir. Tablo-3.1.'de DefenseNews dergisinin her yıl yayınladığı “Dünyanın en büyük 100 savunma sanayi firması” arasına giren milli firmalar ve yıllara göre sıraları sunulmuştur. 2003-2007 yılları arasında dünyanın en büyük 100 savunma sanayi firması arasında hiçbir Türk firması bulunmazken, 2008-2012 yılları arasında sadece ASELSAN en büyük 100 firma arasına girerken, 2013-2016 yılları arasında ASELSAN ve TAI listede yer almışlar, 2017 yılında bu iki şirkete ROKETSAN eklenmiştir. 2020 için hazırlanan listede yedi Türk firması bulunmaktadır. ASELSAN firması 2002 yılında 80. Sırada iken 2020 yılında 48.liğe, TAI ise 97.likten 83. Sıraya yükselmiştir.2018 yılında STM, 2019’da BMC, 2020 yılında ise FNSS ve HAVELSAN firmaları listeye dahil olmuştur.

Tablo 3.1. DefenseNews Top 100 Listesindeki Türk Firmalarının Sırası

	ASELSAN	TAI	ROKETSAN	HAVELSAN	FNSS	STM	BMC
2002	80	97	-	96.	-	-	-
2003 -2007	-	-	-	-	-	-	-
2008	97.	-	-	-	-	-	-
2009	93.	-	-	-	-	-	-
2010	98.	-	-	-	-	-	-
2011	80.	-	-	-	-	-	-
2012	76.	-	-	-	-	-	-
2013	74.	85.	-	-	-	-	-
2014	67.	80.	-	-	-	-	-
2015	62.	78.	-	-	-	-	-
2016	58.	72.	-	-	-	-	-
2017	57.	61.	98	-	-	-	-
2018	55	64	96	-	-	97	-
2019	52	69	89	-	-	85	85
2020	48.	53	91	99	98	92	89

Kaynak: <https://people.defensenews.com/top-100/>

BÖLÜM 4. OLGUNLUK MODELLERİ

Üstündağ ve Çevikcan (2017) tarafından Endüstri 4.0 ‘a geçişlerde beliren sorunlar aşağıdaki şekilde listelenmiştir:

- Endüstri 4.0 ’ın tanım ve kavramına ilişkin algı sorunu ve stratejik rehberlik eksikliği,
- Endüstri 4.0 ’ın çıktı ve maliyetlerine ilişkin belirsizlik,
- Endüstri 4.0 ’a ilişkin organizasyonun kapasitesinin belirlenememesi.

Yukarıda belirtilen sorunları aşmak için birçok Endüstri 4.0 Olgunluk (maturity) modelleri geliştirilmiştir. Firmaların Endüstri 4.0 veya Akıllı Fabrika Olgunluk seviyeleri; bu konudaki yaklaşımlarını, mevcut çalışmalarını, halihazırda yaptıklarını yani hazırlık seviyelerini tespit edebilmek için geliştirilmiştir.

Olgunluk modelleri, bir sürecin veya kuruluşun halihazırdaki düzeyini ölçmek ve kavramsallaştırmak yoluyla olgunluk bakımından arzu edilen düzey ile mukayese etmek amacıyla kullanılır. Firma dönüşümlerinde nasıl ve ne zaman harekete geçeceklerine karar vermek için firmaların başvurdukları, bir kontrol listesi görevi görmesinin yanı sıra, istenen olgunluk düzeyine çıkmak amacıyla tamamlanması gereken eylemleri firmalara bildirir. Bu nedenle olgunluk modeli, firmayı istenen seviyeye göre konumlandırma (değerlendirme) ve analiz yapma kabiliyetine sahip olmalıdır. Bu analiz kabiliyeti ne kadar yüksek ise olgunluk modeli de o kadar kıymetli olacaktır (Üstündağ ve Çevikcan, 2017)

Endüstri 4.0 modelleri, firmaların imkân-kabiliyetlerini artırmaya ilişkin yeni fırsatları ortaya çıkarmak için onlara yol gösterir. Sistematik bir şekilde bu çalışmaları yapıp aşamaları tamamlamak, bir firmanın kendisine yönelik vizyonun belirlemesine, farklı

firmalar arasında Endüstri 4.0 platformundaki yerini belirlemesine ve bunu iyileştirmesine imkân verecektir.

Endüstri 4.0 'a geçiş amacıyla olgunluk modellerinin kullanılması, bir metot olarak kabul etmeleri firmalara önemli faydalar sağlayabilir. Kendi kültürüne bu modellerin metodolojisini entegre edebilen organizasyonlar üretim güçlerini önemli ölçüde yükselterek, üretimlerini katma değerli gerçekleştirme becerilerini artırmaktadır. Firmanın olgunluk modelini kullanarak geliştireceği kendine has spesifik bir Endüstri 4.0 proje planlaması ve vizyonu yapacağı dijital ve endüstriyel dönüşümün temelini oluşturacaktır (Ganzarain ve Errasti 2016).

Farklı konularda pek çok değişik olgunluk modelleri olmakla birlikte birlikte Endüstri 4.0 yani Akıllı Fabrikalar için tespit edilen olgunluk modelleri, bu modellerin anahtar noktaları ve bileşenleri müteakip sayfalarda sunulmuştur;

4.1. Impuls Endüstri 4.0 Hazırlık Modeli (2015)

Bu model kapsamında 4 anahtar nokta, 5 seviye, 18 kalem, 6 ana kriter bulunmaktadır. 2015'te Prof. Volker Stich, Dr. Karl Lichtblau, Matthias Blum, Dr. Roman Bertenrath, Dr.-Ing., Katharina Schmitt, Agnes Millack, Martin Bleider, Moritz Schröter ve Edgar Schmitz tarafından ortaya çıkarılmıştır. Model, firmanın Endüstri 4.0 hazırlık seviyesini, Endüstri 4.0 'a geçişteki engelleri ve bunların nasıl aşılabacağına dair tavsiyeleri içermektedir.

Organizasyonlara ait Endüstri 4.0 olgunluk seviyesinin, bir anket ile belirlenmesi hedeflenmiştir. Ağırlıklı olarak makina üreticileri ve imalatçı firmalara modeldeki anket çalışması yapılmıştır. Yapılan çalışmaların sonucunda aşağıdaki 4 anahtar nokta belirlenmiştir;

- Kalifiye personel,
- Endüstri 4.0 'a geçiş için köklü bir kurumsal stratejinin gerekliliği,
- Endüstri 4.0 'ın mali kaynağının garanti edilmesi,

- Akıllı ürünler ve veri güdümlü servislerin yeni iş modellerine imkân vermesi (Lichtblau ve ark., 2015).

Bir firmanın Endüstri 4.0 için hazırlık seviyesini belirlemek adına modelin temelini belirlenmiş olan 6 ana kriter oluşturur. Bu 6 ana kriter, uygun göstergeler kullanılarak işlevsel alanlara bölünmüştür. Bu 6 kriter aşağıdadır (Lichtblau ve ark., 2015);

- Akıllı fabrikalar,
- Strateji ve organizasyon,
- Akıllı ürünler,
- Akıllı operasyon süreçleri,
- Çalışanlar,
- Veri odaklı hizmetler.

4.2. Güçlendirilmiş ve Endüstri 4.0 Uygulama Stratejisi Modeli (2016)

Endüstri 4.0 Olgunluk seviyesinin hızlı şekilde kontrol edilerek değerlendirilmesi ve eksikliklerin belirlenmesine yöneliktir. İngilizce ismi “Empowered and Implementation Strategy for Industry 4.0” şeklindedir. Endüstri 4.0 ’a geçiş sürecinin yönetimi için de kullanılır. Modelde Gap Analizleri yani Boşluk veya Mevcut Durum analizleri mevcuttur. Endüstri 4.0 ’a geçiş engellerini aşmak için bir araç olarak kullanılması da mümkündür. Modelin bileşenleri ve sorularına ulaşılamamıştır (Lanza ve ark., 2016).

4.3. Endüstri 4.0 /Dijital Operasyonlar Öz Değerlendirme Modeli (2016)

Pricewaterhouse Coopers isimli danışmanlık firmasının 2015 yılında yaptığı ve bir anket içeren çalışma neticesinde 2016 yılında ortaya konmuştur. Orijinal ismi “Industry 4.0/Digital Operations Self-Assessment” şeklindedir. İsminden de anlaşılacağı üzere verilen kriterlere göre firmaların kendi kendilerini değerlendirmeleri istenir. 26 ülkeden ankete katılan iki binden fazla sayıdaki katılımcının bilgileri ve ortaya konan 8 madde, 6 boyut ile 4 seviye çerçevesinde geçiş

süreçleri analiz edilmiştir. Endüstri 4.0 'a geçiş durumunun değerlendirilmesine yönelik danışmanlık alabilmek için altı boyuttan üçünde başvuru gereklidir. Net bir model olduğunu söylemenin mümkün olmadığı ifade edilmiştir (Geissbauer ve ark., 2015). Bu modelin sorularına da ulaşamamıştır.

4.4. Bağlı Kurumsal Olgunluk Modeli (2014)

2014 yılında Rockwell Otomasyon şirketinin belirlemiş olduğu, orijinal ismi “The Connected Enterprise Maturity Model” olan modeldir. Endüstri 4.0 'a geçiş için yapılanların bütünleşmiş olmasını göz önünde bulunduran modelde, ilgili firmanın süreçleri aşağıdaki 5 basamak altında değerlendirilir (Lanza ve ark., 2016);

- Değerlendirme,
- Kontroller ve ağın güvenliğinin temini ve yükseltilmesi,
- Çalışma sermayesinin belirlenerek organize edilmesi,
- İş birliği,
- Analiz.

Bu basamaklara ilişkin alt kriterlere ulaşamamıştır.

4.5. SAP ve Capgemini'nin Ayrık Endüstriler için Hızlı Dijital Modeli (2016)

Bu model, danışmanlık hizmeti sunan Capgemini ve endüstriyel yazılımlar yapan SAP firmalarının ortak hazırladıkları bir olgunluk modelidir. İngilizce’de kullanılan adı “Fast Digital 4 Discrete Industries by SAP and Capgemini” şeklindedir. Model, 3 temel yetkinlik ile bu üç yetkinliğin altındaki 9 bileşenden oluşur ve endüstriyel dijitalleşme değişimine yönelik yol haritasını kapsar. Akıllı fabrika ve akıllı ürün temelinde söz konusu dijital değişimi, SAP firması tarafından geliştirilmiş olan bulut tabanlı S/4 Hana modülü ile ise süreçlerin dijital takibini sağlamayı planlamıştır (SAP & Capgemini, 2016). Modelde baz alınan yetkinlikler; İş Modeli, Dijital Pratikler ve Dijital Yetenekler şeklindedir. Her bileşenin 1-7 arasında dijital seviyesinin belirlendiği modelde, baz alınan 9 bileşen aşağıdadır;

- İş modeli dönüşümü,
- Operasyonel mükemmellik,
- Müşteri deneyimi,
- Dijital vizyon,
- Yönetim,
- Organizasyonel angajman,
- BT-İş uyumu,
- BT entegrasyonu,
- Dijital yetenekler.

Capgemini ve SAP, şirketleri dijital dönüşüm konusunda desteklerken hareketlilik, bağlanabilirlik, analiz ve bulut teknolojisi çözümlerini güvende tutmaya da çalışır. Yüksek değerli endüstriyel tesisler ve üretim tesisleri, dijital saldırı ve sabotajların başlıca hedefleridir. Güvenlik sürekli göz önünde bulundurulmuş en önemli faktör olmaya devam ettiğinden, siber güvenliği de dijitalleştirilen endüstriyel makine, ekipman ve bileşenlerin tasarımında ve çalıştırılmalarında birinci öncelik haline getirir. Hem Capgemini hem de SAP, portföylerinde, işlemleri siber saldırılara ve kötü niyetli iç davranışlara karşı koruyarak üreticilerin dijital dönüşüm girişimlerini korumalarına yardımcı olan siber güvenlik çözümlerine sahiptir. Bu çözümler, güvenlik açıklarının algılanmasına ve ortadan kaldırılmasına yardımcı olarak üreticilere, müşterilerinin ve iş ortaklarının verilerine ve işletmelerine güçlü bir koruma sağlar.

Capgemini'nin temel güvenlik hizmetleri, olgunluğu değerlendirmesi denetimi, risk analizi, güvenlik politikası yönetimi, güvenli kodlama, güvenlik fonksiyonu testi, sızma testi, tehdit istihbaratı, güvenlik açığı yönetimi, güvenlik izleme ve güvenlik yanıtı ve raporlamayı kapsar.

SAP HANA® Cloud Platformu'nda SAP'nin API yönetim yazılımı, doğrudan uygulama programlama arabirimleri (API) aracılığıyla dijital varlıklara basit, ölçeklenebilir ve güvenli erişim sağlar. API'lar üreticilerin uygulamalarını bulut aracılığıyla üçüncü tarafların uygulamalarıyla güvenli bir şekilde entegre etmelerini

sağlar. Üreticilerin, işbirlikçi iş modellerine girmek için başkalarına dahili BT ortamlarına erişim izni vermelerine gerek yoktur.

4.6. Tübitak – Dijital Olgunluk Modeli

2017 yılında, Tübitak’a bağlı çalışan BİLGEM/Yazılım Teknolojileri Araştırma Enstitüsü tarafından ortaya konmuştur. Yedi yetkinlikten oluşan model ile kamu kurumlarının sahip olduğu bilgi teknolojilerine ve dijital hizmetlere ilişkin bütüncül ve sistemli bir çerçeve ortaya koymak, kamu kurumlarının sundukları bu teknoloji ve hizmetlerin değerlendirilmesi ve seviyelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Modeli oluşturan yedi yetkinlik aşağıdadır;

- Yazılım Hizmetleri,
- Organizasyon,
- Stratejik Yönetişim,
- Bilgi Teknolojileri Hizmetleri,
- Hizmetler,
- Bakım,
- İşletim.

Modelde üç aşamalı bir yapı mevcuttur. En üstte yetkinlikler (7 adet), ortada kabiliyetler grubu (36 adet) ve altta da bağlı kabiliyetler (her grupta 5 soru, toplamda 180 soru) bulunmaktadır. Kabiliyet gruplarının altındaki sorulara ulaşamamıştır. Yetkinlikler ve kabiliyet grupları göz önünde bulundurulduğunda modelin, amacı ifade edilirken belirtildiği üzere, bilgi teknolojileri altyapısının olgunluğuna yoğunlaştığı değerlendirilmiştir (Tübitak, 2017, akt. Ataman, 2018).

4.7. Sanayi İşletmelerinin Endüstri 4.0 Hazırlığı ve Olgunluğu: Schumacher Modeli (2016)

Orijinal ismi “Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises” şeklindedir. Endüstri 4.0 ’a ilişkin Schumacher modelinde organizasyonel yönlelere odaklanarak mevcut model ve araçların genişletilmesine çalışılmıştır. Model akıllı üretimin soyut kavramlarını gerçek üretim ortamlarında ölçülebilen öğelere dönüştürmeye yoğunlaşmıştır. Aşağıda sıralanmış olan 9 olgunluk kriteri ile bunların alt kriterleri göz önünde bulundurulmuştur (Üstündağ ve Çevikcan, 2017):

- Liderlik: Liderin sahip olduğu azim, merkezi tutarlılık, yönetim yöntemleri ve kabiliyeti,
- Strateji: İş modellerinin uyarlanması, gerçeklemeye yönelik maliyetin mümkünlüğü, yol haritası takibi,
- Ürünler: Ürünlerin diğer sistemler ile bütünleşmesi, dijitalleşmesi ve kişiselleştirilmesi,
- Müşteriler: Müşteriler ile ilgili dijital medya/veri yeterliliği, bu verilerinden istifade etme, servis ve satışların dijitalleşmesi,
- Kültür: Bilgi teknolojilerinin mevcudiyeti, yeniliklere açıklık, bilgi paylaşımı ve diğer şirketler ile iş birliği,
- Operasyon: Süreçlerin bölümlere ayrılması, bu bölümler arası iş birliği, süreçlere ilişkin modelleme-simülasyon,
- Teknoloji: Makineler arası irtibat ve haberleşmenin kullanımı, mobil cihazların ve modern bilgi teknolojilerinin mevcudiyeti,
- Yönetim: Fikri mülkiyete saygı, teknolojik standartların Endüstri 4.0 ’a uygunluğu, Endüstri 4.0 iş mevzuatına uyum,
- İnsan: Çalışanların bağımsızlığı, yeni teknolojilere uyumları ve bilgi teknolojilerinin çalışanlar açısından yeterliliği.

4.8. Endüstri 4.0 için Sistem Entegrasyon Olgunluk Modeli SIMMI 4.0 (2016)

Menon ve ark. (2016) endüstriyel internet olgunluğunu değerlendirdikleri ilk çalışmanın ardından Leyh ve ark. (2016) 4 entegrasyon boyutu ve 5 olgunluk seviyesi ortaya konmuştur. Modelin orijinal ismi “System Integration Maturity Model for Industry 4.0.- SIMMI 4.0” şeklindedir.

Boyutlar aşağıdadır;

- Dikine Boyut: Bu boyut, kendi seviyesinde ve üstündeki seviyelerle bilgi alışverişinde bulunması gereken bir işletmenin en düşük seviyesindeki farklı fiziksel şeylerin ([yarı] ürünler, makineler, vb.) bileşenlerine odaklanır.
- Yatay Boyut: Endüstri 4.0 değişik görevlerdeki internet bağlantılarıyla yatay entegrasyonu gerektirdiğinden bunun ölçümü de seviye tespiti açısından yapılır. Ayrıca Endüstri 4.0 'da kurumsal sınırların ötesinde, yatay kurumsal düzeyde otomatik ve entegre bir bilgi akışı gereklidir. Bu bilgi akışı olmadan, işletme çapında bir değer ağı gerçekleştirilemez, yani tedarik zincirindeki ve değer ağlarındaki farklı ortakların çeşitli işletme sistemlerinin veri düzeyinde birlikte çalışabilirlik gerektirdiği anlamına gelir.
- Dijital ürün Geliştirme Boyutu: Mühendisliğin dijital sürekliliği için, her bir işlem adımının dijital olarak temsil edilmesi özellikle önemlidir. Bu amaçla, ilgili her işlem adımına en az bir işletme sistemi entegre edilmelidir.
- Kesitsel Teknoloji Ölçütleri Boyutu: Bu boyut, Endüstri 4.0 'ın tüm farklı alanlarında teknolojilerin ne ölçüde kullanıldığını değerlendirmeye odaklanmaktadır. Gereksinimlere göre, ilgili alanlar şunlardır: Hizmet odaklı mimari, bulut bilişim, büyük veri ve BT güvenliği.

Belirtilen boyutların tamamı aşağıdaki 5 seviyeye göre değerlendirilir;

- Optimum tam dijital
- Tam dijital
- Yatay ve dikey dijital

- Departmanlar arası dijital
- Temel dijital seviye

Yukarıdaki boyutlardan her biri, bir şirketin kendini değerlendirmesine izin veren çeşitli sayısallaştırma özelliklerini açıklar. Buna ek olarak, bir şirketin bir sonraki olgunluk aşamasına ulaşmasını sağlayabilecek dijitalleşmenin her aşaması için önerilen faaliyetler sunulmaktadır.

Endüstri 4.0 konusunda araştırma yapma eğilimi artmakla birlikte, Endüstri 4.0 'a geçişte olgunluk modellerinin kullanımı konusunda hâlâ bir araştırma boşluğu olduğu kabul edilmektedir (Gökalp ve ark., 2017). Modellerden bir kısmının kriterlerine ulaşamamakla birlikte değerlendirme kriterleri, boyutları ve öğeleri çeşitli modeller için farklıdır ve ayrıca standart, genel kabul görmüş bir model yoktur (Schumacher ve ark., 2016; Gokalp ve ark., 2017; Akdil ve ark., 2018). Buna ek olarak, bu modellerin boyutlarının çoğunun alanı BİT'ye hazır olup olmadığının değerlendirilmesine odaklanmıştır. Bu nedenle, Endüstri 4.0 'ı bütünsel bir bakış açısıyla uygulamak için hazır olma faktörünü değerlendirmek için anahtar bileşenlerin anlaşılmasına ihtiyaç vardır.

Ayrıca, bu modellerin hiçbiri, kuruluşların Endüstri 4.0 için hazır olup olmadığını değerlendirmek adına genel ve yaygın olarak kabul gören bir metodoloji sunmamaktadır (Lu, 2017; Rajnai ve Kocsis, 2018; Schumacher ve ark., 2016).

Modellerin tüm bileşenleri, tüm kriterleri tespit edilememekle birlikte strateji, akıllı fabrikalar ve çalışanların tüm modellerde olduğu görülmüştür. Bu bölümlerin en ayrıntılı işlendiği modelin ise Impuls modeli olduğu değerlendirilmiştir. Bu nedenle çalışmada Impuls-Industrie 4.0 Modeli esas alınmıştır.

4.9. Savunma Sanayisinin Endüstri 4.0 'a Geçişinde Olgunluk Modelleri

Savunma sanayisinin Endüstri 4.0 'a geçişi söz konusu olduğunda iki temel soru ortaya çıkmaktadır;

- Endüstri 4.0 'ın özellikleri ve bileşenleri savunma sanayisi özelliklerine ne kadar uymaktadır?
- Endüstri 4.0 olgunluk modelleri, Savunma Sanayisinin özelliklerine cevap verebilmekte midir, ne tarz veya hangi düzenlemeler gerekebilir?

Sektörlere göre Endüstri 4.0 geçişlerinde farklılıklar olduğu genel olarak kabul edilmekle birlikte bu konu üzerinde çok durulmamıştır. CAPGEMINI ve SAP firmalarının hazırladığı Endüstri 4.0 dokümanında⁶ bu farklılıklar analiz edilmiştir (Şekil 4.1.). Bu analize göre; telekomünikasyon, finansal hizmetler ve seyahat endüstrisi de dahil olmak üzere tüm endüstriler, işin dijitalleşmesini stratejik bir zorunluluk olarak kabul ederken, imalat şirketlerinin büyük çoğunluğu dijitalleşmenin zorluklarına göğüs germek konusunda isteksiz davranmaktadır. Sonuç olarak, telekomünikasyon, finansal hizmetler ve seyahat endüstrisi Endüstri 4.0 'a geçişte öncülük ederken, birçok imalat şirketi operasyonel mükemmellik gibi belirli disiplinlerde dijitalleşmeye, Endüstri 4.0 'a geçişe başladı. Kamu hizmetleri pek çok alanda dijitalleşme için çalışırken diğer sektörler göre yavaş kaldı. Telekom, BİT (Bilgi ve İletişim Teknolojileri) ve bankacılık sektörleri ise hem dijitalleştirmeye çalıştıkları fonksiyonlar hem de bu fonksiyonlarda gerçekleştirdikleri dijitalleşme itibari ile lider konumundalar. Seyahat ve nakliyat sektörlerinde ise ürün pazarlaması gibi kısıtlı alanlarda nispi dijitalleşme tespit edilmiştir.

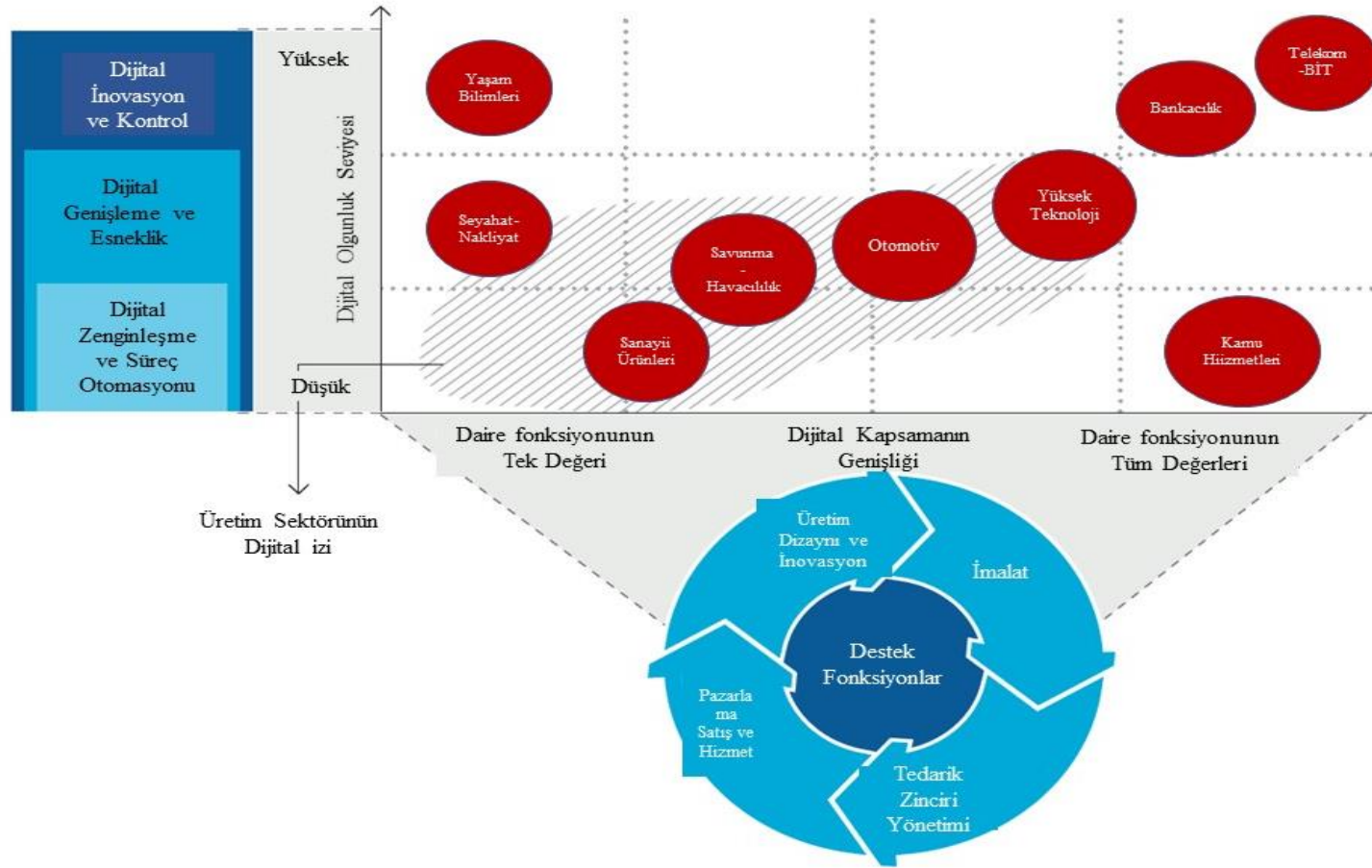
CAPGEMINI ve SAP (2017) raporuna göre; Savunma Sanayisi seyahat ve nakliyat firmalarına göre daha fazla fonksiyon sahasında Endüstri 4.0 dönüşümüne giderken çekingen davranarak yeterli başarı elde edemediler. Savunma sanayiinde çok sayıda üretici, dahili tesislerini birbirine irtibatlama ve dahili süreçlerini dijital olarak dönüştürme konusunda ilerleme kaydetmiştir. Birçok şirket, üretim süreçlerine Siber Fiziksel Üretim Sistemlerini (CPPS) dahil etmektedir. Bu sistemler makineden makineye iletişim sağlar ve üretim tesislerinin giderek özerk hale gelmesine yardımcı olur. Bununla birlikte, iş ortaklarının tedarik zinciri boyunca yatay entegrasyonu hala büyük bir zorluk olarak görülmektedir. Savunma sanayisi ürünlerinin gizliliği ve

⁶ <https://www.sap.com/content/dam/site/events/emea/netherlands/assets/2017-03-10-nl-email-discrete-manufacturing.pdf>

güvenliği, ülke gizliliği ve güvenliği anlamına gelmektedir. Dış ortaklarla siber iş birliği için ekosistemler inşa etmek, üreticilerin operasyonlar ve bilgi teknolojisi yakınlaştıkça örgütsel yapılarını yeniden düşünmelerini gerektirir. Geleneksel bir yapıda olan savunma sanayisinin, örgütsel yapısını Endüstri 4.0 için değiştirmesinin de yaşanan başka bir sorun olduğu değerlendirilmektedir.

Aslında Endüstri 4.0 ile elde edilen kazanımlar, savunma sanayisi ürünlerinde istenilen özellikleri sağlamada önemli avantajlar sağlamaktadır. Herşeyden önce her ülke savunma araç, gereç, silah ve teçhizatının diğer ülkenin sahip olduklarından hız, vuruş gücü, isabet oranı, menzil, dayanıklılık, uzaktan kontrol, yenilenebilirlik, güvenilirlik açısından üstün olmasını ister. Savunma sanayisinde genel talep yapısının belirsiz olması sanayii zorlayan konulardan birisidir. Talebin belirsizliği ve değişkenliği nedeniyle savunma ürünlerinde istenen üstünlükler; teknolojiye ileri ve hızlı güncellemeler yapan bir endüstri ile karşılanır. Özellikle savunma sanayisi ürünlerinden beklenen isabet oranı, uzaktan kontrol ve yenilenebilir olma; Endüstri 4.0 ile üretim sisteminin kazandığı gerçek zamanlı yetkinlik, kişiselleştirme, hizmet oryantasyonu ve modülerlik özellikleri ile ilişkilidir. Sivil sanayii ürünlerine göre savunma sanayisi ürünlerinin kâr oranlarının çok yüksek olması Endüstri 4.0 'a geçişi kolaylaştırıcı hususlardan biri olarak göze çarpmaktadır. Ancak yine de savunma sanayisinin teknoloji tekeli uygulaması, siber güvenlik kaygılarını öne çıkararak savunma sanayisinin dijitalleşmesini, Endüstri 4.0 'a geçişini zorlaştırmaktadır.

Endüstri 4.0 açısından sektörel bazlı farklılıkların yanısıra Endüstri 4.0 'ın bileşenleri arasında da önem veya ağırlık açısından farklılıklar vardır; nesnelerin interneti ile otonom robotu bileşenlerinin Endüstri 4.0 açısından önemleri farklıdır. Bileşenler arasındaki bu farklılıklar sektörden sektöre de değişmektedir. Örneğin savunma sanayisi için yüksek önemde olan siber güvenlik, turizm sektöründe daha az öneme sahiptir. Olgunluk matrislerinde kriter ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan Endüstri 4.0 bileşenlerinin önemi ve birbirleriyle olan etkileşim; teorik olarak ortaya konduğu gibi, olgunluk modeli ve farklı analizler ile ortaya konmaya çalışılmış ve müteakip parağraflarda ortaya konmaya çalışılmıştır.



Şekil 4.1. Sektörlere Göre Endüstri 4.0 (www.sap.com)

Endüstri 4.0 uygulamasının başarısını, Siber-fiziksel varlıkların kuruluşa entegrasyon derecesi, yani Siber Fiziksel Sistemleri belirleyecektir (Baheti ve Gill, 2011; Lee ve ark., 2015; Zanero, 2017). Lichtblau ve ark. (2015) yüksek algılama seviyesine sahip sensörlerle donatılmış siber fiziksel varlıkların yüzdesinin, “organizasyonun veya firmanın olgunluk seviyesi” olarak adlandırılabilceğini ifade etmiştir. Bir kuruluşun sensörlerden gelen verileri kullanma ölçüsü, işletme ve planlama amaçlarında istediği veya kabul ettiği şeffaflık ile bağlantılıdır. Nitekim Endüstri 4.0 'ın uygulanması, siber fiziksel varlıklarla donatılarak yüksek düzeyde otomatikleştirilmiş üretim anlamına gelir. Yani akıllı iş modüllerinin, üretim sürecini kendi başlarına kontrol etmesi ve izlemesi beklenir. Endüstri 4.0 'ın en yüksek düzeyde uygulanması, akıllı parçaların daha az insan müdahalesiyle sonuçlanan yapay zekânın üretime rehberlik edeceği, bu nedenle nesnelerin interneti, büyük veri, buluş bileşim unsurlarının önemli olduğu anlamına gelir (Bassi, 2017). Üretim, üretim ve dağıtım sistemleri, insan etkileşimi olmadan kendi içlerinde koordine olacaklardır (Meyer ve ark., 2009; Weyer ve ark., 2015; Zuehlke, 2010). Bu ise, firmaların üretim, lojistik, vb. fiziksel yönlerini siber dünyayla, örneğin IoT adı verilen bir BİT altyapısı aracılığıyla algoritmaları birleştiren bir CPS ile mümkündür (Baheti ve Gill, 2011; Lee ve ark., 2015; Zanero, 2017).

Veri toplama, veri işleme, veri yayma ve karar verme dijitalleştirilir. Böyle bir yaklaşım firmanın kaynaklarının daha iyi kullanılmasına yol açacaktır (Storey ve Song, 2017). Aynı zamanda firmanın çeşitli işlevleri, örneğin üretim sistemleri, bilgi sistemleri ve insanlar arasında çevrimiçi bir iş birliği arayüzü gerektirir (Lichtblau ve ark., 2015; Monostori, 2014). Bu nedenle, böyle bir şeyin olması için kuruluş içindeki sayısallaştırma düzeyi çok yüksek olmalıdır: yani alt ünitelerdeki otomatik veri yönetimi, kuruluş içinde Endüstri 4.0 'ı kullanarak daha iyi otomatik karar alma modellerine yol açacaktır.

Bu maksatla oluşturulan büyük veriler organize edilmeli, depolanmalı, analiz edilmeli ve kuruluş içindeki karar alma modellerine zamanında rapor edilmelidir (Lee ve ark., 2014). Endüstri 4.0 'ın tam olarak uygulanması, bir organizasyonda büyük işlevler içinde özerk karar verme ile sonuçlanır (Hofmann ve Rusch, 2017). Bunun gerçekleşmesi için kuruluş içindeki Bilgi İletişim Teknolojileri (BİT) sistemleri tüm

organizasyon süreçlerini tamamen desteklemeli ve tam olarak entegre olmalıdır (Lichtblau ve ark., 2015).

Bu noktada, özellikle savunma sanayisi için, BİT güvenlik sistemlerine ihtiyaç ortaya çıkmaktadır ve Endüstri 4.0 'ın savunma sanayisinde başarısı için BİT güvenlik sistemleri önemlidir. BİT sistemleri siber saldırılara karşı oldukça hassastır (Ben-Asher ve Gonzalez, 2015). BİT'nin kuruluşlar içindeki ve dışındaki güvenliği, Endüstri 4.0 'ı sürdürülebilir bir başarı haline getirecektir (Jazdi, 2014). Organizasyonun tedarik zincirinde uygulandığında CPS, büyük miktarda veri ile sonuçlanır. Bu kadar büyük miktarda verinin ve yazılımın başarıyla yönetimi için, bulut tabanlı araçlar çok önemlidir (Liu ve Xu, 2017). Endüstri 4.0 'ın başarısı, CPS entegrasyonunda bulut tabanlı teknolojilerin kullanımının başarısına da dayanmaktadır (Yen ve ark., 2014). Yani BİT sistem güvenliği ve bulut tabanlı veri yönetimi uygulaması, verilerin korunmasına ve veri zincirindeki tüm paydaşların verilerinin yönetimine böylece Endüstri 4.0 'ın başarısına neden olacaktır.

Dolayısı ile savunma sanayisinde siber güvenliğe önem verilmesinin, bulut tabanlı veri yönetimine olan hassasiyeti de artırdığı ifade edilebilir. CAPGemini ve SAP tarafından yürütülen Endüstri 4.0 çalışmalarında da veri güvenliği ve bulut tabanlı veri yönetimi bizzat bu şirketler tarafından gerçekleştirilmektedir.

Bununla birlikte savunma sanayisinin Endüstri 4.0 olgunluğunu ölçen çalışmalarda; Bibby ve Dehe ne savunma sanayisinin Endüstri 4.0 'a geçişi ile ilgili ne de bunun ölçülmesi ile ilgili, diğer sektörlerden farklılık gösteren bir hususa değinilmemiştir.

Bibby ve Dehe (2018) savunma sanayisi firmalarının Endüstri 4.0 olgunluk seviyesini belirlemek için endüstrinin üç boyutu üzerinde çalışmalarını yoğunlaştırmışlardır:

- Geleceğin Fabrikası,
- İnsanlar ve Kültür,
- Strateji.

Geleceğin Fabrikası boyutu esas boyut olarak kabul edilmiş ve sekiz kriterde incelenmiştir;

- Eklemeli Üretim,
- Bulut Teknolojisi,
- Üretim Yürütme Sistemi,
- Nesnelerin İnterneti ve
- Siber Fiziksel Sistemler,
- Büyük Veri, Sensörler,
- e-Değer Zincirleri ve
- Otonom Robotlar.

Veri toplama metodu olarak yarı yapılandırılmış görüşmeler, çalıştaylar ve puanlama yöntemleri kullanılmıştır. Firmadan 20 çalışana yapılan çalıştaylar ve görüşmelerde olgunluk değerlendirmesi sunulmadan önce IMPULS (2006), Goodson (2002) ve PWC (2016) olgunluk modelleri kullanılarak geliştirilen modelin 3. Versiyonu kabul görmüştür. Model çalışanlarca teyit edildikten sonra firmadan 14 uzmana model verilerek cevaplandırmaları istenmiştir. Sonrasında model 12 ortak firmaya daha uygulanmıştır. Sonuçta esas incelenen firmanın Endüstri 4.0 açısından gelişmekte olduğu tespit edilmiştir. Firmanın güçlü ve zayıf olduğu yönler de belirlenmiştir.

Ataman (2018) ise bulanık AHP yöntemi ile savunma sanayinde Endüstri 4.0 olgunluk parametrelerini önceliklendirmiştir. Ulaştığı sonuçlar bu çalışmanın sonuçları ile karşılaştırılarak izah edilmiştir.

Savunma Sanayisinin Endüstri 4.0 Olgunluğunun ölçülmesi ile literatürde iki çalışma tespit edilmiştir. Benzer şekilde Endüstri 4.0 Olgunluğunun ölçülmesi ile ilgili çalışmaları sektörel anlamda inceleyen Serdar (2019), savunma sanayisi ile ilgili sadece bu iki çalışmadan bahsetmiştir. Serdar (2019) sektörel olarak Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli çalışmalarını aşağıdaki şekilde özetlemiştir:

- Savunma (Bibby ve Dehe, 2018; Ataman 2018)

- Elektronik (Pacchini ve ark., 2019; Zhu, 2017; Bittighofer ve ark., 2018; De Carolis ve diğerleri, 2017b),
- Havacılık ve otomobil (Machado ve ark., 2019; Schumacher ve ark., 2019; Türkoglu, 2018; Schumacher ve diğerleri, 2016),
- Tekstil (Temur ve ark., 2019; Keskin ve ark., 2019; Akdil ve ark., 2018).



BÖLÜM 5. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ

Tezin bu bölümünde, uygulama kısmında kullanılacak olan MACBETH ve TOPSIS başta olmak üzere genel olarak Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri (ÇKKVY) anlatılmıştır.

Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri (ÇKKVY), enformatik, yönetim, matematik, ekonomi, sosyal bilimler ve psikoloji gibi birden fazla disiplinin birlikte göz önünde bulundurularak birden çok boyutla karar alıcıya problemini değerlendirme ve karar alma fırsatı sunan yöntemlerdir.

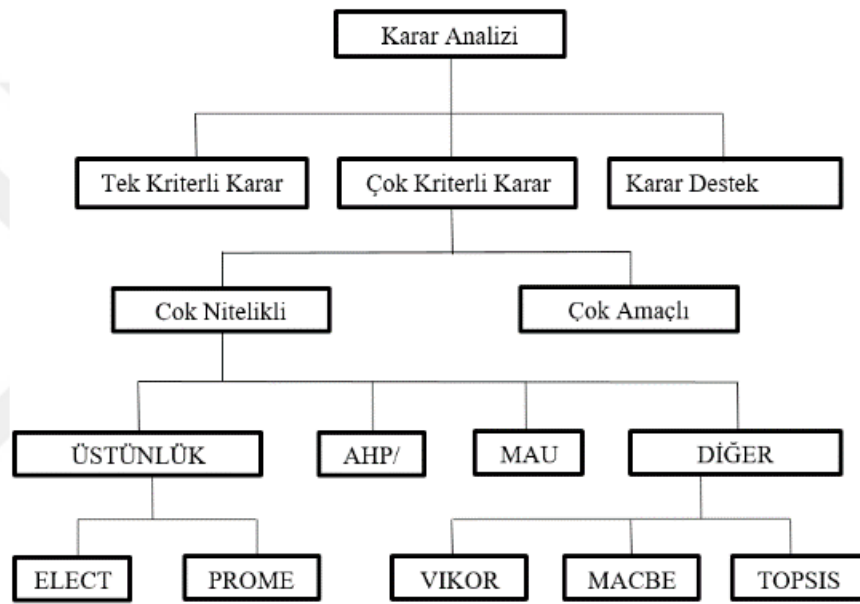
Günümüzde problemlere bütünsel olarak yaklaşıp mümkün olduğunca çok yönüyle ele alan ÇKKVY'nin teknikleri de bir hayli fazladır ve bu tekniklerin uygulanması amacıyla gelişen teknoloji sayesinde ortaya konmuş bilgisayar programları kullanıcılara problemleri çözme anlamında büyük kolaylık sunmaktadır.

ÇKKVY için yapılan birkaç tanım şöyledir; “Sonlu sayıdaki seçenekler içinden karar vericilerin iki ya da daha fazla kritere dayanarak yaptıkları seçim”; “Çoğunlukla birbirleriyle çelişki içindeki, karar vermeye yönelik birden fazla kısıtstan istifade ederek mevcut seçeneklerden en uygununu seçme işi” ve “Pek çok ihtimal arasından değişik birimleri olan pek çok kritere dayanarak en iyi olanı seçme tekniği” olarak tanımlanmıştır (Ülker, 2014).

C.L. Hwang ve K. Yoon, ÇKKVY'ni sahip oldukları farklı özelliklere göre Çok Amaçlı Karar Verme (ÇAKV) ve Çok Nitelikli Karar Verme (ÇNKV) olmak üzere iki büyük gruba ayırmışlardır (Şekil 5.1.) (Hwang ve Yoon, 1981).

ÇAKV; sonsuz sayıdaki seçeneklerin dolaylı olarak bir matematiksel programlama yapısı içinde tanımlandığı, sürekli durumlarda karar vermeye dayanır. Matematiksel optimizasyon yöntemlerini gerektiren ÇAKV yöntemleri birer tasarım problemidir.

ÇNKV ise; sonlu sayıda alternatiflerin açıkça listelenebildiği, kesikli durumlarda karar verme şeklidir. Bir tasarım problemi olmadan ziyade sonlu sayıda alternatiflerin içinden seçim problemidir. Dolayısı ile matematiksel optimizasyon yöntemleri gerektirmeyebilir.



Şekil 5.1. Karar Verme Yöntemleri (Hwang ve Yoon, 1981)

Çalışmamızda kullanmış olduğumuz MACBETH ve TOPSIS, ÇNKV yöntemleri arasındadır. Müteakip bölümlerde söz konusu iki yöntem detaylı olarak anlatılacaktır.

5.1. MACHBETH Yöntemi

MACHBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique) yöntemi çok değişkenli karar verme yöntemlerinden biridir ve 1990'larda J.M. De Corte, J.C. Vasnick ve C.A. Bana e Costa tarafından geliştirilmiştir. Yöntem, kalitatif yargılara dayanarak karar vericilere kantitatif bir karar verme imkânı sunmaktadır. MACBETH programına karar vericinin belirlediği kalitatif bilgiler

girilirken, yazılımı sayesinde program, belirlenen kalitatif değerlendirmelerin tutarlığı öncelikle bir doğrulama işlemine tabi tutulmakta ve tutarsızlık tespit edilmesi durumunda bunların çözümü için önerilerde bulunmaktadır (Ercan ve Kundakcı, 2017).

Kullanıcı açısından bakıldığında MACBETH, diğer bir ÇKKVY olan AHP'ye benzemektedir. Her iki yöntemde de temel dayanak ikili karşılaştırmaların sonucu olmakla birlikte MACBETH tekniği aralık ölçek (interval-scale), AHP tekniği ise oran ölçek (ratio-scale) kullanmaktadır (Yıldırım ve Önder, 2015).

MACBETH yönteminde aşağıdaki dört adım izlenerek alternatifler içinde sıralama yapılabilmektedir.

1.Adım (Kriterler): Probleme ilişkin alternatiflerden tercihin yapılabilmesinde kullanılacak kriterler belirlenir ve bu kriterler problemin genel yapısını yansıtan değer ağacında gösterilir.

2.Adım (İkili karşılaştırmalar): İkili karşılaştırmalar yapabilmek için öncelikle alternatifler tanımlanır. Sonra belirli bir kriter ışığında seçeneklerin muhtemel performansını yansıtan performans seviyeleri hazırlanır. Asgari iki referans seviyesi, alt (nötr) ve üst (iyi) referans seviyesi şeklinde belirlenir. Alt referans seviyesi 0 puan alırken üst referans düzeyi 100 puan alır.

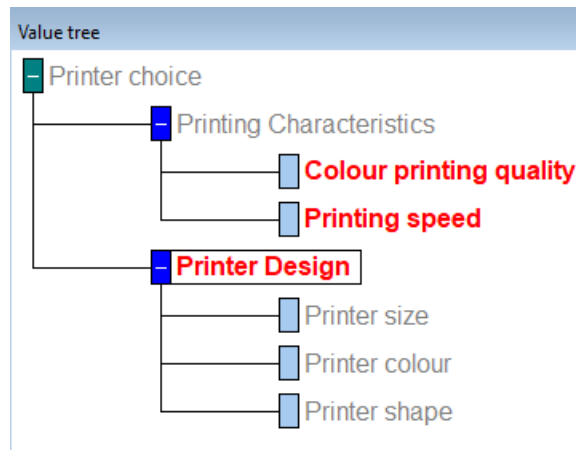
(m x m) boyutlu matris ile alternatifler sıralanır. Burada “m” belirlenen alternatif sayısını ifade etmektedir. Alternatifler matris içinde, önemlerine göre soldan sağa dizilirler. Bu kantitatif performans düzeylerini MACBETH ölçeği dahilinde dönüştürmek ve kalitatif performans düzeylerini belirlemek için yapılır. Aynı işlemler kriterler için de gerçekleştirilir. Ardından alternatifler ve kriterler için ikili mukayeseler yapılır.

Kriterlerin nispi önemlerinin belirlenmesini ve her bir kriter için alternatiflerin birbiri ile mukayesesinin yapıldığı bu adımın neticesinde karşılaştırma matrisleri ortaya çıkarılır.

3.Adım: Karşılaştırma matrislerindeki varsa uyumsuzluklar tespit edilir. Tekniğin düzgün çalışabilmesi için karşılaştırma matrislerinde uyumsuzluğun olmaması gereklidir. Bu adımda bir uyumsuzluk tespit edilirse kullanıcıdan yaptığı yargıları yeniden gözden geçirmesi istenir.

Uyumsuzluklar giderildikten sonra doğrusal programlama kullanılarak karşılaştırma matrislerinden alternatiflerin kriterlerdeki puanları ve kriter ağırlıkları elde edilir. Ayrıca alternatiflerin tercih seviyelerindeki değişikliklerine yönelik duyarlılık analizi de yapılabilir.

MACHBETH tekniğinde, problem hiyerarşi yapısı veya bir değer ağacı şeklinde yapılandırılmaktadır. Bunun için karar verici tarafından, önce alternatifler arasında etkili olabileceği düşünülen kriterler belirlenir. Ardından Şekil 5.2.'de gösterildiği şekilde bir değer ağacı yapısı içinde kriterler yerleştirilerek problemin yapısı görsel bir şekilde ortaya konur.



Şekil 5.2. Machbeth Değer Ağacı

Alternatifler ve kriterler ortaya çıkarıldıktan sonra problemi çözüme ulaştırabilmek amacıyla üç hesaplama yapılır;

- Kriterlerin ağırlıklandırılması: Amaca yönelik her bir kriterin etkisini yansıtan ağırlıklardır.
- Alternatif puanları: Her bir alternatifin her bir kritere göre tercih edilme seviyesini yansıtır.
- Alternatif genel puanları: Genel puanların hesaplanabilmesi için alternatiflere ve ağırlıklandırma kriterlerine yönelik puanlar, ara sonuçlar olarak değerlendirilir. Alternatifler arasında tek bir kritere göre sıralama yaparken alternatif puanları, tüm kriterlere göre sıralama yaparken ise seçenek alternatif genel puanları kullanılır.

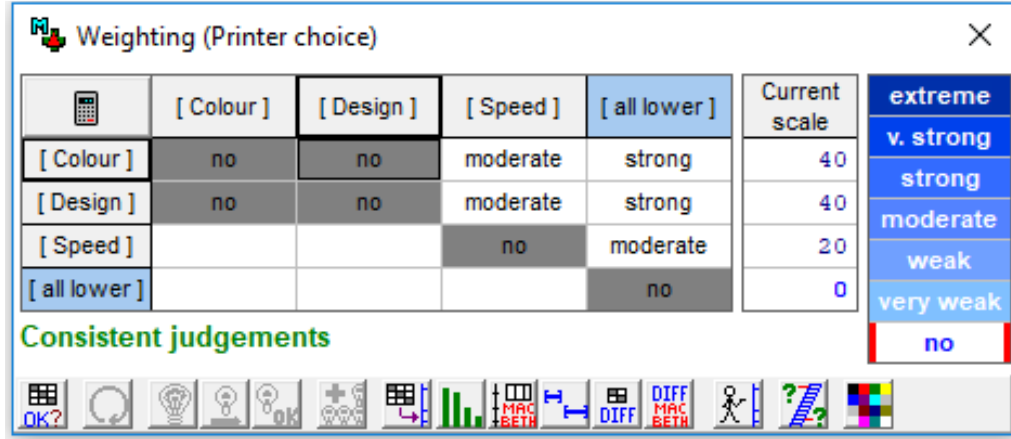
Her bir kriterin nispi etkisini ortaya çıkarmak amacıyla ikili karşılaştırmalardan istifade edilir. Sonra da her bir kriter için tüm alternatifler ayrı ayrı karşılaştırılır. MACHBETH, karşılaştırma yaparken aralık ölçekler kullanır. Bu nedenle iki alternatif arasındaki tercih edilme seviyesi ile ilgili olarak kullanıcılar öncelikle, Tablo 5.1.'de görülen 7 kategorili ölçekten istifade ederek kalitatif değerlendirmeler yapar.

Tablo 5.1. Macbeth Ölçekleri

Semantik Ölçek	Eşdeğer Sayısal Ölçek	Anlam
Anlamsız	0	Alternatifler arasında fark yoktur
Çok Zayıf	1	Alternatif, diğerlerine göre çok zayıf derecede çekicidir.
Zayıf	2	Alternatif diğerlerine göre zayıf derecede çekicidir.
Orta Derece	3	Alternatif diğerlerine göre orta derecede çekicidir.
Güçlü	4	Alternatif diğerlerine göre güçlü derecede çekicidir.
Çok Güçlü	5	Alternatif diğerlerine göre çok güçlü derecede çekicidir.
Aşırı	6	Alternatif diğerlerine göre aşırı derecede çekicidir.

İkili karşılaştırmaları yaparken karar verici, tercih edilme düzeylerine göre iki alternatif arasındaki farkın seviyesini tespit etmeye çalışır.

Tutarlılığın kontrol edilmesini kolaylaştırmak için alternatifler tercih sırasına göre matrise yerleştirilir. Karşılaştırma matrislerinde üst üçgen, matrisin alttaki üçgeni ile aynı verileri içerdiğinden üst üçgen yeterlidir, alttaki üçgenin doldurulmasına ihtiyaç yoktur (Şekil 5.3.).



Şekil 5.3. Tutarlılığın Kontrol Edilmesi

Kriterlerin nispi önemlerini ve alternatiflerin her bir kriter için karşılaştırmalarını gösteren, tutarsızlıktan arındırılmış karşılaştırma matrisleri yapılır. Ardından doğrusal programlama kullanılarak alternatif puanları ve kriterlerin ağırlıkları hesaplanır. Toplamaları “1” olacak şekilde kriter ağırlıkları bulunur. En az tercih edilen alternatif sıfıra eşitlenip kullanıcının tercihlerini yansıtan ve karar tablolarında belirtilmiş tercihlerin sayısal karşılıkları bulunarak alternatif puanları hesaplanır.

Çözümde, aşağıdaki şekilde formüle edilmiş olan doğrusal programlama modeli kullanılır.

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Min } \omega (o_1) \quad (5.1)$$

Burada $\omega (o_1)$ en çok tercih edilen kriterin/seçeneğin puanını göstermektedir.

Değişkenler:

$$\omega (o_i), i \in \{1,2,\dots,n\} \quad (5.2)$$

Burada kriter/seçenek sayısı, n ile gösterilmektedir. Modelde üç çeşit kısıt bulunmaktadır: sıfırlama koşulu, semantik koşullar ve ordinal koşulları.

Ordinal Koşullar:

$$\forall o_i, o_j, i, j \in \{1, 2, \dots, n\}: o_i > o_j \Rightarrow \omega(o_i) \geq \omega(o_j) + \delta(i, j) \quad (5.3)$$

$$\forall o_i, o_j, i, j \in \{1, 2, \dots, n\}: o_i = o_j \Rightarrow \omega(o_i) = \omega(o_j) \quad (5.4)$$

Burada $\delta(i, j)$ sayısı; o_j ile o_i arasındaki tercih edilme seviyesindeki değişimi veya farklılığı ifade etmektedir.

- Semantik Koşullar

$$\forall o_i, o_j, o_k, o_l, i, j, k, l \in \{1, 2, \dots, n\}: \omega(o_i) - \omega(o_j) \geq \omega(o_k) - \omega(o_l) + \delta(i, j, k, l) \quad (5.5)$$

Burada $\delta(i, j, k, l)$ sayısı; $o_j - o_i$ arasındaki tercih edilme seviyesindeki değişim ile $o_l - o_k$ arasındaki tercih edilme seviyesindeki değişim arasındaki anlamsal kategori sayısını ifade etmektedir.

- Sıfırlama koşulu

$$\omega(o_n) = 0 \quad (5.6)$$

Sıfırlama koşulu; asgari tercih edilen alternatifin puanının “0” olmasını sağlamaktadır. Aralık ölçeği esas alan MACHBETH tekniğinde; tercih seviyesi asgari düzeyde olan seçenek sıfırlanır. Bununla birlikte bu şart, kriterlerin ağırlıkları hesaplanırken dikkate alınmaz. Dikkate alınırsa genel amaca ilişkin seçimde asgari öneme sahip kriterin ağırlığı “0” olacaktır ki yani anılan kriterin hiç etkili olmadığı düşünülecektir. Bunu önlemek için kriterlerin ağırlıklarının tespit edildiği doğrusal programlama programına sıfırlama koşulu katılmaz.

Son olarak kriter ağırlıkları, seçenek puanları ile çarpılıp toplanır. Bu şekilde seçenekler arasında seçeneklere ilişkin puanlar kullanılarak, bir sıralama yapmak ve en iyi tercihi belirlemek mümkün hale gelmektedir.

5.2. TOPSIS Yöntemi

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi, Hwang ve Yoon tarafından geliştirmiştir (Hwang ve Yoon, 1981). Bu yöntemde, ideal çözüme en kısa Öklid uzaklığına ve olumsuz ideal çözümden en uzak olana sahip olan seçenek, en optimum alternatif olarak seçilir. Varsayımsal bir çözüm olan ideal çözümde, tüm kriter değerleri tatmin edici çözümleri içeren veri tabanındaki maksimum kriter değerlerine karşılık gelir. Aksine, negatif ideal çözüm, tüm kriter değerlerinin veri tabanındaki minimum kriter değerlerine karşılık geldiği varsayımsal çözümdür (Rao, 2013). TOPSIS'in ürettiği çözüm, hem varsayımsal olarak en iyiye en yakın hem de varsayımsal olarak en kötüden en uzak olan tek çözümdür (Rao, 2007).

Karar verici, tercihine göre göreceli (nispi) kriter ağırlıklarına kendisi karar verebilir. Kriterlerin göreceli önem ağırlıklarını sistematik bir şekilde tanımlamak için AHP yöntemi de kullanılabilir (Rao, 2013).

TOPSIS yönteminin anlaşılması ve kullanımı kolay olduğundan, farklı türdeki karar verme problemlerinde yaygın olarak uygulanmıştır (Chu ve Lin, 2003).

TOPSIS yöntemi aşağıdaki adımlardan oluşur (Rao, 2013):

1. Adım: Hedefin, kriterlerin ve karar matrisinin tanımı,
2. Adım: Kriter ağırlıklarının belirlenmesi,
3. Adım: Bileşik performans puanlarının hesaplanması (ağırlıklı normalleştirilmiş matris, en iyi ve en kötü ideal çözüm ve ayırma önlemleri)
4. Adım: Tercihlerin sıralanması.

1. Adım: Hedefin, kriterlerin ve karar matrisinin tanımı yapılır. Karar matrisi $m \times n$ boyutunda, sütunlarda faktörler (n adet), satırlarda ise karar noktaları (m adet) gösterilir.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (5.7)$$

2. Adım: Kriter ağırlıklarının normalizasyon ile belirlenmesidir. Karar matrisindeki her bir a_{ij} değerinin karelerinin toplanması ile sütun toplamlarına ulaşılır. Ardından her bir a_{ij} değeri, bulunduğu sütun için elde edilmiş olan sütun toplamının kareköküne bölünür ve aşağıda ifade edilmiş olan normalize değer (n_{ij}) bulunur.

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad (5.8)$$

Her bir n_{ij} değerinin matriste yerleştirilmesiyle aşağıdaki normalize denklem (N_{ij}) elde edilir.

$$N_{ij} = \begin{bmatrix} n_{11} & \dots & n_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ n_{m1} & \dots & n_{mn} \end{bmatrix} \quad (5.9)$$

3. Adım: Bileşik performans puanlarının hesaplanmasıdır. Normalize edilmiş değerler subjektif olarak teker teker, toplamaları bir olacak şekilde ağırlıklandırılır (w_i). Bir önceki adımda normalizasyon ile bulunmuş olan değerler (n_{ij}), bu ağırlıklar (w_i) ile çarpılır ve ağırlıklandırılmış normalize matrise (V matrisi) ulaşılır.

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 n_{11} & \dots & w_n n_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 n_{m1} & \dots & w_n n_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{11} & \dots & v_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{m1} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix} \quad (5.10)$$

4. Adım: Tercihlerin sıralanması. Problemin amacına bağlı olarak ideal çözüm değerleri bulunur. Örneğin amaç maksimizasyonsa, her bir sütun için maksimum değerler bulunur. Ardından her bir sütun için minimum değerlere bakılır. İlgili denklemler aşağıdadır;

Her bir sütun için maksimum değerler alınarak İdeal Çözüm Değerlerinin tespit edilmesi:

$$A^+ = \{\max_j v_{ij} \mid j=1, \dots, n; i=1, \dots, m\} \Rightarrow A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\} \quad (5.11)$$

Her bir sütun için minimum değerler alınarak Negatif İdeal Çözüm Değerlerinin tespit edilmesi:

$$A^- = \{\min_j v_{ij} \mid j=1, \dots, n; i=1, \dots, m\} \Rightarrow A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} \quad (5.12)$$

Ardından öklidyen uzaklık kullanılarak ideal ve negatif ideal noktalara olan mesafe değerleri bulunur. Karar noktası adedince s_i^+ ve s_i^- tespit edilir.

İdeal uzaklık:

$$S_i^+ = [\sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_j^+)^2] \quad (5.13)$$

Negatif ideal uzaklık:

$$S_i^- = [\sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_j^-)^2]^{0.5} \quad (5.14)$$

Son olarak ideal ve negatif ideal noktalara olan uzaklıklar kullanılarak her bir karar noktasının ideal çözüme nispi mesafesi (P_i^+) bulunur.

$0 \leq P_i^+ \leq 1$ şeklindedir.

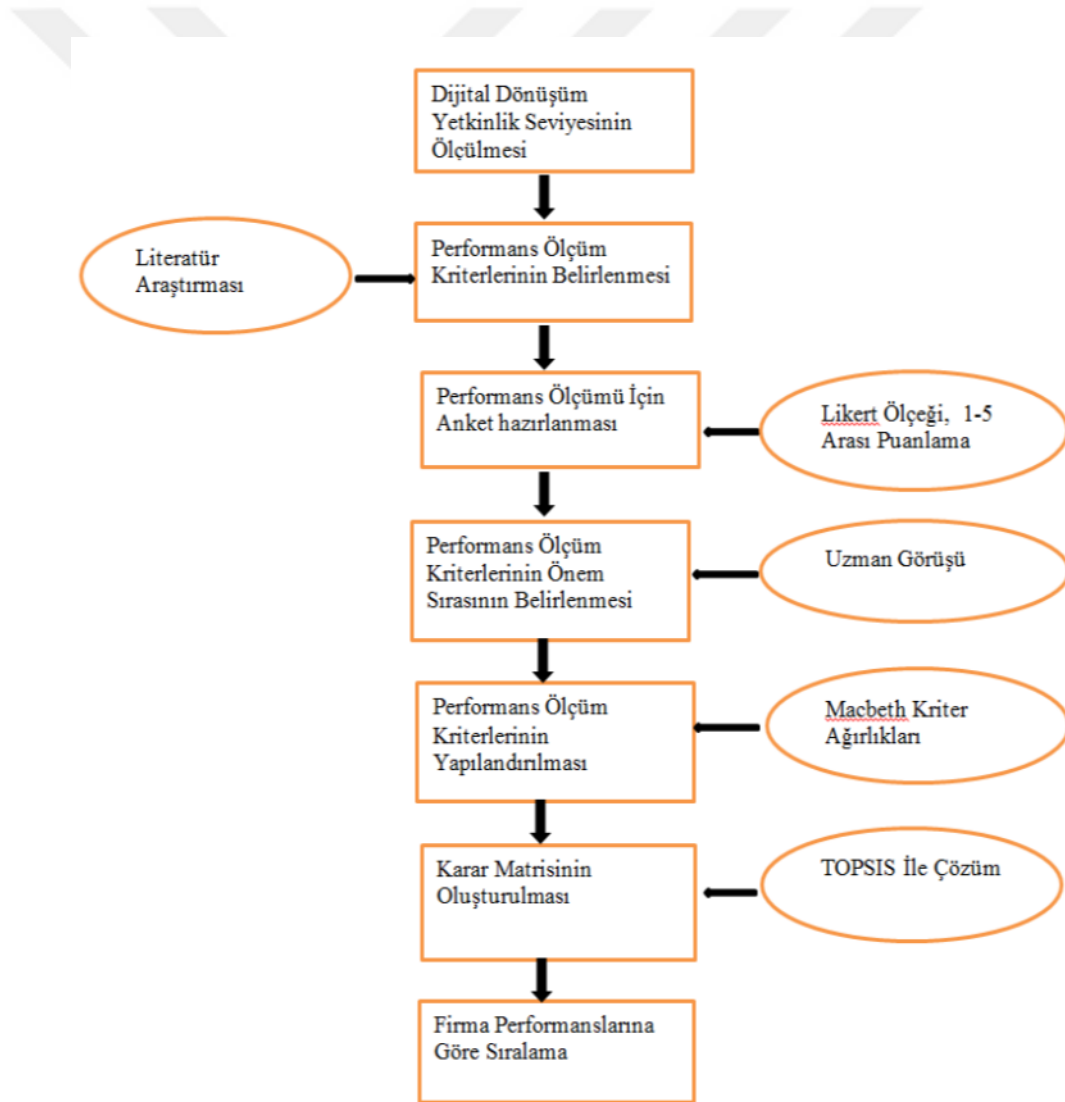
Bir karar noktasının ideal çözüme mutlak yakınlığı $P_i^+ = 1$, negatif ideal çözüme mutlak yakınlığı ise $P_i^+ = 0$ şeklindedir.

Bir karar noktasının ideal çözüme nispi mesafesi;

$$P_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (5.15)$$

BÖLÜM 6. UYGULAMA

Bu bölümde ÇKKVY olan MACBETH kullanılarak savunma sanayii alanında faaliyet gösteren bir firmanın Endüstri 4.0 dönüşüm veya olgunluk seviyesini tespit etmek için bir metodoloji geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmanın uygulama adımları aşağıdaki şekilde özetlenmiştir:



Şekil 6.1. Uygulama Adımları

Performans değerlendirme kriterleri belirlenirken bu tezin literatür taraması bölümünde incelenmiş olan olgunluk modellerinin yanı sıra özellikle Ataman (2018) Yüksek Lisans Çalışması'nda kullandığı model ile 2017 yılında TÜSİAD'ın üretim sektöründe Türkiye'de faaliyet gösteren şirketlerin dönüşümlerinin analiz edilmesi amacıyla BCG (Boston Consulting Group) ile birlikte ortaya koyduğu "Türkiye'nin Sanayide Dijital Dönüşüm Yetkinliği Raporu" çalışması referans alınmıştır. Ek-1'de bilgileri sunulmuş olan 5 uzmanın katıldığı bir seri çalışma ile literatürdeki olgunluk modeli kriterleri karşılaştırılmıştır. Çalışmada göz önünde bulundurulacak kriterler ise Ek-2'te sunulmuştur. Ataman (2018) çalışmasında savunma sanayisine odaklanmış olsa da akıllı fabrika ve teknolojik dönüşümden ziyade strateji, insan, operasyon ve yönetim ana kriterleri üzerinden çalışmıştır. Oysa literatürde neredeyse tüm olgunluk modellerinde akıllı fabrika, dijital seviye veya teknoloji kullanımı ana kriteri ile benzer alt kriterler mutlaka yer almıştır. En çok kullanılan modellerden Impuls Endüstri 4.0 Hazırlık Modeli (2015)'nin seçtiği 6 kriter arasında da akıllı fabrikalar, akıllı ürünler ve akıllı operasyon süreçler bulunmaktadır. Benzer şekilde SAP ve Capgemini (2016) akıllı fabrika ve akıllı ürünleri, Tübitak – Dijital Olgunluk Modeli bilgi teknolojileri altyapısı temelinde model geliştirmiştir. Ayrıca akıllı fabrika ile ilgili alt kriterlerin modeldeki performans değerlendirme kriterleri arasında bulunmasının; firmaların operasyonel yeterliklerinin daha objektif bir şekilde belirlenmesini sağlayacağı öngörülmüştür. Bununla birlikte diğer modellerden farklı olarak teknoloji kullanımı ana kriterinin altına ilave olarak savunma sanayisinde yüksek önem taşıdığından "veri güvenliği" uzman görüşleri doğrultusunda eklenmiştir.

Diğer çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada "ürün geliştirme" bir ana kriter olarak uzman görüşleri doğrultusunda eklenmiştir. Savunma sanayisinde ürün odaklı çalışılması, gerektiğinde maliyetin ikinci plana alınıp bütçenin aşılması pahasına diğer ülkelere göre daha üstün ürün geliştirilmeye çalışılması göz önünde bulundurularak ürün geliştirme konusunun bir ana kriter olarak modele eklenmesinin uygun olacağı değerlendirilmiştir.

Firmalarda Endüstri 4.0 olgunluğunun belirlenmesi amacıyla belirlenecek 5 ana kriter şöyledir; Teknoloji ve Ürün, Strateji, İnsan ve ARGE Kültürü, Yönetim ve

Organizasyon, Operasyon alt yapısı, yalın üretim uygulama seviyesi ve üretim yönetim araçları kullanım seviyesi olarak belirlenmiştir. Tablo 6.1.'de sunulduğu üzere, bu beş ana kriter için toplam 17 alt kriterli bir model tasarlanmıştır. Bu kriterlere göre hazırlanmış olan anket Ek-A'da sunulmuştur.

Belirlenen bu kriterlerin birbirlerine göre önemlerinin tespiti için savunma sanayii ve Endüstri 4.0 konularında çalışan uzman personelin görüşlerinin alınmış ve öncelikle ana kriterlerin ağırlıkları belirlenmeye çalışılmıştır. Ardından her bir ana kriterin alt kriterleri kendi içinde değerlendirilmiş ve puanlamaları yapılmıştır. Nihai kriter ağırlıklarının belirlenmesi için ÇKKVY'den biri olan MACHBETH yöntemi kullanılmıştır.

Tablo 6.1. Savunma Sanayii Endüstri 4.0 Olgunluk Kriterleri

Kriter Adı	Sınıf	Kısa Adı
1. Teknolojinin Kullanımı (Akıllı Fabrika)	Ana Kriter	X1
Siber Fiziksel Sistemler	Alt Kriter	X11
Ekllemeli Üretim (3D Printing)	Alt Kriter	X12
Siber Güvenlik	Alt Kriter	X13
Büyük Veri ve Bulut Tekn.	Alt Kriter	X14
Simülasyon ve Arttırılmış Gerçeklik	Alt Kriter	X15
2. Ürün Geliştirme	Ana Kriter	X2
Hızlı Yanıt Verme	Alt Kriter	X21
Ürün Çeşitliliği	Alt Kriter	X22
Ürün Dayanıklılığı	Alt Kriter	X23
Lojistik Kolaylık	Alt Kriter	X24
Ürün ve Ürün Bileşenlerinin Operasyonel Uyumluluğu	Alt Kriter	X25
3. İnsan ve ARGE Kültürü	Ana Kriter	X3
Bilgi Paylaşımı ve Takım Çalışmasına Yatkınlık	Alt Kriter	X31
Endüstri 4.0 Araçlarına Yetkinlik	Alt Kriter	X32
ARGE Kültürü ve Motivasyonu	Alt Kriter	X33
4. Strateji ve Yönetim	Ana Kriter	X4
Teknolojiye Yüksek Yatırım Yapılması	Alt Kriter	X41
İnsan-Makine Makine-Makine Etkileşimi	Alt Kriter	X42
Akıllı Operasyon Süreçleri	Alt Kriter	X43
Çalışma Gruplarının Endüstri 4.0 'a Göre Oluşturulması	Alt Kriter	X44

6.1. Performans Değerlendirme Kriterleri

Bu bölümde performans değerlendirme kriteri olarak belirlenen alt kriterlerin Savunma Sanayii Endüstri 4.0 dönüşümündeki yerleri izah edilmeye çalışılmıştır.

6.1.1. Teknoloji kullanımı

Endüstri 4.0 teknolojileri olarak adlandırılan nesnelerin interneti, büyük veri, bulut bilişim, 3D Yazıcı, robot ve otomasyon sistemler gibi teknolojiler olmadan firmaların Endüstri 4.0 dönüşümünden bahsetmek oldukça güçtür. Bahsedilen bu alt kriterler hem Savunma Sanayisi firmaları hem de diğer tüm firmaların Endüstri 4.0 'a geçişi için önemlidir. Teknoloji kullanım düzeyini tespit edebilmek amacıyla belirlenen alt kriterler şöyledir; Siber Fiziki Sistemler (Robot ve Otomasyon sistemler, Sensör, Nesnelerin İnterneti) Eklemeli Üretim (3D Yazıcı), Siber Güvenlik, Bulut ve Büyük Veri, Simülasyon ve Arttırılmış Gerçeklik.

Savunma sanayisinde diğer ülke ve firmalara karşı hem ürünlerle ilgili hem de üretim ile ilgili verilerin korunması zaruri bir ihtiyaçtır ve tam olarak sağlanmalıdır. Bu nedenle diğer modellerde yer almamakla birlikte savunma sanayii için geliştirilen bu modelde siber güvenliğe (veri güvenliğine) yer verilmiştir.

6.1.2. Ürün geliştirme

- Hızlı yanıt verme: Silahlı kuvvetlerin ihtiyaçlarının yapısı nedeniyle Savunma sanayinde müşteri isterleri, mümkün olduğunca cevaplanmalıdır. Bu istekler yeni bir ürün geliştirilmesi konusunda olabileceği gibi üründe yaşanan herhangi bir teknik sorunda ya da ürüne sonradan ek özellik ilavesinde gereken durumlarda da yaşanabilir.
- Ürün çeşitliliği: Savaşların taraflar arasında yapılıyor olması ve her iki tarafın da diğerinin imkân – kabiliyetlerine, savunma teçhizatına göre kendini sürekli yeniliyor olması orduların ürün yelpazesinin geniş ve dinamik olmasını gerektirir. Bu nedenle savunma sanayii ürünleri çeşitliliği destekleyecek biçimde ve gelişime açık olarak tasarlanmalıdır.
- Ürün Dayanıklılığı: Savunma sanayisi ürünleri çok zor koşullarda (zorlu hava koşulları, uzun süre bakımının yapılamaması, v.b.) kullanılabildiğinden bu ürünlerin dayanıklı ve uzun ömürlü olmaları istenir.

- Lojistik Kolaylık: Muharebe koşullarında lojistik zorlaşacağından savunma sanayisi ürünleri desteklenmesi kolay olan, lojistik üstünlük sağlayan ürünler olmalıdır.
- Ürünlerin ve Ürün Bileşenlerinin Operasyonel Uyumluluğu: Ordular için savunma araç, teçhizat ve ürünlerinin birbirleri ile uyum halinde aksamadan çalışması (örneğin kara, deniz, hava tüm araçların birbiri ile görüşebilmesi, birbirini tanıyabilmesi v.b.) operasyonel anlamda önemlidir. Üretimde ve ürünlerde yapılan iyileştirmelerde bu husus göz önünde bulundurulmalıdır.

6.1.3. İnsan ve ARGE kültürü

- Takım çalışması ve bilgi paylaşımına yatkınlık: Kapsam itibarıyla savunma sanayisi projeleri diğer sektör projelerine göre genellikle daha geniştir. Bu nedenle çalışanlar arasında takım ruhunun oluşturulması, iş bölümü, bilgi paylaşımı ve iletişim önemlidir. Ayrıca bu özellikler Endüstri 4.0 için de bu özellikler istenir.
- Çalışanların Endüstri 4.0 araçlarına yetkinliği: Endüstri 4.0 özellikle teknoloji, protokoller, programlar ve iş akışı gibi pek çok alanda yenilikler getirmiştir. Firma çalışanlarının bu yeniliklere uyum sağlaması, firmanın bu uyum için yardımcı olması Endüstri 4.0 'a geçişi kolaylaştıracaktır.
- ARGE Kültürü ve Motivasyon: Savunma sanayii ürünlerinde rakip taraflara üstünlük sağlamak ve bunun için de özellikle özgünlük ve teknolojik üstünlük önemlidir. Bu yıpratıcı ve dinamik ortamda, başta yöneticiler olmak üzere tüm çalışanların ARGE kültür ve motivasyonlarının olması firmaya avantajlar sağlayacaktır.

6.1.4. Strateji ve yönetim

- Teknolojiye Yüksek Yatırım Yapılması: Savunma sanayii firmalarının Endüstri 4.0 'a geçebilmeleri ve bu şekilde üretimlerini gerçekleştirebilmesi için yüksek teknoloji bir üretim sürecine sahip olmaları yani firmanın sahip

olduğu teknolojik kabiliyetleri artırmak için bu konulara yatırım yapması gereklidir.

- İnsan-Makine, Makine-Makine Etkileşimi: Fabrikada ve üretim sürecinde insanın makinelerle ve makinelerin de diğer makineler ile uyum ile çalışması sağlanmalıdır Böylece kullanıcı arası aktarım hızı, bilgi transferleri ve verimi artacaktır.
- Akıllı Operasyon Süreçleri: Simülasyon, Nesnelerin interneti, Artırılmış Gerçeklik gibi firmanın sahip olduğu imkân kabiliyetlerin firmanın yönetimini, ürün planlaması ve üretimi gibi konularını desteklemesi faydalı olacaktır.
- Çalışma Gruplarının Endüstri 4.0 'a Göre Oluşturulması: Diğer sektör projelerine göre daha kapsamlı olan savunma sanayisi projelerinin zamanında ve eksiksiz tamamlanabilmesinin yanı sıra Endüstri 4.0 'a uygun olarak işlerin görülebilmesi, dönüşüm odaklı çalışılabilmesi için çalışanların yetenek ve tecrübelerine uygun olarak iş bölümlerinin yapılması, bu anlamda dönüşüm için ihtiyaç duyulan entegrasyonların hangi araçlar kullanılarak, ne zaman ve kimler tarafından yapılacağı belirlenmesi önemlidir. Bu nedenle Dijital dönüşümün sebep olduğu değişiklikler göz önünde bulundurularak yapılan tüm işler, çalışanların kabiliyetleri, çalışan ve yaptığı iş arasındaki ilişkiler yeniden değerlendirilmeli ve sonuçlara göre düzenlemeler yapılmalıdır.

6.2. Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması (MACBETH Yöntemi)

Savunma sanayisi Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli için belirlenmiş ve yukarıda izah edilmiş olan kriterlerin ağırlıkları; Vasnick, De Corta ve Costa tarafından geliştirilmiş olan MMachbeth programı kullanılarak hesaplanmıştır. Belirlenen kriterler için önce ana kriterler sonra diğerleri için değer ağacı hazırlanmıştır (Şekil 6.2.). Değer ağaçları hazırlanırken kriterler önem sıralarına ağaca ve matrise yerleştirilmiştir.



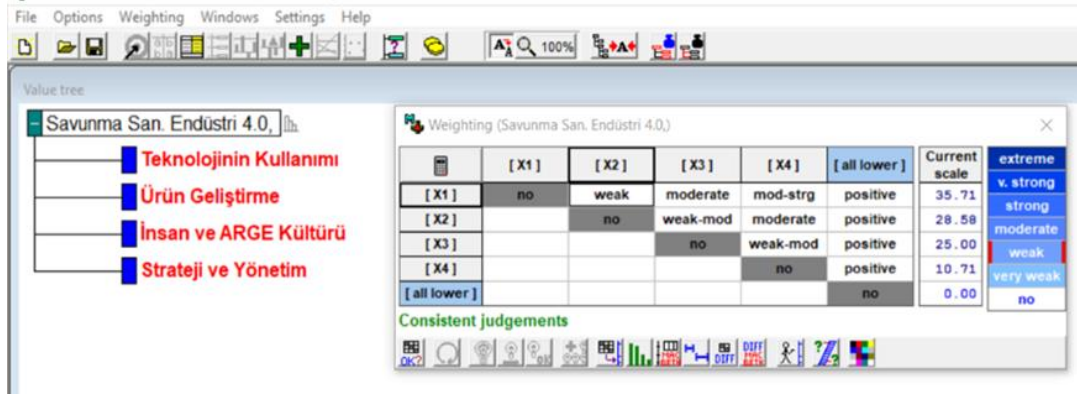
Şekil 6.2. Ana Kriterlere ait Değer Ağacı

Değerlendirmeyi yapan birinci uzmanın görüşleri doğrultusunda Ana Kriterler içindeki sıralama Şekil 6.3.’te olduğu gibidir ve savunma sanayisinin Endüstri 4.0 ’a hazır olma kriterleri içinde birinci sırada olan yani en önemli olduğu düşünülen kriter “Teknolojinin Kullanımı” bulunmaktadır. “Teknolojinin Kullanımı”nı sırasıyla “Ürün Geliştirme”, “İnsan ve ARGE Kültürü” ve “Strateji ve Yönetim” ana kriterleri izlemektedir. Kriter isimleri uzun olduğu için ve MMACBETH programı bu şekilde istediği için kriter isimleri çözüm adımlarında Tablo 6.2.’deki gibi kodlandırılmıştır.

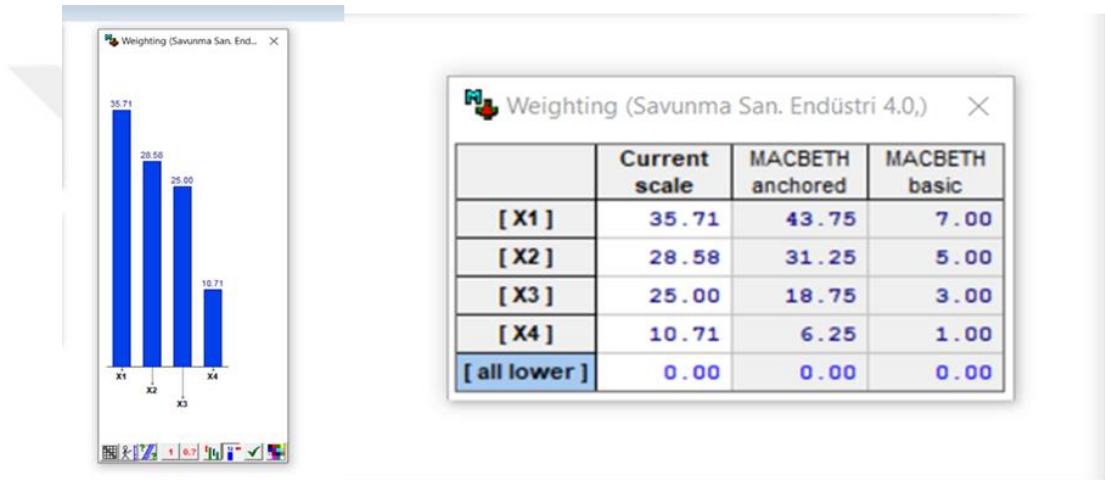
Tablo 6.2. Ana Kriter Kodları

Kriterin Kodu	Kriterin Açık Adı
X1	Teknolojinin Kullanımı (Akıllı Fabrika)
X2	Ürün Geliştirme
X3	İnsan ve ARGE Kültürü
X4	Strateji ve Yönetim

Birinci uzmanın yaptığı değerlendirme ışığında kriterler önem derecelerine göre yukarıdan aşağıya ve soldan sağa doğru MMACBETH programı dahilinde sıralandıktan sonra 7 kategorili kıyaslama değerlerine göre ikili olarak mukayese edilmiş (Şekil 6.3.) ve bu mukayeseye göre ağırlıkları program tarafından hesaplanmıştır (Şekil 6.4.).

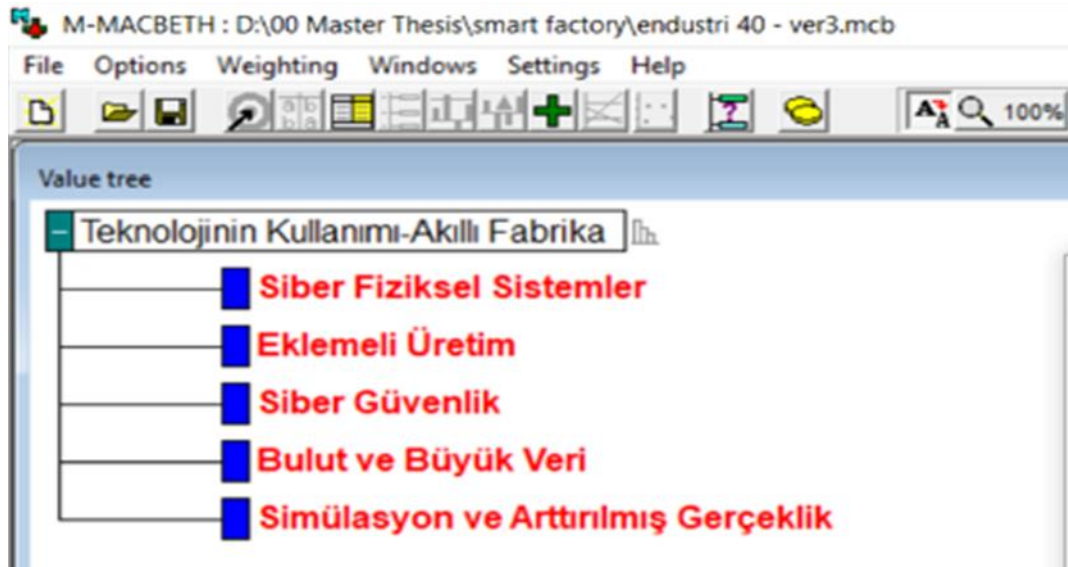


Şekil 6.3. Ana Kriterlerin Mukayesesi

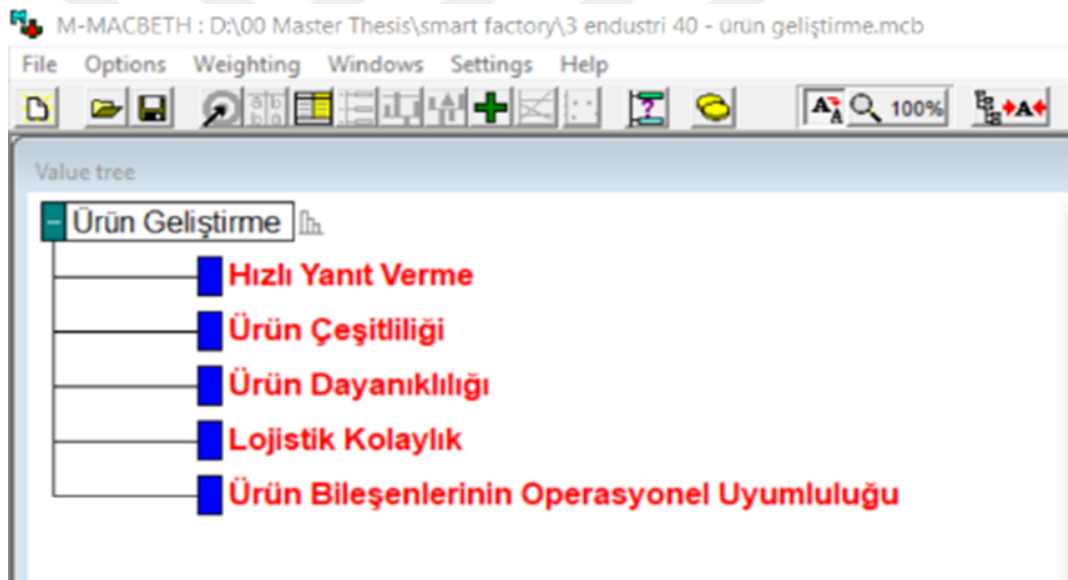


Şekil 6.4. Ana Kriterlerin Ağırlıkları

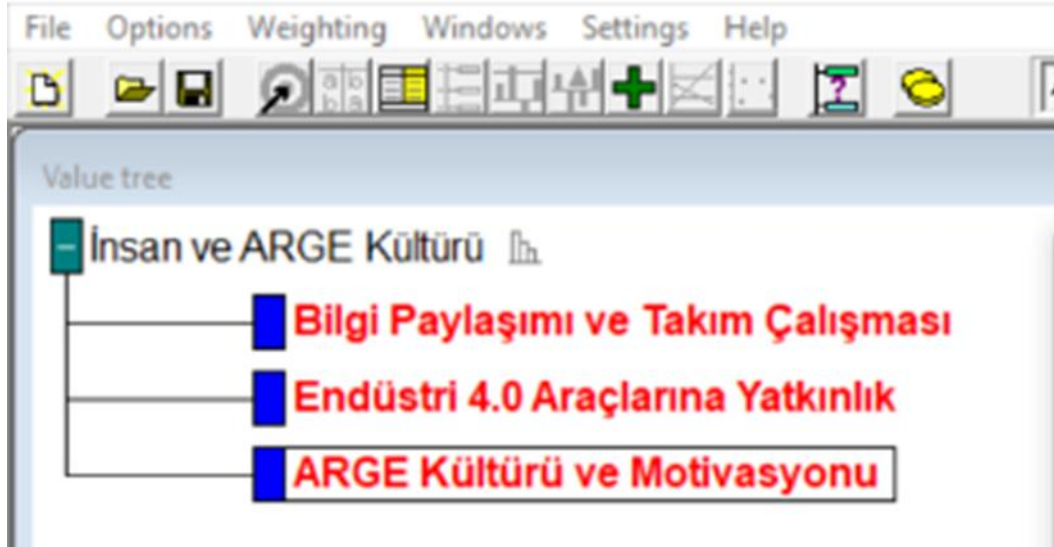
Ana kriter ağırlıkları Şekil 6.4.' deki şekilde belirlendikten sonra aynı işlemler alt kriterler için MMacbeth programında yeniden yapılarak tüm alt kriterler için kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Bu kapsamda önce kriterler sıralanarak tüm ana kriterler için değer ağaçları oluşturulmuştur (Şekil 6.5., Şekil 6.6., Şekil 6.7., Şekil 6.8.).



Şekil 6.5. Teknolojinin Kullanımı için Değer Ağacı

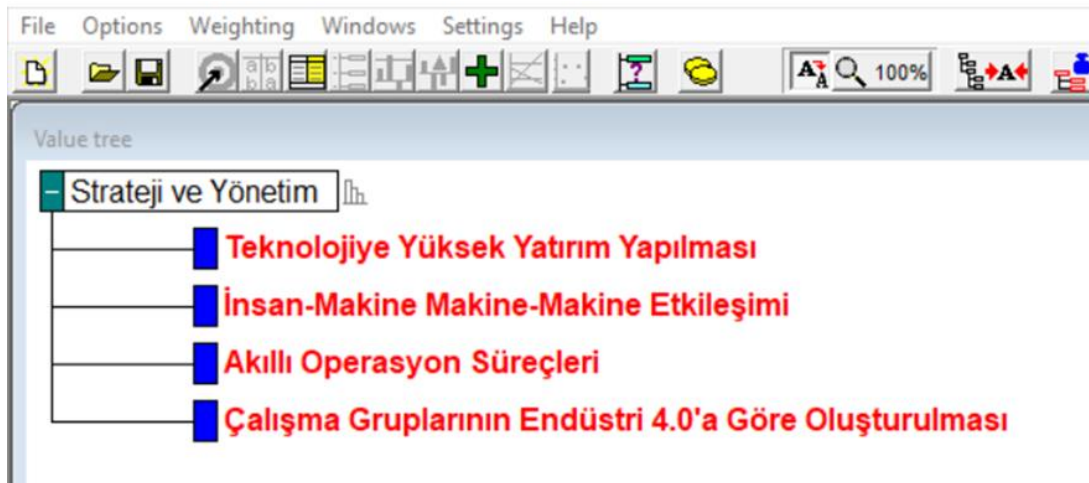


Şekil 6.6. Ürün Geliştirme için Değer Ağacı

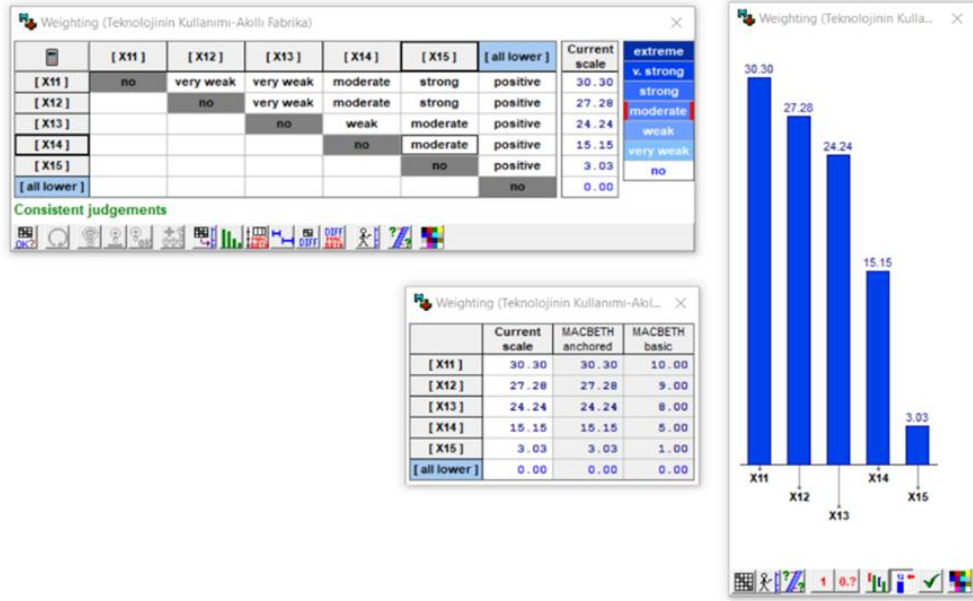


Şekil 6.7. İnsan ve ARGE Kùltürü için Değer Ağacı

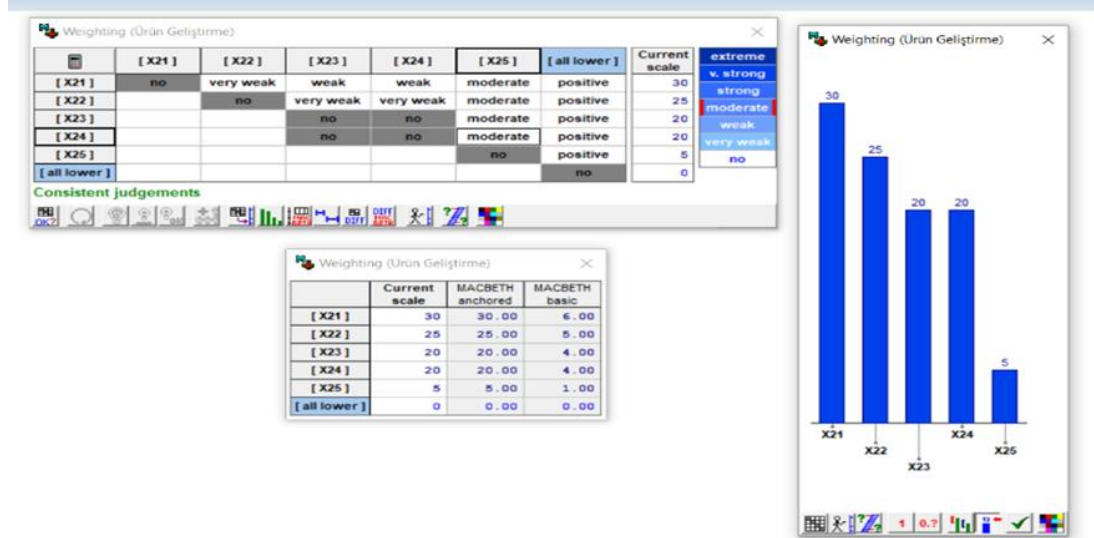
Değer ağaçları oluşturulduktan sonra her bir ana kriter için belirlenmiş olan alt kriterler Savunma Sanayisinin Endüstri 4.0 olgunluk seviyesi için taşıdıkları önem derecesine göre yukarıdan aşağıya ve soldan sağa sıralanmıştır. Ardından MACBETH yöntemine göre 7 kategorili ölçek değerleri çerçevesinde ikili mukayese edilmiş ve böylece kriterlerin kendi ana kriterleri içinde ağırlıkları belirlenmiştir (Şekil 6.9., Şekil 6.10., Şekil 6.11., Şekil 6.12.).



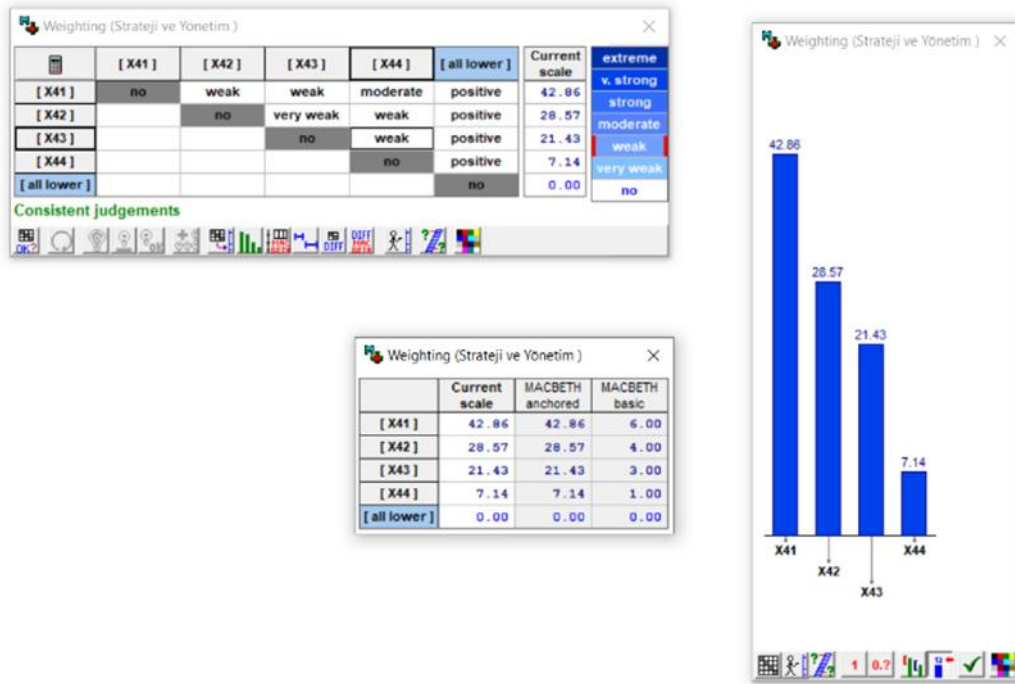
Şekil 6.8. Strateji ve Yönetim için Değer Ağacı



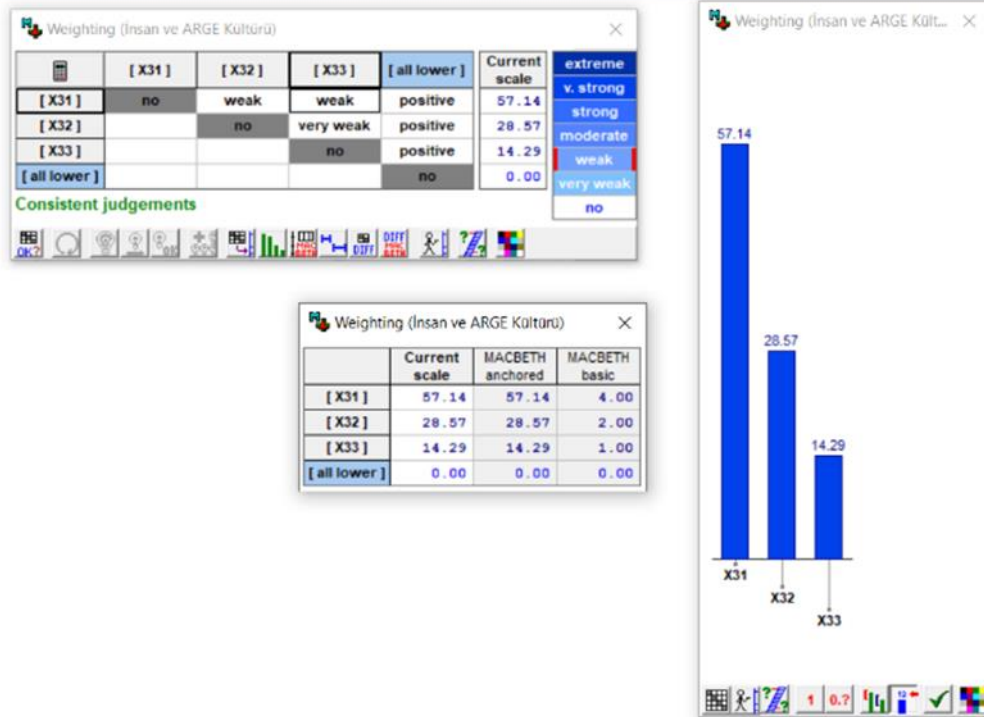
Şekil 6.9. Teknolojinin Kullanımı Kriterlerinin Mukayesesi ve Ağırlıkları



Şekil 6.10. Ürün Geliştirme Kriterlerinin Mukayesesi ve Ağırlıkları



Şekil 6.11. Strateji ve Yönetim Kriterlerinin Mukayesesi ve Ağırlıkları



Şekil 6.12. İnsan ve ARGE Kültürü Kriterlerinin Mukayesesi ve Ağırlıkları

İkili mukayeselerde programa girilen değerlendirmelerin (kıyaslamaların) tutarlı olması doğru sonuçlara ulaşılabilmesi için çok önemlidir. Bu nedenle MACBETH programı tarafından girilen mukayeselerin tutarlılığı yine program tarafından kontrol edilerek tutarsızlıklar bildirilmekte ve düzeltilmesi istenmektedir. Nitekim bu çalışma çerçevesinde girilen mukayeseler de M-MACBETH programı tarafından kontrol edilmiş ve tutarlı oldukları bildirilmiştir. Program bu tutarlı değerlendirmeleri; bu bölümün başında izah edilmiş olan doğrusal programlama modellerine göre MACBETH ölçeğine dönüştürmüştür. M-MACBETH programının birinci uzmanın görüşlerine göre hesaplanmış olduğu kriter ağırlıkları aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 6.3. Alt Kriterlerin Ağırlıkları

Teknoloji Kullanımı	Ağırlık	Ürün Geliştirme	Ağırlık	İnsan ve ARGE	Ağırlık	Strateji ve Yönetim	Ağırlık
X11	0,3030	X21	0,3	X31	0,5714	X41	0,4286
X12	0,2728	X22	0,25	X32	0,2857	X42	0,2857
X13	0,2424	X23	0,2	X33	0,1429	X43	0,2143
X14	0,1515	X24	0,2			X44	0,0714
X15	0,0303	X25	0,05				

Tablo 6.3.'deki alt kriter ağırlıkları hesaplanırken dahil oldukları ana kriter ağırlıkları henüz dikkate alınmamıştır. Oysa ilk başlangıçta söz konusu ana kriterlerin ağırlıkları hesaplanmıştı. Bu ana kriter ağırlıkları Tablo-6.3.'deki alt kriter ağırlıkları ile çarpılır ve tüm kriterlerin birbirlerine göre ağırlıkları hesaplanmış olur (Tablo 6.4.).

Tablo 6.4. Alt Kriterlerin Nispi Ağırlıkları

Teknoloji Kullanımı	Ağırlık	Ürün Geliştirme	Ağırlık	İnsan ve ARGE	Ağırlık	Strateji ve Yönetim	Ağırlık
X11	0,1082	X21	0,0857	X31	0,1428	X41	0,0459
X12	0,0974	X22	0,0714	X32	0,0714	X42	0,0306
X13	0,0865	X23	0,0571	X33	0,0357	X43	0,0229
X14	0,0541	X24	0,0571			X44	0,0076
X15	0,0108	X25	0,0143				

Bir uzmanın yaptığı değerlendirmeye göre hesaplanan ve yukarıda izah edilmiş olan kriter ağırlıkları, görüşlerine başvurulmuş olan 3 uzmanın değerlendirmelerine göre aynı şekilde hesaplanmış, aritmetik ortalamaları alınmış ve Tablo 6.5.'de sunulmuştur.

Tablo 6.5. Üç Uzmanla göre Kriter Ağırlıkları

	Uzman1	Uzman2	Uzman3	Ortalama	Kriterler
X11	0,108201	0,11708	0,14775	0,12434	Siber Fiziksel Sistemler
X12	0,097417	0,10732	0,11822	0,10765	Eklemeli Üretim
X13	0,086561	0,09756	0,10344	0,09585	Siber Güvenlik
X14	0,054101	0,06828	0,04431	0,05556	Büyük Veri ve Bulut Tekn.
X15	0,01082	0,00976	0,01478	0,01179	Sim'n ve Art.Gerçeklik
X21	0,08574	0,1071	0,09022	0,09435	Hızlı Yanıt Verme
X22	0,07145	0,0833	0,0752	0,07665	Ürün Çeşitliliği
X23	0,05716	0,0714	0,06014	0,0629	Ürün Dayanıklılığı
X24	0,05716	0,0595	0,04511	0,05392	Lojistik Kolaylık
X25	0,01429	0,0118	0,01503	0,01371	Ürün Oper'nel Uyumluluğu
X31	0,14285	0,11112	0,07145	0,10847	Bilgi Paylaşımı
X32	0,071425	0,06666	0,04763	0,0619	End.4.0 Araçl.na Yetkinlik
X33	0,035725	0,02222	0,02382	0,02726	ARGE Kültürü ve Mot.
X41	0,045903	0,03032	0,05716	0,04446	Teknolojiye Yatırım
X42	0,030598	0,0182	0,04287	0,03055	İns-Mak Mak-Mak Etkileşimi
X43	0,022952	0,01213	0,02858	0,02122	Akıllı Operasyon Süreçleri
X44	0,007647	0,00606	0,01429	0,00933	Çalışma Grupl.nın End4.0'a

Nihai değerlendirmeyi yapabilmek amacıyla kriterler, ortalama ağırlıklarına göre büyükten küçüğe (önem derecelerine göre) sıralanmıştır (Tablo 6.6.).

Bu sonuçlara göre çalışmaya katılan üç uzmanın görüşleri dikkate alınarak yapılan analiz sonucunda; bir savunma sanayisi firmasının Endüstri 4.0 olgunluk durumunda en önemli üç kriter “Siber Fiziksel Sistemler”, “Bilgi Paylaşımı” ve “Eklemeli Üretim” şeklinde hesaplanmıştır. En alt sıralar ise “Ürünlerin Operasyonel Uyumluluğu”, “Simülasyon ve Artılmış Gerçeklik” ile “Çalışma Gruplarının Endüstri 4.0 'a uygun oluşturulması” şeklinde gerçekleşmiştir.

Tablo 6.6. Kriterlerin Ağırlıklarına göre Sıralanması

	Ortalama	Kriterler
X11	0,124343	Siber Fiziksel Sistemler
X31	0,108473	Bilgi Paylaşımı
X12	0,107653	Eklemeli Üretim
X13	0,095854	Siber Güvenlik
X21	0,094355	Hızlı Yanıt Verme
X22	0,076649	Ürün Çeşitliliği
X23	0,0629	Ürün Dayanıklılığı
X32	0,061905	End.4.0 Araçl.na Yetkinlik
X14	0,055563	Büyük Veri ve Bulut Tekn.
X24	0,053924	Lojistik Kolaylık
X41	0,044459	Teknolojiye Yatırım
X42	0,030555	İns-Mak Mak-Mak Etkileşimi
X33	0,027255	ARGE Kültürü ve Mot.
X43	0,021219	Akıllı Operasyon Süreçleri
X25	0,013706	Ürün Oper'nel Uyumluluğu
X15	0,011788	Sim'n ve Art.Gerçeklik
X44	0,009333	Çalışma Grupl.nın End4.0'a göre oluşturulması

Bir savunma sanayisi firmasının Endüstri 4.0 olgunluk analizini yapabilmek için Ek-A'daki anketin cevaplanması ve çıkan cevapların Tablo 6.6.'daki kriter ağırlıkları çerçevesinde değerlendirilmesi gerekmektedir.

6.3. TOPSIS Yöntemi ile Endüstri 4.0 Olgunluk Değerinin Hesaplanması

TOPSIS yöntemine uygun olarak hesaplanmaların yapılabilmesi için Microsoft Excel programı kullanılmıştır.

Öncelikle, savunma sanayiinde faaliyet gösteren 5 firma bir uzman tarafından, 17 soruluk ankete göre Ek-3'te sunulmuş olan Endüstri 4.0 'a uyumlu ideal fabrika modeline göre değerlendirilmiş ve alınan cevaplara göre karar matrisi oluşturulmuştur (Tablo 6.7.). Bir önceki adımda M-MACHBETH programı ile hesaplanmış olan Kriterlere ait ağırlıklar matrise eklenmiştir.

Tablo 6.7. Karar Matrisi

	Firma 1	Firma 2	Firma 3	Firma 4	Firma 5	Ağırlık
Siber Fiziksel Sistemler	1	1	2	2	3	0,1243
Eklemeli Üretim	2	2	2	3	3	0,1077
Siber Güvenlik	3	3	4	3	4	0,0959
Büyük Veri ve Bulut Tekn.	2	3	2	3	3	0,0556
Simülasyon ve Arttırılmış Gerçeklik	3	3	2	3	4	0,0118
Hızlı Yanıt Verme	4	4	2	3	4	0,0944
Ürün Çeşitliliği	3	3	2	1	4	0,0767
Ürün Dayanıklılığı	4	3	4	3	3	0,0629
Lojistik Kolaylık	3	4	4	2	4	0,0539
Op'nel Uyumluluk	4	3	3	4	4	0,0137
Bilgi Paylaşımı	3	3	3	2	2	0,1085
End 4.0 Araçlarına Yetkinlik	2	2	3	3	3	0,0619
ARGE Kültürü	3	4	3	3	4	0,0273
Teknolojiye Yatırım	3	3	4	3	4	0,0445
İns-Mak. Mak-Mak Etkileşimi	3	3	2	1	3	0,0306
Akıllı Op'n	3	3	4	3	4	0,0212
Çalışma Grupları	3	3	4	4	2	0,0093

2. Adımda, anketten alınan her bir kritere ait tüm firmalardan alınan değerlerin karelerinin toplamı ile firmanın o kritere ait değerlendirmesi kullanılarak normalize edilmiş değerler bulunur. Bunun için xij hücresindeki her bir değer, aynı satırdaki

değerlerin karelerin toplamının kareköküne bölünür ve bu şekilde normalize edilir; Aynı işlem tüm kriterler için yapılarak normalize edilmiş değerlere ait matris oluşturulur. Örnek olarak X11 kriteri için aşağıda hesaplama verilmiştir.

$$\overline{X}_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n X_{ij}^2}} \quad (6.1)$$

$$X11 = \frac{x_{11}}{\sqrt{x_{11}^2 + x_{12}^2 + \dots + x_{15}^2}} = \frac{1}{\sqrt{1^2 + 1^2 + 2^2 + 2^2 + 3^2}} = 0,229$$

Tüm firmalara ait kriterlerin hesaplamaları benzer şekilde yapılmış ve aşağıda tabloda (Tablo 6.8.) sunulmuştur.

Tablo 6.8. Normalize Karar Matrisi

	Firma 1	Firma 2	Firma 3	Firma 4	Firma 5
Siber Fiziksel Sistemler	0,229416	0,229416	0,458831	0,458831	0,688247
Eklmeli Üretim	0,365148	0,365148	0,365148	0,547723	0,547723
Siber Güvenlik	0,390567	0,390567	0,520756	0,390567	0,520756
Büyük Veri ve Bulut Tekn.	0,338062	0,507093	0,338062	0,507093	0,507093
Simülasyon ve Arttırılmış Gerçeklik	0,437595	0,437595	0,29173	0,437595	0,58346
Hızlı Yanıt Verme	0,512148	0,512148	0,256074	0,384111	0,512148
Ürün Çeşitliliği	0,480384	0,480384	0,320256	0,160128	0,640513
Ürün Dayanıklılığı	0,520756	0,390567	0,520756	0,390567	0,390567
Lojistik Kolaylık	0,384111	0,512148	0,512148	0,256074	0,512148
Op'nel Uyumluluk	0,492366	0,369274	0,369274	0,492366	0,492366
Bilgi Paylaşımı	0,507093	0,507093	0,507093	0,338062	0,338062
Endüstri 4.0 Araçlarına Yetkinlik	0,338062	0,338062	0,507093	0,507093	0,507093
ARGE Kültürü	0,390567	0,520756	0,390567	0,390567	0,520756
Teknolojiye Yatırım	0,390567	0,390567	0,520756	0,390567	0,520756
İns-Mak. Mak-Mak Etkileşimi	0,53033	0,53033	0,353553	0,176777	0,53033
Akıllı Op'n	0,390567	0,390567	0,520756	0,390567	0,520756
Çalışma Grupları	0,408248	0,408248	0,544331	0,544331	0,272166

3. Adımda, M-MACHBETH programı kullanılarak bulunmuş olan kriter ağırlıkları normalize değerler ile çarpılarak ağırlıklandırılmış değerlere ulaşılmıştır (Tablo 6.9.);

Tablo 6.9. Ağırlıklandırılmış Değerler

	Firma 1	Firma 2	Firma 3	Firma 4	Firma 5
Siber Fiziksel Sistemler	0,028526	0,028526	0,057051	0,057051	0,085577
Eklemeli Üretim	0,039308	0,039308	0,039308	0,058962	0,058962
Siber Güvenlik	0,037436	0,037436	0,049914	0,037436	0,049914
Büyük Veri ve Bulut Tekn.	0,018783	0,028174	0,018783	0,028174	0,028174
Simülasyon ve Arttırılmış Gerçeklik	0,005159	0,005159	0,003439	0,005159	0,006879
Hızlı Yanıt Verme	0,048321	0,048321	0,024161	0,036241	0,048321
Ürün Çeşitliliği	0,036821	0,036821	0,024548	0,012274	0,049095
Ürün Dayanıklılığı	0,032756	0,024567	0,032756	0,024567	0,024567
Lojistik Kolaylık	0,020711	0,027615	0,027615	0,013807	0,027615
Op'nel Uyumluluk	0,00675	0,005063	0,005063	0,00675	0,00675
Bilgi Paylaşımı	0,055004	0,055004	0,055004	0,03667	0,03667
Endüstri 4.0 Araçlarına Yetkinlik	0,020926	0,020926	0,031389	0,031389	0,031389
ARGE Kültürü	0,010647	0,014196	0,010647	0,010647	0,014196
Teknolojiye Yatırım	0,017365	0,017365	0,023153	0,017365	0,023153
İns-Mak. Mak-Mak Etkileşimi	0,016202	0,016202	0,010801	0,005401	0,016202
Akıllı Op'n	0,008288	0,008288	0,01105	0,008288	0,01105
Çalışma Grupları	0,003809	0,003809	0,005079	0,005079	0,002539

4. Adımda, her bir kriter için azami ve asgari değerlere göre pozitif ve negatif çözüm değerleri bulunmuştur (Tablo 6.10.).

Tablo 6.10. Çözüm Değerleri

Kriterler	V+	V-
Siber Fiziksel Sistemler	0,028526	0,085577
Eklemeli Üretim	0,039308	0,058962
Siber Güvenlik	0,037436	0,049914
Büyük Veri ve Bulut Teknolojisi	0,018783	0,028174
Simülasyon ve Arttırılmış Gerçeklik	0,003439	0,006879
Hızlı Yanıt Verme	0,024161	0,048321
Ürün Çeşitliliği	0,012274	0,049095
Ürün Dayanıklılığı	0,024567	0,032756
Lojistik Kolaylık	0,013807	0,027615
Op'nel Uyumluluk	0,005063	0,00675
Bilgi Paylaşımı	0,03667	0,055004
Endüstri 4.0 Araçlarına Yetkinlik	0,020926	0,031389
ARGE Kültürü	0,010647	0,014196
Teknolojiye Yatırım	0,017365	0,023153
İns-Mak. Mak-Mak Etkileşimi	0,005401	0,016202
Akıllı Op'n	0,008288	0,01105
Çalışma Grupları	0,002539	0,005079

5. Adımda, aşağıdaki formüller ile hesaplanan öklidyen uzaklık kullanılarak pozitif ve negatif ideal noktalara uzaklığın hesaplanmasında pozitif ideal değere en yakın değer (Si+) ile negatif ideal değere en uzak değer (Si-) tespit edilmiştir.

$$S_i^+ = \left[\sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_j^+)^2 \right]^{0.5} \quad (6.2)$$

$$S_i^- = [\sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_j^-)^2]^{0.5} \quad (6.3)$$

Tüm firmalar için tüm kriterlere göre ideal ve ideal olmayan değerlere uzaklıkları aşağıdadır (Tablo 6.11.);

Tablo 6.11. İdeal ve İdeal Olmayan Değerlere Uzaklıklar

	Si+	Si-
Firma 1	0,042	0,0652
Firma 2	0,044	0,0646
Firma 3	0,0436	0,0503
Firma 4	0,0394	0,0569
Firma 5	0,0794	0,0202

6. Adımda, ideal ve ideal olmayan değerlere olan uzaklıklardan istifade edilerek ideal çözüme nispi mesafeler belirlenmiştir. İdeal çözüme nispi mesafeler (Pi) her bir firma için hesaplanmıştır (Tablo 6.12.);

$$P_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (6.4)$$

Tablo 6.12. İdeal Çözüme Nispi Mesafeler

	Si+	Si-	Pi	Rank
Firma 1	0,042	0,0652	0,6084	5
Firma 2	0,044	0,0646	0,5949	4
Firma 3	0,0436	0,0503	0,5358	2
Firma 4	0,0394	0,0569	0,5906	3
Firma 5	0,0794	0,0202	0,2031	1

Nihai sonuca ulaşmak için ideal çözüme olan nispi mesafeler göz önünde bulundurulmuştur. Firma 5 ideal çözüme en yakın değer olan 0.2031 ile Endüstri 4.0 uygunluk konusunda yetkinliğinin en fazla olduğu görülmektedir.

BÖLÜM 7. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

7.1. Sonuç ve Tartışma

Literatür taraması ve uzmanların görüşleri doğrultusunda belirlenmiş olan Savunma Sanayi Endüstri 4.0 Olgunluk kriterlerinin ağırlıklandırılması MACBETH yöntemi çerçevesinde yapılmıştır.

Öncelikle ana kriterlerin sıralaması şu şekildedir;

- Teknolojinin Kullanımı (Akıllı Fabrika),
- Ürün Geliştirme,
- İnsan ve ARGE Kültürü,
- Strateji ve Yönetim.

Bu sonuçlara göre savunma sanayisinde faaliyet gösteren bir firmanın sahip olduğu Endüstri 4.0 olgunluk düzeyini etkileyen en önemli ana kriter, firmanın sahip olduğu ve kullandığı teknolojidir. Bu ana kriterin alt kriterleri akıllı fabrikayı oluşturan veya tanımlayan teknolojilerdir.

Bu sonuç Savunma Sanayii konusunda çalışmış olan Bibby ve Dehe (2018)'nin çalışması ile kısmen benzerlik gösterirken Ataman (2018)'in sonucu ile çelişmektedir. Savunma sanayii için en önemli ana kriterin strateji parametresi olduğu sonucuna ulaşmış olan Ataman (2018)'a göre “Ürün ve Teknoloji” ikinci sıradadır. Ancak asıl ilginç olan çalışmamızda “Strateji ve Yönetim” ana kriterinin en düşük önemde değerlendirilmiş olmasıdır. Bibby ve Dehe (2018)'nin yaptığı kriter ağırlıklandırmasına göre; “Geleceğin Fabrikası” ana kriteri diğer ana kriterlerin toplam ağırlıklarının iki katıdır. Bibby ve Dehe (2018) için en önemli ana kriter olarak

gördüğü “Geleceğin Fabrikası”nın alt kriterleri, çalışmamızda en önemli kriter olarak tespit edilmiş olan “Teknolojinin Kullanımı”nın alt kriterleri ile büyük benzerlik içindedir.

Bibby ve Dehe (2018)’nin çalışması ile bu çalışmanın en önemli farklarından birisi, bu çalışmada ağırlık notuna göre 4. Sırada listede olan “Siber Güvenlik” kriterinin Bibby ve Dehe (2008)’nin çalışmasında yer almamasıdır. Ataman (2018)’ın yaptığı listede ise “Siber Güvenlik”, önem sıralamasında 12. Sırada yer almıştır. Benzer şekilde bu çalışmada yer alan 6. Sıradaki “Ürün Çeşitliliği” ve 7. Sıradaki “Ürün Dayanıklılığı” kriterleri hem Bibby ve Dehe (2008)’nin çalışmasında hem de Ataman (2018)’ın çalışmasında yer almamıştır. Çok değişik görevleri, farklı ve zorlu tehdit ortamlarda yerine getirmek zorunda olan silahlı kuvvetler için bu iki kriterin önemli olduğu değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada ilk üç sırada yer alan “Siber Fiziksel Sistemler”, “Takım Çalışmasına ve Bilgi Paylaşımına Yatkınlık” ve “Eklemeli Üretim” Savunma Sanayiinde Endüstri 4.0 Olgunluk Seviyesini belirlemeye çalışmış diğer iki çalışmada da benzer şekilde üst sıralarda yer almıştır. Bibby ve Dehe (2018)’nin çalışmasında “Siber Fiziksel Sistemler” alt kriteri yerine “Sensörler” ve “Otonom Robotlar” olarak iki ayrı kriter toplam ağırlıkları ile birinci sırada, Bilgi Paylaşımı 7. Sırada, Eklemeli Üretim ise 5. Sırada yer almıştır. Ataman (2018)’ın listesinde ise “Siber Fiziksel Sistemler” ve “Eklemeli Üretim” kriterleri “Endüstri 4.0 araçlarının kullanım yoğunluğu” kriterinin içinde ikinci sırada, Bilgi Paylaşımı ise sonuncu sırada bulunmaktadır.

Savunma sanayii konusunda yapılmış olan bu üç çalışmada farklı sonuçlara ulaşılmış olmasının izlenen metotlardan ziyade çalışmada yer alan uzmanlardan kaynaklanabileceği değerlendirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan metot ile uzman sayısının artırılması halinde daha farklı bir sonuca ulaşılabilceği düşünülmektedir. Bununla birlikte bu çalışma ile; kullanımı kolay MMACBETH programı ile mantıklı ve gerçek hayatta kullanılabilecek bir sonuca ulaşılabilceği gösterilmiştir.

Bu çalışmada çıkan sonuçlar, literatür taramasında ulaşılan savunma sanayi ürünlerinin ve Endüstri 4.0 ın özellikleri çerçevesinde değerlendirilecek olursa ana kriter sıralamasının yerinde olduğu düşünülmektedir. Endüstri 4.0 için en önemli bileşen olarak pekçok çalışmada teknolojinin kullanımı (akıllı fabrikalar) gösterilmektedir. Bu çalışmada da benzer bir sonuca ulaşılmıştır. Çalışmada ana kriterler içinde ikinci derecede önemli olduğu tespit edilmiş olan “Ürün Geliştirme”, Savunma sanayi ürünlerinin sahip olması gereken özellikler açısından önemlidir ve nitekim bu çalışma sonucunda da önemli olduğu teyit edilmiştir.

Alt kriterlerin sıralamasına bakılacak olursa; birinci sırada bulunan “Siber Fiziksel Sistemler” ile üçüncü sıradaki “Eklemeli Üretim” akıllı fabrikaların en önemli bileşenlerindendir. Söz konusu sistemler, Savunma sanayii ürünlerinin sahip olması istenen yüksek teknoloji açısından da son derece hayati öneme sahiptirler.

İkinci sıradaki “Takım çalışması ve bilgi paylaşımına yatkınlık” kapsam itibarıyla diğer sektörlere göre genellikle daha geniş bir yelpazedeki firma veya insanların katılımına ve bilgi paylaşımına ihtiyaç duyan savunma sanayisi projeleri için önem taşımaktadır. Bu nedenle çalışanlar arasında takım ruhunun oluşturulması, iş bölümü, bilgi paylaşımı ve iletişim önemlidir. Dinamik bir bilgi paylaşım sistemi ve ortamına sahip olunması, Endüstri 4.0 araçlarının verimini yükseltmeye de katkı sağlayacaktır.

Endüstri 4.0 ın en önemli özelliklerinden olan otomatik bilgi paylaşımı, donanım ve yazılım bileşenlerinin verimli ve etkin ilişkilendirilmesini gerektirir. Veri paylaşımını azamiye çıkarmak adına pekçok tedbir alınmakla beraber savunma sanayi ürünlerinin sahip olması gereken özelliklerden biri olan gizliliğin sağlanması açısından siber güvenlik de önem kazanmaktadır. Akıllı fabrikanın bütününi oluşturan unsurların kendi aralarında bilgi paylaşımı, birçok protokolü ve standartı içermektedir. Anılan protokoller ve standartlar iç ve dış siber güvenliği desteklemekle beraber yeterli olmayabilir. Protokol ve standartların yanısıra üretimde kullanılan akıllı fabrika bileşenleri de, bilgi sızmasına veya çalınmasına karşı yeterli teknolojiye sahip olmalıdır. Çalışma sonucunda siber güvenlik alt kriterinin dördüncü sıradan listeye girmesi de bu değerlendirmeleri desteklemektedir.

Savunma sanayi ürünleri bir tehdide karşı kullanılan, söz konusu tehdidin de benzer ürünlere sahip olduğu düşünülen bir ortamda karşı tarafa üstünlük sağlaması beklenen ürünlerdir. Diğer sanayi dalları ile karşılaştırıldığında “Hızlı Yanıt Verme”, “Ürün Çeşitliliği” ve “Ürün Dayanıklılığı” alt kriterleri daha fazla önem kazanmaktadır.

Tüm bu kriterler göz önünde bulundurularak TOPSİS yöntemi kullanılarak bir olgunluk modeli geliştirilmiş ve bu model dahilinde bir uzman tarafından 5 firma değerlendirilmiştir. Değerlendirmede 17 kriter, MACBETH yöntemi ile elde edilmiş olan kriter ağırlıklarına uygun olarak kullanılmış ve 5 Numaralı en iyi firma seçilirken, onu 3 Numaralı firma takip etmiştir. Üç, dört ve sonuncu olan beşinci sırada ise sırasıyla 4 Numaralı Firma, 2 Numaralı Firma ve 1 Numaralı Firma yer almıştır.

7.2. Öneriler

Savunma sanayinde faaliyet gösteren firmalar Endüstri 4.0 a uyum anlamında yeni yol haritası ve hedef belirlerken hassas davranmalıdır. Bu çalışmada da ortaya konmuş olan kriterler Endüstri 4.0 'a geçiş ve verimi artırma amacıyla kullanılmalıdır.

Savunma sanayi firmalarının Endüstri 4.0 'a geçişte en iyi uygulamaları ve bilgileri kilit ortaklarıyla paylaşmaları ve bu çalışmanın sonuçlarını kullanmaları önerilir, böylece uzun vadeli ve kapsamlı bir yol haritası uygulanabilir.

Çalışmanın kilit sınırlamalarının farkında olunmalı ve buna göre kararlar alınmalıdır. Birinci sınırlama, kriterlerin değerlendirmelerini yapmış olan uzman sayısı oldukça düşüktür, bu nedenle gerekli kavram anlayışından sonra değerlendirmeye katılan uzman sayısı artırılmalıdır. Ancak, savunma firmalarına erişim zor olabilir ve bu çalışmanın, Endüstri 4.0 açısından savunma sektörü düzeyinin ve uygulamalarının daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunduğuna inanıyoruz. İkincisi, olgunluk çerçevesini oluşturan ampirik olarak geliştirilmiş ölçüm öğeleri daha da geliştirilebilir ve doğrulanabilir. Bu yönde bir geliştirme, karar vericilerin sonuçlara daha fazla güvenmesini sağlayacaktır. Son olarak, çerçevenin mevcut tasarımının, tek bir teknolojik özellikte (3D-Baskı gibi) çok iyi performans gösteren bir kuruluşu

destekleyebileceğini, tutarlı ve dengeli bir firmanın aksine, genel olgunluk seviyesini önemli ölçüde artırabilir. Siber fiziksel sistemler, makine öğrenimi, sanal ve artırılmış gerçeklik gibi kavramlar Endüstri 4.0 çerçevesi içinde tek başına tam olarak ele alınmadığı için kavramsal çerçevenin tasarımında boşluklar olabileceği kabul edilmektedir.

Gelecekteki araştırma alanları, değerlendirme aracının doğruluğunu geliştirmeye ve bunun yanı sıra savunma sanayii içinde yer almakla birlikte farklı özellikler gösteren havacılık, mühimmat-silah geliştirme, muhabere (haberleşme), istihkam (patlayıcı, mayınlar, vb) gibi farklı özelliklere sahip sektörlerle genellemesini test etmeye odaklanmalıdır. Değerlendirme modelinin doğruluğunu artırmak için, katılımcı uzmanların sayısının artırılması model çıktılarının güvenilirliğini artıracaktır.

KAYNAKLAR

- Akalın, G. 2016. Kamu Ekonomisi, Ankara Orion Kitabevi, 1-28.
- Akdil, K.Y. Ustundag, A. Cevikcan, E. 2018. Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy. Industry 4.0: Managing The Digital Transformation, 54, 61-94.
- Akgül, A. 1986. Savunma Sanayi İşletmelerinin Yapısı ve Türk Savunma Sanayi, Ankara Başbakanlık Basımevi.
- Aksoy, S. 2017. Değişen Teknolojiler ve Endüstri 4.0 : Endüstri 4.0 'ı Anlamaya Dair Bir Giriş. Teknoloji, 34-38.
- Albayrak, F. 2015. Savunma sanayiinde millileştirme ve Ar-Ge çalışmalarının değerlendirilmesi. Gazi Üniversitesi, İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Alçın, S. 2016. Üretim İçin Yeni Bir İzlek: Sanayi 4.0. Dergi Park, Cilt: 3, Sayı: 2, s.19-30.
- Amadeo, Kimberly, Vertical Integration, Its Pros and Cons with Examples, <https://www.thebalance.com/what-is-vertical-integration-3305807> Erişim Tarihi: 08.08.2019.
- Amina, B. 2016, Blockchain For Securing Sustainable Transport Contracts And Supply Chain Transparency. Helsingborg Books, 5-58.
- Ansal, H., Çetindamar, D. ve Baktır, E. 2006. Savunma Sanayinde Çift Amaçlı Teknoloji Kullanımı, Savunma Teknolojileri Kongresi Kitabı.
- Ataman. 2018 Savunma Sanayinde Endüstri 4.0 Olgunluk Parametrelerinin Tereddütlü Bulanık AHP Yöntemi ile Önceliklendirilmesi. Bahçeşehir Üniversitesi İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Baaziz, A. ve Quoniam, L. 2018. How to Use Big Data Technologies to Optimize Operations in Upstream Petroleum Industry, International Journal of Innovation, Sao Paulo, Cilt: 6, Sayı: 2, s. 20-21.
- Baheti, R. Gill, H. 2011. Cyber-physical systems. Journal of The Impact of Control Technology, 12: 161-166.

- Bakan, İ. ve Şekkeli, Z. H. 2018, 'Endüstri 4.0 'ın Etkisiyle Lojistik 4.0, Journal of Life Economics, 5(2), 17-36.
- Bakırcı, F.S, Bayrak, R. ve Önal, S. 2016. Toplam Faktör Verimliliği Savunma Sanayi Örneği, <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/315510>, S:4, Erişim tarihi: 10.04.2019.
- Baran, T. 2018. Türkiye’de Savunma Sanayi Sektörünün İncelenmesi ve Savunma Sanayi Sektörü Harcamalarının Ekonomi Üzerindeki Etkilerinin Değerlendirilmesi. Uluslararası İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, (4), (2), 58-81.
- Barreto, L. Amaral, A. Pereira, T. 2017. Industry 4.0 Implications in Logistics: An Overview. Procedia Manufacturing, 13, 1245-1252.
- Bassi, L. 2017. Industry 4.0: hope, hype or revolution? 2017 IEEE 3rd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry (RTSI), IEEE, pp. 1-6.
- Ben-Asher, N. and Gonzalez, C. 2015, Effects of cyber security knowledge on attack detection. Journal of Computers in Human Behavior, Vol. 48 No. 1, pp. 51-61.
- Bibby, L. ve Dehe, B. 2018. Defining and assessing industry 4.0 maturity levels – case of the defence sector. Production Planning & Control. Business School, University of Huddersfield, Queensgate, Huddersfield, HD1 3DH, United Kingdom <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1503355>. Erişim Tarihi: 01.10.2019.
- Canbay, Ş. 2010. Savunma harcamalarının ve savunma sanayiinin makroekonomik etkileri ve Türkiye örneği. Sakarya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Enstitü Anabilim Dalı, İktisat Enstitü Bilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi.
- Çilingir, S. 1989. Savunma Sanayi, 1989 Sanayi Kongresi-Tartışmalar Kitabı, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, MMO Yayın No: 134/11.
- Davutoğlu, N.A. Akgül, B. Yıldız, E. 2017. İşletme Yönetiminde sanayi 4.0 Kavramı ile Farkındalık Oluşturarak Etkin Bir Şekilde Değişimi Sağlamak. ASOS JOURNAL- Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi, s.52.
- Doğan, K. ve Arslantekin, S. Büyük Veri: Önemi, Yapısı ve Günümüzdeki Durum. DTCTF Dergisi, 2016, 15-36, s. 16-17.
- Ercan, E. Kundakcı, N. 2017. Bir Tekstil İşletmesi İçin Desen Programı Seçiminde ARAS ve OCRA Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Afyon Kocatepe Üniv Sosyal Bilimler Dergisi, Cilt:19, Sayı:1, s.83-105.
- Ercan, T. ve Kutay, M. 2016. Endüstride Nesnelerin İnterneti (IoT) Uygulamaları. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, AKÜ FEMÜBİD 16 (2016) 035102 (599-607).

- Eren, H. ve Kılıç, A. 2013. Örgütlerde Yenilikçilik Ortamı ve Özel Bir Sektör Olarak Savunma Sanayinde Durum, S:3, <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/30469>, Erişim Tarihi: 19.04.2019.
- Ersöz, H. 2007. Endüstriyel Robotlar ve Uygulama Alanları, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Evan, T. 2019. What are some examples of horizontal integration?, <https://www.investopedia.com/ask/answers/051315/what-are-some-examples-horizontal-integration.asp>. Erişim Tarihi: 04.08.2019.
- Fırat, Oktay Zihni ve Fırat, Seniye Ümit, 2017. Endüstri 4.0 Yolculuğunda Trendler ve Robotlar. İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi, Cilt:46, 211-223, s.219-220.
- Francisco Almada-Lobo, 2013. The Industry 4.0 Revolution and the Future of Manufacturing Execution Systems (MES), Journal of Innovation Management, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, s. 16-21.
- Ganzarain, J. and Errasti, N. 2016. Three Stage Maturity Model in SME's towards Industry 4.0. Journal of Industrial Engineering and Management. 9(5), pp.1119 – 1128.
- Geissbauer, R. Vedso, J. ve Schrauf, S. 2019. Industry 4.0: Building the Digital Enterprise, PWC, www.pwc.com/industry40, Erişim tarihi: 25 Şubat 2019.
- Goodson, R. 2002. Read a Plant- Fast. Harvard Business Review 1 (1): 1–11.
- Gökalp, Ebru ve Sener, Umut. 2017, Development of an Assessment Model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM, International Conference on Software Process Improvement and Capability Determination, 770, 128-142.
- Gubán, M. and Kovács, G. 2017. Industry 4.0 Conception. Acta Technica Corviniensis-Bulletin of Engineering, 10(1): 111.
- Hackius, N. and Petersen, M. 2017. Blockchain in logistics and supply chain: trick or treat?. In: Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL). epublications p. 3-18.
- Hofmann E. and Rüsch, M. 2017. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics, Computers in Industry, vol. 89, pp. 23-34.
- Hwang, C.L. and Yoon, K. 1981. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. Springer-Verlag, New York.
- IMPULS. 2006. IMPULS-Industry 4.0 Readiness Model. VDMA, RWTH Aachen. <https://www.industrie40-readiness.de/?lang=en> Erişim Tarihi: 12.05.2020.
- İçten, T. ve Bal.G., 2017. Artırılmış Gerçeklik Teknolojisi Üzerine Yapılan Akademik Çalışmaların İçerik Analizi. Bilişim Teknolojileri Dergisi, 10(4), 401-415.

- Jazdi, N. 2014. Cyber physical systems in the context of Industry 4.0. In Automation, Quality and Testing, Robotics, 2014 IEEE International Conference on (pp. 1-4). IEEE.
- KAGERMANN, H. HELBIG, W.D. and WAHLSTER, W. 2015. Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. VDI nachrichten, 13: 11.
- Klaus, S. 2017. Dördüncü Sanayi Devrimi, Çev. Zülfü Dicleli, Optimist Yayınları, İstanbul, s. 11-12.
- Kökhan, S. ve Özcan, U. 2018. 3D Yazıcıların Eğitimde Kullanılması, Bilim, Eğitim, Sanat ve Teknoloji Dergisi, Cilt: 2, Sayı: 1, 81-85 s.82.
- Köroğlu, O. 2015. Nesnelerin İnterneti, algılayıcı ağları ve medya. Akademik Bilişim Konferansı. Eskişehir, <http://ab.org.tr/abl5/bildiri/113.doc> Erişim Tarihi 08.03.2019.
- Lanza, G. Liebrecht, C., B'urgin, J. Benterbusch, J. and Kiefer, C. 2016. Shopfloor-getriebene Einführung von Industrie 4.0. wt Werkstattstechnik online; 106(7/8):539–543.
- Lee, J., Kao, H.-A., & Yang, S. 2014. Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment. Procedia Cirp, 16, 3-8.
- Lee, J., Lapira E., Bagheri B., & Kao H. 2015. Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment. A cyber- physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems, Manufacturing Letters, 3, 18-23.
- Leyh, C., Bley, K., Schäffer, T., & Forstnhäusler, S. 2016. SIMMI 4.0-a maturity model for classifying the enterprise-wide it and software landscape focusing on Industry 4.0. Computer Science and Information Systems (FedCSIS), 2016 Federated Conference (pp. 1297-1302). IEEE.
- Lichtblau, K. Stich, V. Bertenrath, R. Blum, M. Bleider, M. Millack, A. Schmitt, K. Schmitz, E. and Schröter, M. 2015. Industrie 4.0-readiness, IMPULS-Stiftung, Cologne.
- Liu, Yongkui ve Xu, Xun. 2017. Industry 4.0 and Cloud Manufacturing: A Comparative Analysis. Contributed by the Manufacturing Engineering Division of ASME for publication in the journal of manufacturing science and engineering. 16, 5-28.
- Lorig, F. ve Timm, I.J. 2015. Logistics 4.0-A Challenge for Simulation. In: Winter Simulation Conference (WSC). IEEE. p. 3118-3119.
- Menon, K., Kärkkäinen, H. and Lasrado, L.A. 2016. Towards a maturity modeling approach for the implementation of industrial internet. Pacific Asia Conference on Information Systems (PACIS), p. 38.

- Meyer, G.G., Främling, K. and Holmström, J. 2009. Intelligent products: a survey, *Computers in Industry*, Vol. 60 No. 3, pp. 137-148.
- Monostori, L. 2014. Cyber-physical production systems: roots, expectations and R&D challenges. *Procedia CIRP*, Vol. 17 No. 1, pp. 9-13.
- Monostori, L. Kádár, B. Bauernhansl, T. Kondoh, S. Kumara, S. and Reinhart, G. 2016. Cyber-physical systems in manufacturing. *CIRP Annals*, 65(2), 621-641.
- Nováková, D. 2017. Industry 4.0 As An Example Of A Top-Down Vs. Horizontal Europeanization, Institute of International Studies, Charles University, Prag, s. 18-19. Yüksek Lisans Tezi.
- Okutan, O. 2006. Yapay Zekâ ile Mobil Robot Kontrolü. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Pfohl, H.C. Yahsi, B. Kurnaz, T. 2015. The Impact Of Industry 4.0. On The Supply Chain in W. Kersten, T. Blecker, 31-59.
- Prinz, C. Morlock, F. Freith, S. Kreggenfeld, N. Kreimeier, D. and Kuhlenkötter, B. 2016. Learning factory modules for smart factories in industrie 4.0. *Procedia CIRP*, 54, 113-118.
- PWC. 2016. PWC Industry 4.0: Building The Digital Enterprise. 2016 Global Industry 4.0 Survey. <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>. Erişim Tarihi: 11.05.2020.
- Rajnai, Zoltán ve Kocsis, István. 2018. “Assessing Industry 4.0 Readiness of Enterprises”, 16th World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI), IEEE, 225-230.
- Rao, R. V. 2013. Decision Making in Manufacturing Environment Using Graph Theory and Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods. London, Springer-Verlag.
- Raste, K.S. 2014. Big Data Analytics – Hadoop Performance Analysis, Bilgisayar Bilimleri Enstitüsü, San Diego State Üniversitesi, San Diego, 2014, s. 3. (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi).
- Santos, C. Mehraei, A. Barros, A. C. Araujo, M. and Ares, E. 2017. Towards Industry 4.0: An Overview of European Strategic Roadmaps. *Procedia Manufacturing*, 13, 972-979.
- SAP & Capgemini. 2016. <https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2017/07/empowering-discrete-manufacturers-for-the-digital-age.pdf> Erişim Tarihi: 01.05.2020.
- Sayer, S. ve Ülker, A. 2014. Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi. *Engineer & the Machinery Magazine*, 657.

- Schmidt, R. Möhring, M. Härting, R. C. Reichstein, C. Neumaier, P. and Jozinović, P. 2015. Industry 4.0-Potentials for Creating Smart Products: Empirical Research Results. In International Conference on Business Information Systems 2015, June. (pp. 16-27). Springer, Cham.
- Schumacher, A. Erol, S. and Sihn, W. 2016. A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises; *Procedia CIRP* 52 (2016) 161 – 166.
- Serdar, D. 2019. İşletmelerin Sanayi 4.0 Olgunluk Düzeylerinin Belirlenmesine Yönelik Çok Kriterli Bir Yaklaşım: Lojistik Sektörü Uygulaması. Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi.
- Solms, R. and VAN NIEKERK, J. 2013. From information security to cyber security. *Computers & security*, 38: 97-102.
- Storey, V. C. and Song, I. Y. 2017. Big data technologies and Management: What conceptual modeling can do. *Data and Knowledge Engineering*, 108(February), 50–67. <https://doi.org/10.1016/j.datak>. Erişim Tarihi.01.04.2020.
- Şahin, K. ve Turan, O. 2018, Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojilerinin Karşılaştırılmalı Analizi, *Stratejik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, Cilt: 2, Sayı:2, 97-116, s.99.
- Şimşek, M. 1989. Üçüncü Dünya Ülkelerinde ve Türkiye’de Savunma Sanayi, Ankara SAGEB Yayınları.
- Timm, I.J. ve Lorig, F. 2015. Logistics 4.0-A Challenge for Simulation. In: Winter Simulation Conference (WSC). IEEE, p. 3118-3119.
- Ülker, B. 2014, Bulanık Ortamda Çoklu Kriter Karar Verme Metodu: İnsansız Su Altı Aracı (Rov) Alternatif Tasarımlarından En Uygun Olanını Seçme Algoritması ve Bir Karar Verme Yardımcı Aracı Geliştirme, Gebze Yüksek Tekn. Enst., Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Ürgün, Z. Duru, M. ve Nafiz, B. 2014. Küresel Pazar Tekliflerinin Tasarımlaştırılması. *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi*, 4.16: 43-62.
- Üstündağ, A. ve Çevikcan, E. 2017. Industry 4.0: Managing The Digital Transformation, Springer Series in Advanced Manufacturing, İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi. 17: 13-22.
- Wan, J. Zhou, C. ve Hu, K. 2015, Industrie 4.0: Enabling Technologies. In: Intelligent Computing and Internet of Things (ICIT), 2014 International Conference on. IEEE, p. 135-140.
- Wang, S. Wan, J. Yi, M. Li, D.I. Zhang, C. ve Zhou, K. 2016. Mobile Services for Customization Manufacturing Systems: An Example of Industry 4.0. *IEEE Access*, 4, 8977–8986

- Weyer, S. Schmitt, M. Ohmer, M. ve Gorecky, D. 2015. Standardization as the crucial challenge Towards Standardization as the crucial challenge for highly production systems for highly modular, multi-vendor production systems for highly modular, multi-vendor productio. IFAC-Papers On Line, 48, 579–584.
- Yarman, F. 2012. Ulusal Savunma Sanayilerinde Bilim–Teknoloji Tabanı, Savunma Teknolojileri Kongresi Kitabı, Ankara, 75–87.
- Yen, C.T. Liu, Y.C. Lin, C.C., Kao, C.C., Wang, W.B. and Hsu, Y.R. 2014. Advanced manufacturing solution to industry 4.0 trend through sensing network and cloud computing technologies, 2014 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), IEEE, pp. 1150-1152.
- Yıldırım, B.F. ve Önder, E. 2015. İşletmeciler Mühendisler ve Yöneticiler İçin Operasyonel, Yönetmel ve Stratejik Problemlerin Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri, Dora Yayınevi.
- Yıldız, A. 2018. Endüstri 4.0 ve Akıllı Fabrikalar. Sakarya University Journal of Science, 2018, 22.2: 548-558.
- Zaim, M. 2009. Türk Savunma Sanayiinde Gelecek Tartışmaları İçin Öneriler, Savunma Sanayi Gündemi Dergisi, Savunma Sanayi Müsteşarlığı, Sayı: 8.
- Zanero, S. 2017. Cyber-physical systems, Journal of Computer, Vol. 50 No. 4, pp. 14-16.
- Zuehlke, D. 2010. SmartFactory – towards a factory-of-things, Annual Reviews in Control, Vol. 34 No. 1, pp. 129-138.

EKLER

EK-1: Çalışmaya Katılan Uzmanların Dökümü

	Eğitimi/Görevi	Tecrübesi	Katıldığı Safha
Uzman 1	Makine Mühendisi	8 yıl	Kriterlerin Belirlenmesi ve Ağırlıklandırılması
Uzman 2	Kimya Mühendisi	9 yıl	Kriterlerin Belirlenmesi ve Ağırlıklandırılması
Uzman 3	Satış Mühendisi	8 yıl	Firma Değerlendirmesi
Uzman 4	Sistem Mühendisi	6 yıl	Kriterlerin Belirlenmesi
Uzman 5	Makine Mühendisi	10 yıl	Kriterlerin Belirlenmesi

EK-2: Literatürdeki Endüstri 4.0 Olgunluk Kriterleri

Mittal ve ark., 2018		Ataman, 2018	
Strateji: -Sanayi 4.0 yol haritasının uygulanması -Dijitalleştirme ve akıllı otomasyon -İş modellerinin adaptasyonu		Strateji: -Hızlı Yanıt Verme -Ürün Çeşitliliği -Endüstri 4.0 Araçları Kullanımı -Hedef ve Yol Haritası Belirleme	
Liderlik: -Liderlerin Sanayi 4.0'ı benimseme istekliliği -Dijital yeteneklerin ve yöntemlerin yönetimi -Sanayi 4.0 için merkezi bir koordinasyonun varlığı stratejisi			
Müşteriler: -Müşteri verilerinin kullanılması -Satış ve hizmetlerin dijitalleştirilmesi -Müşterilerin dijital medya uzmanlığı			
Ürünler: -Ürünlerin kişiselleştirilmesi -Ürünlerin dijitalleştirilmesi -Diğer sistemlere ürün entegrasyonu		Ürün ve Teknoloji, -Ürün Bileşenlerinin Operasyonel Uyumluluğu -İnsan-Makine Makine-Makine Etkileşimi -Endüstri 4.0 Araçlarının Kullanım Yoğunluğu	
Teknoloji -Modern BİT'in varlığı -Mobil cihazların kullanılması -M2M'den yararlanma			
İşlemler: -Süreçlerin ademi merkezileşmesi -Modelleme ve simülasyon -Bölümler arası işbirliği		Operasyon: -İç ve Dış Veri Paylaşım Araçları Kullanımı -İç ve Dış Veri Güvenliği -Yazılım ve Donanım Araçlarının İlişkilendirilmesi	
Kültür: -Bilgi paylaşımı -Açık inovasyon ve işletmeler arası işbirliği -BİT'in değeri		İnsan ve ARGE Kültürü: -Bilgi Paylaşımı ve Takım Çalışması -Endüstri 4.0 Araçları Kullanımına Destek -ARGE Kültürü ve İç Motivasyon	
İnsanlar -Çalışanların BİT yetkinlikleri -Çalışanların yeni teknolojilere açıklığı -Çalışanların özerkliği			
Yönetişim: -Sanayi 4.0 için çalışma yönetmeliği -Teknolojik standartların uygunluğu -Fikri mülkiyetin korunması		Yönetişim -Endüstri 4.0 Çalışma Grupları Oluşturulması -Endüstri 4.0 Yazılım Donanım Standartları -Endüstri 4.0 İş Gücü Planlaması -Üst Yönetimin Destek ve Teşviği	
IMPULS (Lichtblau ve ark. 2015)	Dijital Operasyonlar Öz Değerlendirme Modeli (Geissbauer ve ark, 2016)	İmalat Firmaları Olgunluk Modeli (Schumacher ve ark, 2016)	M2DDM Olgunluk Modeli (Weber ve ark. 2017)
Strateji ve organizasyon	Değer zinciri ve süreçler, Uyumluluk, Güvenlik, İşletme,	Strateji, Liderlik, Kültür,	
Akıllı fabrika	Dijitalleşme, Çevik BT mimarisi,	Yönetişim ve teknoloji	Kendi Kendini Optimize Eden Fabrika

Akıllı işlemler	Dijital iş modelleri ve müşteri erişimi	Operasyonlar	Çapraz Yaşam Döngüsü
Akıllı ürünler		Ürünler	
Veri odaklı hizmetler	Ürün ve hizmet sunumlarının dijitalleştirilmesi,	Müşteriler	Hizmet Oryantasyonu
Çalışanlar	Çalışanlar ve dijital kültür	Çalışanlar	
	Yasallık ve vergi,		
	Temel veri analizi yeteneği,		Veri ve Sistem Entegrasyonu
			Var Olmayan BT Entegrasyonu
			Dijital İkiz
			Verilerinin Entegrasyonu
ACATECH (Schuh ve ark, 2017).	SIMMI 4.0 (Leyh ve ark, 2016)	Tübitak – Dijital Olgunluk Modeli	KÖKÜMER (2018)
Bağlanabilirlik	Yatay ve Dikey Dijitalleştirme	Bilgi Teknolojileri Hizmetleri	Personel Alt Yapısı: Yetkin Personel Alt Kriter Personel Yetkinliğini Arttırıcı Faaliyetler Personel İhtiyaç Planlaması
Görülebilirlik		Stratejik Yönetişim	Yalın Üretim Uygulama Seviyesi: SMED (Tekli Dakikalarda Kalıp Değişimi) TPM (Toplam Verimli Bakım) 5S VSM (Değer Akış Haritalama) KANBAN Performans Göstergeleri
Tahmini kapasite		Organizasyon	
Bilgisayarlaştırma	-Tam Dijitalleştirme -Optimize Edilmiş Tam Dijitalleştirme	Yazılım Hizmetleri	Teknoloji Kullanım Seviyesi; Bulut Yapay Zeka Veri Güvenliği Robot ve Otomasyon Sistemler Sensor Büyük Veri Nesnelerin İnterneti Simülasyon Arttırılmış Gerçeklik Eklemeli Üretim

Şeffaflık	Bölümlerarası Dijitalleştirme		Üretim Yönetim Araçları Kullanım Düzeyi : ERP (Kurumsal Kaynak Planlama) MES (Üretim Yönetim Sistemi) Akıllı Depo Uygulamaları EDI (Elektronik Veri Değişimi)
Bilgisayarlaştırma		İşletim ve Bakım	
Uyum yeteneği		Hizmetler	
	Temel Dijitalleştirme		
Bibby ve Dehe (2018)	Schumacher (2016)	Tübitak – Dijital Olgunluk Modeli	SAP ve Capgemini’nin Hızlı Dijital Modeli (2016)
Strateji.	Strateji	Stratejik Yönetişim	İş modeli dönüşümü
	Liderlik		
	Yönetim		Yönetim
İnsanlar ve Kültür,	İnsan	Organizasyon	
	Kültür		Dijital vizyon
	Müşteriler		Müşteri deneyimi
Geleceğin Fabrikası: - Eklemeli Üretim - Bulut Teknolojisi - Üretim Yürütme Sistemi - Nesnelerin İnterneti - Siber Fiziksel Sistemler - Büyük Veri, Sensörler - e-Değer Zincirleri - Otonom Robotlar.	Operasyon	İşletim	Operasyonel mükemmellik
		Bakım	Organizasyonel angajman
			BT-İş uyumu
	Teknoloji	Bilgi Teknolojileri Hizmetleri	BT entegrasyonu
		Yazılım Hizmetleri	Dijital yetenekler.
	Ürünler	Hizmetler	

EK-3: ENDÜSTRİ 4.0 KRİTERLERİNE GÖRE İDEAL FİRMA

Kriter Adı	İdeal Ölçütler
<i>1. Teknolojinin Kullanımı (Akıllı Fabrika)</i>	
Siber Fiziksel Sistemler	Tüm makineler siber ortama bağlı olmalı, buradan takip ve kontrol edilebilmelidir.
Eklenebilir Üretim (3D Printing)	Firma 3D yazıcıya sahip olmalı ve kullanılmalıdır.
Siber Güvenlik	Siber ortamdaki tüm firma kullanıcıları ve kuruluşun tamamı muhtemel siber risk ve tehditlere karşı korunmalıdır.
Büyük Veri ve Bulut Teknolojisi	Nesnelerden edinilen güncel ve anlık veriler, fabrikanın bulut tabanlı bilişim sistemlerine anında aktarılmalı ve saklanmalıdır.
Simülasyon ve Arttırılmış Gerçeklik	Fabrika içindeki ve dışındaki (tedarik, stoklama, üretim, pazarlama, dağıtım, satış vb.) tüm süreç ve faaliyetler bilgisayar ortamında modellenmiş olmalıdır.
<i>2. Ürün Geliştirme</i>	
Hızlı Yanıt Verme	Anlaşma sağlanan tüm müşteri istekleri, mutabık kalan sürede karşılanmalıdır.
Ürün Çeşitliliği	Hasım ülkelerin envanterindeki mütakabil ve tehdit ürün yelpazesini karşılayacak çeşitliliğe sahip olunmalıdır. Bu konuda müşteri istekleri belirleyicidir.
Ürün Dayanıklılığı	Üretilen tüm ürünler, TSK'nın görev yaptığı bölgelerdeki iklim koşullarına dayanabilmeli. Dünyadaki örneklerinin en uzun ömürlüsüne denk bir ömrü hedeflemelidir.
Lojistik Kolaylık	Üretilen tüm ürünler, mevcut TSK lojistik destek sistemi içinde ilave tedbir alınmadan desteklenebilmelidir.
Ürün ve Ürün Bileşenlerinin Operasyonel Uyumluluğu	Üretilen tüm ürünler, tugay veya dengi seviyesindeki bir birlik içindeki (Ast, üst ve komşu birlikler dahil) tüm araç, teçhizat ve diğer ürünler ile uyum halinde çalışmalıdır (örneğin kara, deniz, hava tüm araçlarının birbiri ile görüşebilmesi, birbirini tanıyabilmesi v.b.)
<i>3. İnsan ve ARGE Kültürü</i>	
Bilgi Paylaşımı ve Takım Çalışmasına Yatkınlık	Çalışanlar arasında takım ruhunun oluşturulmalı, iş bölümü, bilgi paylaşımı ve iletişim olmalıdır. Son bir sene içinde bu konuda (görev paylaşımı, eşitsizlik, bilgi paylaşımı, vb) sorun yaşanmış mı, personele ceza verilmiş mi?
Endüstri 4.0 Araçlarına Yetkinlik	Çalışanların çoğunluğu (%70) Endüstri 4.0 'ın teknoloji, protokoller, programlar ve iş akışı alanlarında getirdiği yenilikleri bilmeli ve bunlar ile uyum halinde çalışmalıdır.
ARGE Kültürü ve Motivasyonu	Firmanın ve çalışanlarının ARGE kültür ve motivasyonları yüksek olmalıdır. Firma ARGE'ye planlı olarak yatırım yapmalıdır.
<i>4. Strateji ve Yönetim</i>	
Teknolojiye Yüksek Yatırım Yapılması	Firmanın sahip olduğu teknolojik kabiliyetleri artırmak için bu konulara yıllık yatırım yapması gereklidir. Firmanın üretim bandı son iki sene içinde teknolojik anlamda yenilenmiş olmalı, kullanılan yazılımlar son sürüm olmalıdır.
İnsan-Makine Makine-Makine Etkileşimi	Fabrikada ve üretim sürecinde insanın makinelerle ve makinelerin de diğer makineler ile uyum ile çalışması sağlanmalıdır. Verimlilik ve kaza oranları incelenmelidir. Firma andon sistemi ile kazaları ve arızaları takip etmeli, geçmişe yönelik rapor hazırlayabilmelidir.

Kriter Adı	İdeal Ölçütler
Akıllı Operasyon Süreçleri	Simülasyon, Nesnelerin interneti, Artırılmış Gerçeklik ile firmanın yönetimi, ürün planlaması ve üretim konularının tamamı desteklenmelidir.
Çalışma Gruplarının Endüstri 4.0 'a Göre Oluşturulması	Çalışanların yetenek ve tecrübelerine uygun olarak iş bölümü yapılmalı, bu anlamda dönüşüm için ihtiyaç duyulan entegrasyonların hangi araçlar kullanılarak, ne zaman ve kimler tarafından yapılacağı belirlenmiş olmalıdır. Yapılan iş bölümü senede iki defa gözden geçirilerek firma müdürü tarafından onaylanmalıdır.

ÖZGEÇMİŞ

Umut OKTAY ilk, orta ve lise eğitimini Ankara’da tamamladı. 2000 yılında Ankara Bahçelievler Deneme Lisesi’nden mezun oldu. 2006 yılında Sakarya Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü’nü bitirdi. Aynı yıl Mas Grup firmasında üretim şefi olarak çalışmaya başladı. 2017 yılında Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans eğitimine başladı. Halen özel bir şirkette Fabrika Müdür Yardımcısı olarak görev yapmaktadır.