



T.C.
MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

**ENDÜSTRİ 4.0'A GEÇİŞTE ÖRGÜTSEL ÖĞRENME ÜZERİNE MODEL
ÖNERİSİ: BİR KOBİ ÖRNEĞİ**

DOKTORA TEZİ

Merve Vuslat AKSU

DANIŞMAN
Prof. Dr. Soner TASLAK

2023- Muğla

T.C.
MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

**ENDÜSTRİ 4.0'A GEÇİŞTE ÖRGÜTSEL ÖĞRENME ÜZERİNE MODEL
ÖNERİSİ: BİR KOBİ ÖRNEĞİ**

DOKTORA TEZİ

Merve Vuslat AKSU

DANIŞMAN
Prof. Dr. Soner TASLAK

2023- Muğla

T.C.
MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

**ENDÜSTRİ 4.0'A GEÇİŞTE ÖRGÜTSEL ÖĞRENME ÜZERİNE MODEL
ÖNERİSİ: BİR KOBİ ÖRNEĞİ**

Hazırlayan
Merve Vuslat AKSU

Sosyal Bilimler Enstitüsünce
Doktora
Diploması Verilmesi İçin Kabul Edilen Tez

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 18.01.2023
Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 26.12.2022

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Soner TASLAK
Jüri Üyesi: Prof. Dr. Umut AVCI
Jüri Üyesi: Doç. Dr. Esra Burcu BULGURCU GÜREL
Jüri Üyesi: Prof. Dr. Sevgi KALKAN
Jüri Üyesi: Prof. Dr. Oya İnci BOLAT

Enstitü Müdürü: Prof. Dr. Bayram COŞKUN

2023 – Muğla

TUTANAK

Sosyal Bilimler Enstitüsü'nün 30/12/2022 tarih ve 1080/9 sayılı Yönetim Kurulu kararı ile tez jürisi olarak atandığımız, İşletme Anabilim Dalı **Doktora Programı** öğrencisi Merve Vuslat AKSU'nun "Endüstri 4.0'a Geçişte Örgütsel Öğrenme Üzerine Model Önerisi: Bir Kobi Örneği" adlı tezi incelemiş ve aday 18/01/2023 tarihinde saat 13.30'da tez savunma sınavına alınmıştır.

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliği'nin 38. maddesi doğrultusunda yapılan tez savunma sınavı sonucunda tezin **kabul** edilmesine oy birliği ile karar verilmiştir.

Prof. Dr. Soner TASLAK

Tez Danışmanı

Üye

Prof. Dr. Umut AVCI

Prof. Dr. Serpi Kalkan

Üye

Üye

Prof. Dr. Oya İnci BOLAT

Üye

Doç. Dr. Esra Bulgucu
GÜREL

YEMİN

Doktora tezi olarak sunduğum “Endüstri 4.0’a Geçişte Örgütsel Öğrenme Üzerine Model Önerisi: Bir Kobi Örneği” adlı çalışmanın, tarafımdan bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Kaynakça’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanmış olduğumu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

17 /02/2023

Merve Vuslat AKSU

Endüstri 4.0'a Geçişte Örgütsel Öğrenme Üzerine Model Önerisi: Bir Kobi Örneği

ÖZET

İlk kez 2011 yılında Hannover Fuarı'nda isimlendirilerek Endüstri 4.0 adıyla anılacak olan yeni sanayi devrimi için ilk olarak Almanya'da 2013 yılında bir yol haritası hazırlanmıştır. Dördüncü sanayi devriminin sürdürülebilir olması ve tabana yayılabilmesi, bütün yerel ekonomilerde, ekonominin bel kemiğini oluşturan KOBİ'lerin (Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeler) dijital dönüşümünün sağlanmasıyla mümkün olacaktır. Hazırlanan yol haritaları, büyük oranda KOBİ'leri endüstriyel dönüşüme hazırlayacak finansal ve teknolojik altyapının oluşturulması için atılacak adımlara yöneliktir. Türkiye de "Dijital Türkiye" sloganıyla imalat sanayi için KOBİ'leri merkeze alarak yol haritasını hazırlamıştır. Bilinen her şeyin dijitale dönüştürülmesi, sanal ve gerçeğin siber-fiziksel sistemler vasıtasıyla birleştirilmesi çabası, bilgi yönetimini önceki dönemlere göre çok daha önemli bir konu haline getirmiştir. Ekonominin yapıtaşlarını oluşturan örgütlerde bilginin nereden elde edileceği, nasıl saklanacağı ve nasıl aktarılacağı ve bununla birlikte; dijital dönüşüm sürecinde örgütsel bilginin koordinasyonun nasıl değişeceğinin bilinmesi önemlidir.

Bu tez çalışmasının temel amacı; Endüstri 4.0'a (E4.0) geçerken örgütler için daha önemli hale gelecek olan bilgiyi depolama ve gerekli olduğu zaman kullanma konularında yaşanabilecek zorlukları ortaya koyarak farklı senaryolarda bilgi ağlarının değişimini gösteren bir simülasyon modelleme yapmaktır. Örgütsel bellek örgütsel bilgi depoları ve bunlar arasındaki etkileşimlerin bütününe kapsayan örgütsel koordinasyon ağları (üye-görev-araç) üzerinden ele alınmıştır. Bu bilgi ağının incelenmesiyle E4.0'a geçiş yapmamış mevcut örgütsel yapı ile söz konusu süreçler üzerinden bir kıyaslama yapılmak istenmektedir. Bu kıyaslamanın sonucunda, E4.0'a geçiş yapacak örgütlere, örgüt yapılarını ve örgütsel belleklerini daha etkili kullanabilecekleri şekilde nasıl tasarlayabileceklerine dair çıkarımlar yapmak hedeflenmiştir. Bu çıkarımlarda bulunabilmek için, gerçeğe benzetilerek sanal ortamda modelleme yapmayı olanaklı kılan bilgisayarlı simülasyon (benzetim) tekniği kullanılmaktadır.

İşletmede üretim yönetimi alanında doğrusal olmayan programlamada, iktisatta ekonometrik tahmin analizlerinde, endüstri mühendisliğinde makine programlama lisanslarında simülasyon tekniği geniş bir kullanım alanına sahiptir. Yukarıda sayılan ana alanlarda yapılan çalışmalardan faydalanan yönetim disiplini benzer şekilde, simülasyon tekniği sayesinde bilgiyi verimli ve etkili kullanabilecek örgütsel tasarımın belirlenmesi ile ilgili çalışmaları da içermektedir. Bu çalışmada Ajan Temelli Modelleme (ATM) tekniği ile simülasyon analizinin, Türkçe yönetim yazınında bulunmayan, uluslararası yazında ise sadece grup dinamiklerinin gelişimi üzerine yapılan çalışmalarda karşımıza çıkan bir yöntem olması sebebiyle, araştırma özgün değer taşımaktadır.

Örgütsel öğrenmede bilgisayar temelli simülasyon programı kullanılarak Endüstri 4.0 uygulamaları sonrasında, örgütsel bilgi depolarının etkileşimlerinin nasıl değişebileceği ve bunun örgütte yaratacağı etkiler olası senaryolarla gösterilmektedir. Araştırma nesnesi olarak Türkiye'nin E4.0'a geçişte imalat sanayi için çizdiği yol haritasında belirlediği odak sektörler arasından örneklem olarak bilgi yoğun bir KOBİ vaka olarak belirlenmiştir. Yazında, örgütsel bilginin depoları olarak adlandırılan ve örgütsel bilginin saklandığı, insan, görev ve araç etkileşim ağlarının seçilen örgütteki durumu incelenerek, E4.0'a geçilmesi durumunda, örgütsel belleğin nasıl bir değişime uğrayacağı vaka üzerinden gözlemlenmektedir.

Araştırmanın temel katkısı; E4.0'a geçmeyi planlayan bir KOBİ için bilgisayar ortamında bir simülasyon modelleme yoluyla farklı senaryolarda örgütsel bilginin depolandığı üye-görev-arac ağlarındaki değişimi ve bu değişimin etkilerini önceden gösterebilme imkânı sağlamasıdır. Bunun yanı sıra; bu tez çalışmasında kullanılan yöntemin özgünlüğü, örgütler ve bilgi alanında yapılacak akademik araştırmalara yeni bir bakış açısı kazandırmaktadır. Ayrıca, örgütsel tasarımın simülasyon modelleme yöntemiyle yapılacak tahminler ile önceden sınanabilmesi ve örgütsel belleğin ağ ilişkileri bağlamında araştırılması Türkçe alan yazında akademik bilginin çeşitlenmesi açısından önem arz etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, örgütsel öğrenme, örgütsel bellek, koordinasyon ağları, simülasyon, ajan temelli modelleme, KOBİ

Model Proposal on Organizational Learning in Transition to Industry 4.0: An SME Example

ABSTRACT

In 2013, a road map was prepared in Germany for the new industrial revolution, which was called as Industry 4.0 at the Hannover Fair in 2011. The sustainability and spread of the fourth industrial revolution will be ensured by the digital transformation of SMEs (Small and Medium Sized Enterprises), which form the backbone of all local economies. The prepared roadmaps are largely aimed at the steps to be taken to create the financial and technological infrastructure that will prepare SMEs for industrial transformation. Turkey has prepared the road map called "Digital Turkey" for the manufacturing industry by focusing on SMEs. Transformation of everything into digital world and the effort to combine virtual and physical environment through cyber-physical systems has made information management a much more important issue than in previous periods. It is important to know how the coordination of organizational information will change in the process of digital transformation in consideration of where to obtain information, how to store and how to transfer it.

The main purpose of this study is to make a simulation modeling that shows the change of information networks in different scenarios by revealing the difficulties that may be experienced in storing information and using it when necessary, which will become more important for organizations as they transform to Industry 4.0 (I4.0). Organizational memory is being observed thorough the coordination networks (member-task-tool) that cover the whole of organizational information stores and the interactions. With the examination of these subheadings, it is aimed to make a comparison with the current organizational structure before I4.0 and after I4.0. As a result of this comparison, it is aimed to make inferences about how organizations that will adapt I4.0 technologies can design their organizational structures and organizational memory to use them more effectively. To make these inferences, computerized simulation technique, is used which makes it possible to model in the virtual environment by comparing it to reality.

Simulation technique has a wide range of uses in nonlinear programming in the field of production management in business, econometric forecast analysis in economics, machine programming licenses in industrial engineering. The management discipline, which benefits from the studies in the main areas listed above, similarly includes studies on the determination of organizational design that can use information efficiently and effectively thanks to the simulation technique. In this research, a computer-based simulation analysis with Agent Based Modeling (ATM) technique is used as an uncommon method in the Turkish management literature and is only encountered in the studies on the development of group dynamics in the international literature.

A computer-based simulation program for implementing Industry 4.0 applications has been used to understand how the interactions of organizational knowledge repositories can change and affect the organization among possible scenarios. As the research object, an information-intensive SME was determined as a sample among the focus sectors determined in the Türkiye's digital for roadmap manufacturing industry. In this case, information repositories, which is called human, task, and tool interaction networks of an organization is investigated. This study examines how organizational memory changes in case of adoption of I4.0 technologies.

The main contribution of the research; for an SME that plans to switch to E4.0, it provides the opportunity to show the changes in the member-task-tool networks where organizational information is stored in different scenarios and the effects of this change through a simulation modeling in the computer environment. The originality of the method used in this thesis gives a new perspective to academic research in the field of organization studies. In addition, it is important to test organizational design in advance with predictions to be made by simulation modeling method and to investigate organizational memory in the context of network relations in terms of diversification of academic knowledge in Turkish literature.

Key Words: Industry 4.0, organizational learning, organizational memory, coordination network, simulation, agent-based modelling, SME

ÖN SÖZ

Doktora çalışmalarının toplumsal bir özverinin sonucu ortaya çıktığı kanaatindeyim. Bu çalışmanın ortaya çıkmasında payı olan mikro çevreme edilecek teşekkürlerim var. Öncelikle, doktora tez çalışmamın yürütülmesi esnasında, çalışmalarına yön veren, bilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bana her türlü desteği sağlayan; dahası asaleti, sabrı, hoşgörüsü ve kusur kapatıcılığıyla bana büyük bir hayat dersi veren; akademik birikiminden, bir danışman olarak tutumundan ömür boyu feyz alacağım danışman hocam, Sayın Prof. Dr. Soner TASLAK' a minnetimi ifade etmek isterim. Tez izleme jürilerinde değerli fikirleriyle araştırmanın yönünü belirlememde önemli katkısı bulunan Sayın Prof. Dr. Umut AVCI' ya içtenlikle teşekkür ederim. Önemli kararlar almadan önce akıl danıştığım, kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Sevgi KALKAN' a yol gösterdiği için şükranlarımı sunarım.

Kalabalık odamızda çokça kahve eşliğinde hararetli tartışmalarla fikirlerime katkı sağlayan, benzer süreçlerden geçenlerin duygudaşlığıyla, muhabbetle yanımda olan mesai arkadaşlarım kattıklarınız için teşekkürler. Uzun yıllar boyunca okumam, düşünmem, araştırmam için bana alan açan ve birlikte geçireceğimiz zamandan feragat eden, bitmeyen öğrenciliğimi diğer bütün toplumsal rollerimin üzerinde tutan, her zaman anlayış gösteren tarafta olan ve bunu tereddütsüz, sitemsiz yapan tüm dostlarım ne kadar teşekkür etsem az. Artık rolleri değişebiliriz.

Doğduğum gün elimden tutan ve o gün bugündür bırakmayan, can dostum, ablam Dr. Öğr. Ü. Elif Hasret KUMCU kahkahan yeter. Her koşulda en büyük destekçimiz, kardeşim İnş. Yük. Müh. İlbey İslam KUMCU varlığın güven veriyor. Yıllardır pazar günleri dahil istinasız her gün sabah 04.00'te çalan alarmıma bir kez bile "of" demeyecek kadar yüce gönüllü, sabırlı, anlayışlı, güler yüzlü hayat arkadaşım Dr. Öğr. Ü. Bora AKSU sen hayatın bana hediyesisin. Her gün teşekkür ediyorum. En büyük teşekkürü ömürlerini bana ve kardeşlerime adayan, bizimle nefes alan, varlıklarıyla güç bulduğum hayat boyu öğretmenlerim annem Kısmet KUMCU ve babam Şaban KUMCU' ya sunmak isterim. Ortada bir başarı varsa o sizin başarınızdır.

MERVE VUSLAT AKSU

26/12/2022 MUĞLA

İÇİNDEKİLER

ÖN SÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER	II
TABLolar DİZİNİ.....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VI
FOTOĞRAF VE GÖRSEL DİZİNİ.....	VII
KISALTMALAR	VIII
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

SANAYİ DEVRİMLERİNİN GETİRDİĞİ ÖRGÜTSEL DEĞİŞİM

1.1	Birinci Sanayi Devrimi (İngiliz Sanayi Devrimi)	18
1.2	İkinci Sanayi Devrimi	19
1.3	Üçüncü Sanayi Devrimi (Modern Sanayi Devrimi).....	24
1.4	Dördüncü Sanayi Devrimi – Endüstri 4.0	27
1.4.1	Nesnelerin İnterneti (Nİ- Internet of Things-IoT).....	32
1.4.2	Siber Fiziksel Sistemler (SFS- Cyber Physical Systems-CPS).....	33
1.4.3	Akıllı Fabrikalar	34
1.4.4	Endüstri 4.0 dönüşümün örgütsel değişim boyutları.....	36
1.4.4.1	Dijital dönüşüm	36
	Nesnelerin İnterneti (Internet of Things- IoT)	37
	Sensör Teknolojisi	37
	Teknoloji Destekli Platformlar	37
1.4.4.2	Fiziksel dönüşüm	38
	Otonom Araçlar.....	38
	Üç Boyutlu Yazıcı (Eklemeli İmalat)	38
	Gelişmiş Robotik Sistemler.....	39
	Yeni Malzemeler	39
1.4.4.3	Biyolojik dönüşüm	39
1.5	Türkiye’nin Endüstri 4.0 Yol Haritası	41
1.6	Endüstri 4.0 ve KOBİ’ler	44
1.6.1	KOBİ’lerin Ekonomideki Yeri.....	46
1.6.2	KOBİ’lerin Endüstri 4.0 Dijital Dönüşümü için Önemi	53

İKİNCİ BÖLÜM

KARMAŞIKLIK KURAMI BAĞLAMINDA ÖRGÜTSEL BİLGİ

AĞLARININ İNCELENMESİ

2.1.	Kavramsal Çerçeve	65
2.1.1.	Örgütsel Öğrenme	69
2.1.2.	Örgütsel Bellek	73
2.1.3.	Örgütsel bilgi depoları ve ağ ilişkileri	79
2.1	Koordinasyon ağlarında örgütsel öğrenme	84

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

YÖNTEM ve ANALİZ

3.1	Araştırma Evreni	94
3.2	Araştırma Sorusu	98
3.3	Neden Model – Neden Simülasyon?	98
3.4	Neden Ajan Temelli Modelleme (ATM)?	102
3.4.1	Ajan temelli modellemenin bileşenleri	109
3.4.1.1	Ajan (Agent)	110
3.4.1.2	Çevre (Environment)	110
3.4.1.3	Etkileşim (Interactions)	111
3.4.1.4	Gözlemci/Kullanıcı arayüzü (Observer/User interface)	111
3.4.1.5	Zaman çizelgesi (Schedule)	112
3.5	NetLOGO Programı ile Ajan Temelli Modelleme Geliştirme	112
3.6	Araştırmanın Tasarımı	114
3.6.1	Vaka Analizi	115
3.7	Kavramsal Model	123
3.7.1	Mevcut durum analizi	130
3.7.1.1	Manuel montaj hattı	130
3.7.1.2	Otomatik dizgi hattı	133
3.7.2	Endüstri 4.0’a geçiş süreci	136
3.7.2.1	Manuel montaj hattında koordinasyon ağlarında değişim	139
3.7.2.2	Otomatik dizgi hattında koordinasyon ağlarında değişim	144
3.8	Analiz	154
3.8.1	Simülasyon Model	154
3.8.2	Simülasyon Senaryoları	161

3.8.2.1	Manuel montaj hattı	162
3.8.2.1.1	Nadir tekrarlanan basit görev senaryosu	162
3.8.2.1.2	Sık tekrarlanan basit görev senaryosu	164
3.8.2.1.3	Rutin görevler	166
3.8.2.1.4	Sık tekrarlanan zor görevler	167
3.8.2.1.5	Nadir tekrarlanan zor görevler.....	168
3.8.2.2	Otomatik dizgi hattı.....	169
3.8.2.2.1	Nadir tekrarlanan basit görevler	170
3.8.2.2.2	Sık tekrarlanan basit görevler	171
3.8.2.2.3	Rutin görevler	172
3.8.2.2.4	Sık tekrarlanan zor görevler	173
3.8.2.2.5	Nadir tekrarlanan zor görevler.....	174
3.9	Bulgular ve Koordinasyon Ağlarında Değişim.....	175

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1	Sonuç.....	180
4.2	Araştırmanın sınırlılıkları	187
4.3	İleriye Yönelik Öneriler	188

KAYNAKÇA	190
EK 1	205
EK 2	209
EK 3	216
EK 4	223

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Kondratieff Dalgaları ve Örgütsel Değişim	10
Tablo 2. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Endüstri 4.0 Yol Haritası.....	43
Tablo 3. Kurumların Ölçek Sınıflandırmaları	47
Tablo 4. KOBİ'lerin E4.0'a Geçişinde Etkili Faktörler	59
Tablo 5. Endüstri 4.0'ın KOBİ'lere Sağladığı Faydalar.....	60
Tablo 6. Örgütsel Öğrenmeyi Araştıran Disiplinler	72
Tablo 7. Örgütsel Belleğin Dört Bakış Açısı.....	77
Tablo 8. KOBİ'lerin İmalat Sanayinde İleri Teknoloji Sektörlerine Göre Dağılımı	95
Tablo 9: KOBİ'lerin İmalat Sanayinde Teknoloji Düzeylerine Göre Dağılımı	96
Tablo 10. Niteliklerine Göre Model Tipleri	102
Tablo 11. Yönetim ve Örgüt Çalışmalarında Ajan Temelli Modelleme.....	108
Tablo 12. Görevlerin Tekrarlanma Sıklığı ve Karmaşıklığına Göre Gerçekleşen Üretime İlişkin Veriler	128
Tablo 13. Manuel Montaj Hattı Mevcut Durum Analizi.....	131
Tablo 14. Manuel Montaj Hattı Mevcut Koordinasyon Ağı	132
Tablo 15. Otomatik Dizgi Hattı Mevcut Durum Analizi	134
Tablo 16. Otomatik Dizgi Hattı E3.0 Koordinasyon Ağı.....	135
Tablo 17. Manuel Montaj Hattı Endüstri 4.0 Koordinasyon Ağı.....	144
Tablo 18. Otomatik Dizgi Hattı Endüstri 4.0 Koordinasyon Ağı.....	153
Tablo 19. Örgütsel bilgi depolayan ajan yoğunluğu simülasyon senaryoları	176
Tablo 20. Örgütsel bilgi depolanması için geçen süre simülasyon senaryoları	177
Tablo 21. Sonuçların P Olasılık Değerine Göre İstatistiksel Anlamlılıkları	178

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. İnsanlığın Nüfusa Göre Sosyal Gelişimi	2
Şekil 2. Sanayi Devrimlerinin Tarihsel Gelişimi	12
Şekil 3. Endüstri 4.0 Devrimi	40
Şekil 4. TÜBİTAK Endüstri 4.0 Yol Haritası.....	42
Şekil 5. İnsan Beyni Sinir Ağları	86
Şekil 6. Sinir Ağlarında Bağlantıların Yoğunluğunun Gösterimi.....	91
Şekil 7. Öğrenme Eğrisi	92
Şekil 8. Araştırma Tasarımı Modeli.....	115
Şekil 9. Otomatik Dizgi İş Akış Şeması	119
Şekil 10. Manuel Dizgi İş Akış Şeması	122
Şekil 11. Ajan Temelli Modelleme için Metodolojik Çerçeve	125
Şekil 12. Görevlerin Yapısına Göre Ayrımı	127
Şekil 13. Manuel Montaj Hattı Ağ-Bağ Analizi	132
Şekil 14. Otomatik Dizgi Hattı Ağ-Bağ Analizi	135
Şekil 15. Manuel Montaj Hattı E4.0 Ağ-Bağ Analizi.....	143
Şekil 16. Otomatik Dizgi Hattı E4.0 Ağ-Bağ Analizi	152

FOTOĞRAF VE GÖRSEL DİZİNİ

Fotoğraf 1. Otomatik Dizgi Hattı	117
Fotoğraf 2. Manuel Montaj Hattı Bölümleri	120
Görüntü 1. Manuel Montaj Hattı Nadir Basit Görev Koordinasyon Ağı V0 /V1 ..	162
Görüntü 2. Manuel Montaj Hattı E3.0 Nadir Basit Görev Koordinasyon Ağı V2/V3	164
Görüntü.3. Manuel Montaj Hattı Sık Basit Görev Koordinasyon Ağı V0/V1	164
Görüntü 4. Manuel Montaj Hattı Sık Basit Görev Koordinasyon Ağı V2/V3	165
Görüntü 5. Manuel Montaj Hattı Rutin Görev Koordinasyon Ağı V0/V1	166
Görüntü 6. Manuel Montaj Hattı Rutin Görev Koordinasyon Ağı V2/V3	167
Görüntü 7. Manuel Montaj Hattı Sık Zor Görev Koordinasyon Ağı V0/V1	167
Görüntü 8. Manuel Montaj Hattı Sık Zor Görev Koordinasyon Ağı V2/V3	168
Görüntü 9. Manuel Montaj Hattı Nadir Zor Görev Koordinasyon Ağı V0/V1	168
Görüntü 10. Manuel Montaj Hattı Nadir Zor Görev Koordinasyon Ağı V2/V3	169
Görüntü 11. Otomatik Dizgi Hattı Nadir Basit Görev Koordinasyon Ağı V0/V1 .	170
Görüntü 12. Otomatik Dizgi Hattı E3.0 Nadir Basit Görev Koordinasyon Ağı V2/V3	171
Görüntü 13. Otomatik Dizgi Hattı Sık Basit Görev Koordinasyon Ağı V0/V1	171
Görüntü 14. Otomatik Dizgi Hattı Sık Basit Görev Koordinasyon Ağı V2/V3	172
Görüntü 15. Otomatik Dizgi Hattı Rutin Görev Koordinasyon Ağı V0/V1	172
Görüntü 16. Otomatik Dizgi Hattı Rutin Görev Koordinasyon Ağı V2/V3	173
Görüntü 17. Otomatik Dizgi Hattı Sık Zor Görev Koordinasyon Ağı V0/V1	173
Görüntü 18. Otomatik Dizgi Hattı Sık Zor Görev Koordinasyon Ağı V2/V3	174
Görüntü 19. Otomatik Dizgi Hattı Nadir Zor Görev Koordinasyon Ağı V0/V1 ...	174
Görüntü 20. Otomatik Dizgi Hattı Sık Zor Görev Koordinasyon Ağı V2/V3	175

KISALTMALAR

Kısaltmalar	Açıklama
AB	Avrupa Birliği
ATM	Ajan Temelli Modelleme
AR-GE	Araştırma ve Geliştirme
BTSB	TC. Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı
CPS	Cyber Physical Systems
E3.0	Endüstri 3.0
E4.0	Endüstri 4.0
EC	Avrupa Komisyonu
EUROSTAT	Avrupa Komisyonu İstatistikleri
IIoT	Industrial Internet of Things
IoT	Internet of Things
IPC	Elektronik Devre Bağlama Sertifikası
KOBİ	Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler
KOSGEB	Küçük ve Orta Ölçekli Sanayi Geliştirme
LCD	Sıvı Kristal Ekran
LED	Işık Yayan Diyot
MM	Manuel Montaj Hattı
NACE	AB Ekonomik Faaliyetleri İstatistik Sınıflaması
NB	Nadir Tekrarlanan Basit Görevler
Nİ	Nesnelerin İnterneti
NZ	Nadir Tekrarlanan Zor Görevler
OD	Otomatik Dizgi Hattı
OECD	Ekonomik Kalkınma ve İş Birliği Örgütü
PHT	Poliheksahidrotriazinler
R	Rutin Görevler
RFID	Radio Frequency Identification Devices
SB	Sık Tekrarlanan Basit Görevler
SCI	Bilimsel Atıf Endeksi
SDDP	Sanayide Dijital Dönüşüm Platformu
SFS	Siber Fiziksel Sistemler

SSCI	Sosyal Bilimler Atıf Endeksi
SZ	Sık Tekrarlanan Zor Görevler
TÜBİTAK	Türkiye Bilim ve Teknoloji Araştırma Kurumu
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu

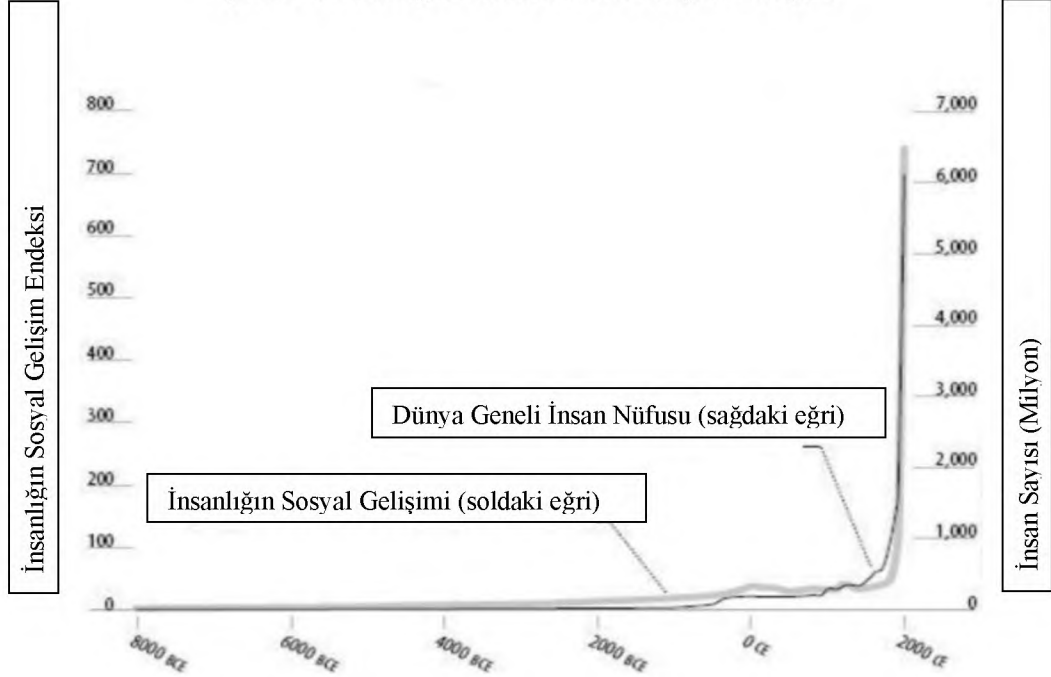
GİRİŞ

Brynolfsson ve McAfee (2014: 1-13) kaleme aldıkları İkinci Makine Çağı – Akıllı Teknolojiler Devrinde Çalışma, İlerleme ve Refah (The Second Machine Age – Work, Progress and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies) kitabına “İnsanlık tarihindeki en önemli gelişmeler nelerdir?” sorusuyla başlarlar. Bu sorunun cevabını arkeoloji profesörü Ian Morris’in 2010 yılında yayımlanan Dünya’ya Neden Batı Hükmediyor – Şimdilik (Why the West Rules – For Now) adlı kitabında yaptığı araştırmaları aktararak verirler. Morris M.Ö. 14.000’inci yıldan başlayarak bugüne kadar insanlık tarihinde dönüm noktası oluşturan olayların hangisinin en dönüştürücü etkiye sahip olduğunu anlamaya çalışır. İlk hayvanın evcilleştirilmesinden, tarım faaliyetlerinin başlamasına, yerleşik hayata geçilmesine, Moğol, Roma, Arap ve Osmanlı imparatorluklarını örnek göstererek kurulan büyük medeniyetlerin insanlık tahirindeki dönüştürücü etkisine kadar pek çok olayı irdeleyerek, hangi olayın insanlık tarihinde daha dönüştürücü bir etkiye sahip olduğunu araştırır. Somut olayların yanı sıra, milattan önce yaşamış üç büyük düşünürün (Buda, Konfüçyüs ve Sokrates) bugünkü Hindistan, Çin ve Avrupa medeniyetlerinin kökenlerini oluşturan insanlık tarihinin düşünsel devrimlerini ve dinlerin oluşmasını da dönüştürücü etkisi en yüksek olaylar arasında ele alırlar.

İnsanlık tarihinde en büyük değişime sebep olan olaylar ve olgular listesinde M.Ö. 3200 yılında yazının icat edilmesi, M.S. 830 yılında sıfır sayısının bulunması ile bugünkü numerik sistemle matematiksel hesaplama geçilmesi, Atinalıların M.S. 500’lü yıllarda demokrasi kavramını uygulamaya koyması, Avrupa nüfusunun yaklaşık %30’unun azalmasına neden olan kara veba, 1492 yılında Christoph Colomb’ un yeni dünyayı keşfetmek için açılması gibi olayların tamamı yer almaktadır. Bütün bu çığır açan olaylardan hangisinin insanlık tarihini en derinden değiştirdiğini gösterebilmek ve insan popülasyonu ile sosyal değişimin insanlık tarihi boyunca nasıl değiştiğini

anlatabilmek için, M.Ö. 8.000'inci yıldan bugüne uzanan bir zaman çizelgesi üzerinde tek bir grafik üzerinden değişimi görselleştirir (Şekil 1).

Şekil 1. İnsanlığın Nüfusa Göre Sosyal Gelişimi



Kaynak: Moris, 2010 aktaran Brynjolfsson ve McAfee (2014).

Grafikte görüldüğü üzere binlerce yıllık bu süreçte insanlığın ilerleyişi neredeyse görünmeyecek kadar ağır bir seyir izlemektedir. İmparatorluklar, savaşlar, felsefe ve din ve binlerce yıllık bütün gelişmeler insanlık tarihinde 1700'lerin sonunda geliştirilen buharlı motor kadar etki yaratmamıştır. Son 200 yıla kadar neredeyse yatay ilerleyen gelişim eğrisi buharlı motorun ortaya çıkmasıyla; yani birinci makine çağıının doğmasıyla ansızın doksan dereceye yakın bir açıyla değişmiştir. Makine mühendisliği ile kimya, metalürji gibi birçok disiplinde eşzamanlı olarak ortaya çıkan değişimlerin toplamı endüstri devrimini oluşturmuştur. Endüstri devrimi insanlığın ilerlemesinde çok keskin bir sıçrama yaratmıştır. Buhar gücünün kullanılması endüstri devriminin temelini oluştursa da endüstri devrimi buhar gücünden ibaret değildir. İnsan gücü yerine makine gücünün kullanılması; kitlesel üretime, tren yollarının inşası ile kitlesel taşımacılığa, büyük çaplı enerji üretimine olanak sağlamış ve bugünkü modern hayatın doğmasına sebep olmuştur. Grafikte çok açık şekilde göz önüne serildiği gibi; binlerce yıllık insanlık tarihinin en önemli dönüm noktası teknolojik

gelişmeyle ortaya çıkan birinci makine çağı ya da diğer bir deyişle birinci sanayi devrimidir.

Sanayi devrimin ardından, insanlık tarihinin gelişimini topyekûn değiştirecek büyük etki ancak 200 yıl sonra bilgisayarın icadıyla yaratılmıştır. 1900'lerin sonlarında ortaya çıkan bilgisayar, bilgi teknolojileri ve internet ile 2000'li yıllarda yapay zekanın da gelişmesiyle yazarların ikinci makine çağı olarak adlandırdıkları dijital teknoloji çağı başlamıştır. İnsanlık tarihindeki binlerce yıllık ağır ilerlemenin zıddı olarak dijital teknoloji artımsal olarak katlanan çok hızlı bir ilerleme ivmesine sahiptir. Buharlı motorun üretilmesi insanlığın binlerce yıllık tecrübesini gerektirirken; bilgisayarın icadından yapay zekanın doğmasına kadar 40 yıllık bir tecrübe yeterli olmuştur.

Dijital teknoloji çağı; insanlığın fiziksel ihtiyaçları dışında kalan bütün ihtiyaçlarının sanal ortama aktarılabilmesi, bilgisayarlarda ve ağlarda depolanabileceği, insan-makine etkileşimine ek olarak merkezi bir kontrol yapısına ihtiyaç duymaksızın makineden makineye etkileşimlerin olduğu, insanlık tarihinin farklı bir dinamiği olan bir ekonomik sisteme evrilmesine zemin hazırlamaktadır. Bilginin bu kadar hızlı aktarıldığı bir dünyada bilgi yönetimi önceki dönemlere göre çok daha önemli bir konu haline gelmiştir. Bu yeni ekonomik sisteme ve endüstriyel dönüşüme uyum sağlamak için devletlerin seferber olduğu bir ortamda, ekonominin yapıtaşlarını oluşturan örgütlerde bilginin nereden elde edileceği, nasıl saklanacağı ve nasıl aktarılacağı; dijital dönüşüm sürecinde örgütsel bilginin koordinasyonun nasıl değişeceğinin bilinmesi son derece önem arz etmektedir.

Bir işletmenin örgütsel bilgisi örgütün öğrenmesiyle çalışanların hafızalarında, örgütün prosedürlerinde, rutin işlerde, tekrarlanan görevlerde ve bu işlerin yapılmasını mümkün kılan teknolojide depolanmaktadır. Örgütsel bilginin depolandığı üye-görev-aracı etkileşimi örgütsel koordinasyon ağları olarak tanımlanmaktadır (Argote, 2013). Örgütsel bilginin edinilmesi, belleğe kaydedilmesi ve aktarılması sözü geçen koordinasyon ağları sayesinde gerçekleşmektedir. Sanayi devrimleri örgütlerin yapısında ve işleyişinde birçok değişikliğe neden olmuştur. Bu değişimlerden biri de devrimlerin beraberinde getirdiği yeniliklerin kullanılan teknolojileri değiştirmesiyle birlikte yeni görev ve prosedürlerin oluşması ve bu yenilikleri uygulayabilecek

işgücünün geliştirilmesidir. İşgücünün yeni teknolojileri kullanabilir hale gelmesi birey düzeyinde, grup düzeyinde ve örgüt düzeyinde sürekli öğrenme ile mümkündür. Örgütsel öğrenme, örgütsel bilginin örgüt belleğine kaydedilip saklanmasını sağlayan bir araçtır. Sanayi devrimleri öncesi örgütsel bilgi yalnızca işi tecrübe eden kişilerin hafızalarında depolanırken, sanayi devrimlerinin getirdiğı kurumsal yapılar işlerin bölünmesi, görevlerin ayrıştırılması, rutinlerin oluşmasını sağlamış; örgütsel bilgi insanlarla birlikte bu görev ve süreçlerde depolanmaya başlamış ve örgütün belleğı insan-görev etkileşimlerinde oluşmaya başlamıştır. Sanayi devrimlerinin devrimsel dönüştürücü boyutu yeni teknik, yöntem ve teknolojilerdir. Örgütler yeni teknolojileri benimsedikçe kullanılan araçlar da örgütsel bilginin depolandığı ve aktarıldığı bir unsur olarak örgütsel belleğın bir diğerk boyutu olarak kabul edilmeye başlanmış, örgütsel bilgi koordinasyonu üye-görev-arac arasındaki dağılım ve etkileşimlerle sağlanmıştır.

Sanayi devrimlerinin gelişimlerinin örgütsel bellek açısından genel sonucu örgütsel bilginin saklanmasını insanın tekelinden çıkarıp örgütün rutinlerine ve teknolojilerine aktarmasıdır denilebilir. Bu dönüşüm işten ayrılan çalışanla birlikte örgütsel bilginin kaybedilmesini en aza indirgenmesini sağlaması bakımından işletmenin sürdürülebilirliğini artırmaktadır. Örgütsel bilginin görev ve araçlarda depolanmasının artması insani hata oranını, unutma, yanılma olasılığını da azaltmakta, işletmenin verimliliğini artırmaktadır. Aynı zamanda ücret ve teşvik sistemlerinin ortadan kalkması gibi yönetimin insana dönük yatırımlarına gerek kalmayacağı için, maliyet tasarrufu ile karlılığı artıracığı da söylenebilir. Dördüncü sanayi devrimi makinelerin öğrenmesini ve kendi aralarında etkileşim kurması gerçekliğini doğurmuş ve örgütsel belleğın üyelerden ziyade araç-arac, görev-arac arasında depolanmasına olanak sağlamıştır. Tamamen yeni olan bu etkileşim şimdiye dek bilinen örgütsel yapıları, süreçleri, rutin ve prosedürleri, rolleri, iş bölümünü, görev dağılımlarını, hiyerarşik yapıyı, yetki ve otorite kavramlarını; dahası yönetsel karar mekanizmalarını kökten değıştirebilecek niteliktedir. Günümüzün en büyük kaygılarından ve tartışma konularından biri insan faktörünün, insanın bilgi ve tecrübesinin geleceğın örgütlerinde ne kadar yer alabileceğı üzerinedir. Bir yandan, insanların devre dışı bırakıldığı örgütsel bilginin tamamen görev ve araçlara aktarıldığı karanlık fabrikalar konuşulurken, diğerk yandan giyilebilir teknolojilerle ya da daha uç örneklerde beyine

ip takılmasıyla insanların ogmante edilerek teknolojiyle tamamen bütünleşmesiyle koordinasyon ağında insan-görev-araç etkileşimini en yüksek düzeye çıkarmayı hedefleyen radikal kontra argümanlar geliştirilmekte ve üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Bütün bu gelişmeler yaşanırken örgütler kendilerini nerede ve nasıl konumlandırmalı, yöneticilerin ve yöneticilik mesleğinin görev ve sorumluluklarının nasıl değişeceği soruları yönetim ve örgüt alanının güncel araştırma konularıdır.

Örgütsel bilgi koordinasyonunun dördüncü sanayi devrimi etkisiyle nasıl değişeceğini anlamaya çalışan bu araştırma beş kısımda ele alınmaktadır. Birinci bölümde sanayi devrimleri ve örgütlerde yarattıkları değişim ile dördüncü sanayi devriminin bileşenleri tanıtılarak Türkiye'nin bu dönüşüm için çizdiği yol haritası ele alınmaktadır. Araştırmaya konu olan KOBİ'lerin ekonomideki durumu ve dördüncü sanayi devrimindeki önemi yine bu bölümde ortaya konulmaktadır. İkinci bölümde çalışmanın kavramsal erevesi çizilerek; araştırmanın teorik altyapısını oluşturan karmaşıklık kuramı, örgütsel öğrenme, örgütsel bellek, örgütsel bilgi ve koordinasyon ağlarına değinilmektedir. nc bölümde araştırmanın yöntemi detaylandırılmakta, modelleme ve simülasyon tekniği ayrıntılı olarak ele alınmaktadır. Seçilen vaka üzerinden belirlenen manuel ve otomatik iki hatta örgütsel bilginin depolandığı koordinasyon ağının mevcut durum analizi yapılmaktadır. Endüstri 4.0'a geçilmesi halinde koordinasyon ağında oluşacak değişim kavramsal bir modelle anlatılmaktadır. Dördüncü bölümde Net LOGO programı kullanılarak bilgisayarlı simülasyon uygulamasının yapılmaktadır. Beşinci ve son bölümde ise bulgular analiz edilerek yorumlanmakta ve gelecek çalışmalar için öneriler sunulmaktadır.

BİRİNCİ BÖLÜM

Bu bölümde sanayi devrimlerinin ortaya çıktığı koşullar, getirdikleri yenilikler ve örgütlerde yarattıkları değişimler anlatılmaktadır. Sanayi devrimleri sonucu örgütlerin nasıl değiştiği incelenirken örgütsel değişim konusunun yönetim yazınında ele alınışı ile değişimin mikro ve makro perspektiften bakış açılarına değinilmiştir. Ardından dördüncü sanayi devriminin gelişimi, devrimsel dönüşüm yaratan unsurları ve dönüşümün boyutları etraflıca incelenmiştir. Endüstri 4.0 olarak anılan bu yeni sanayi devrimi için Türkiye'nin çizdiği yol haritasından bahsedilmiştir.

Endüstri 4.0'ı ilan ederek yeni sanayi devriminin başladığını duyuran Almanya başta olmak üzere bütün dünyada her ülke kendi yol haritasını hazırlarken sanayide bu devrimin gerçekleşmesinin büyük işletmelerin yanı sıra KOBİ'lerin Endüstri 4.0 yeniliklerini benimsemesine bağlı olduğuna vurgu yapmaktadır. Bu doğrultuda KOBİ'lerin ekonomik sistemlerdeki rolü araştırılmış ve Endüstri 4.0 dönüşümündeki yeri ve önemi incelenmiştir. Yönetim ve örgüt yazınında KOBİ'lerin dijital dönüşümü araştırılırken zaman içinde oluşan eğilimler belirlenmiş ve araştırmalarda kullanılan yöntem ve teknikler değerlendirilmiştir.

1 SANAYİ DEVRİMLERİNİN GETİRDİĞİ ÖRGÜTSEL DEĞİŞİM

İnsanlık, tarih öncesi çağlardan itibaren gelişimini kullandığı malzemelere göre tasnif etmiştir. Her devire damgasını vuran belli başlı malzeme ve materyale ve bunların kullanım tekniklerine göre insanlık tarihi çağlara (taş devri, tunç devri gibi) ayrılmıştır. 1700'lerin sonunda insanlık tarihini tamamen değiştirecek olan dönemin belirleyici hammaddelerini pamuk, kömür ve demir oluşturmaktadır. Pamuk kadar hafif, doğada çokça bulunan bir bitkinin insanlık tarihinde büyük çaplı bir dönüşüme öncülük etmesi ironik olsa da dünya ticaretinin gelişmesi sonucu Hint pamuğunun

Avrupa'ya ulaşması ve pamuklu giysilere talebin beklenmedik ölçüde artması, dokumacılık ve tekstil endüstrisinin gelişmesine sebep olmuştur. Dokumacılıkta artan talebi karşılayabilmek için seri üretim yapabilme arzusu, modern yöntem ve teknikler geliştirme ihtiyacı doğurmuş ve teknolojik makinelerin üretilmesinin önünü açmıştır. Tekstilde kullanılan yeni teknoloji, metalürji ve inşaat endüstrilerine de yayılmış ve bu sanayi dallarının da hızla gelişmesini sağlamıştır. Köprüler ve kanallar inşa edilmeye başlanmıştır. Bu yüksek yatırımlar büyük bir işgücüne gereksinim yaratmış; bu durum, kırsaldan kentlere kitleler halinde göçün başlaması, kişi başına düşen milli gelirin artması, tüketim alışkanlıklarının değişmesi gibi demografik, politik ve ekonomik bir dönüşüm yaratmıştır (Rostow, 1975).

Buharlı motorun icadı girişte bahsettiğimiz gibi insanlığın gelişiminde en büyük sıçrayışı yaratan devrimsel gelişimdir (Brynjolfsson ve McAfee, 2014). Bu icat yeni enerji kaynakları olarak su ve buhar gücünden faydalanmayı sağlamış, bu yeni enerji kaynağı üretimde ve taşımacılıkta kullanılmaya başlanmıştır. Buharlı motorla çalışan trenlerin geliştirilmesi ve demiryolu taşımacılığı sayesinde üretilen ürünler daha hızlı ve daha az maliyetli olarak ülke geneline ve dünyanın birçok farklı noktasına ulaştırılmaya başlanmıştır.

On dokuzuncu yüzyılın ortalarında demirle birlikte çeliğin de kullanılması, elektriğin keşfedilmesi, hızla şehirlere ve çalışma hayatına nüfuz etmesi, insanlık tarihinin bir daha eskisiyle kıyaslanamayacak bir değişime girmesini sağlayan önemli gelişmelerdir. Dünya, demiryolu, telgraf, telefon, buharlı gemi ve kablo sistemleri dahil olmak üzere modern ulaşım ve iletişim tesislerinin doğuşuyla birlikte ulaşım ve iletişimde başka bir büyük değişim dalgasına tanık olmuştur. Teknolojik ilerlemeyle doğan bu değişim dalgası, aile yapısından demografik davranışlara, toplumsal sınıflardan politik güçlere kadar pek çok alanda toplumlarda kalıcı bir dönüşüm yaratmıştır.

Yirminci yüzyıl bilgi yüzyılıdır. Bir önceki yüzyılın ulaşım ve iletişim teknolojileri sayesinde bilgi daha kolay ve daha hızlı aktarılmaya başlanmıştır. Kitlesele üretim ve kitlesele tüketim ekonominin büyümesine, mega işletmelerin oluşmasına yol açmıştır. Yüzyılın ilk yarısında çok ortaklı, yüksek sermayeli işletmelerin yarattığı örgütsel bilginin toplumlara yayılmasıyla gelişen dönüşümlerden, ikinci yarısında ise

bilgisayar ve internetin doğuşuyla iletişimin öngörülemez bir hızla artması ve bilginin de aynı hızla yayılmasıyla küresel ekonomiye geçişten bahsedilebilir. Bilginin yayılması ve artması robotik teknolojilerin doğuşuna zemin hazırlamıştır. Bu dönemi örgüt düzeyinde teknolojik dönüşüm dönemi olarak adlandırmak yanlış olmaz.

Yirmibirinci yüzyıldan ise dijital çağ olarak bahsedilmektedir. İnsanların ağa bağlanmasına ek olarak nesnelerin de bilgilerini ağa aktarmasıyla fiziksel dünyanın sanal bir ağ üzerinde buluşması sağlanmış ve bilgiye her yerden anında erişim olanaklı hale gelmiştir. Örgütler açısından, üretimde müşterilerin ve ilgili diğer paydaşların doğrudan üretim safhasını eşzamanlı olarak takip ve kontrol edebildiği, bir ağ üzerinden sürece dahil olabildiği tam bir açık sisteme dönüş gerçekleşmektedir. Üretimin mantığı kitlesel üretimden kitlesel kişiselleştirmeye dönüşmüştür. Bahsedilen bütün bu değişimlerle birlikte ekonomik yörüngenin değişmesi sanayideki bu gelişmelerin de “devrim” olarak anılmasına yol açmıştır.

Ancak, sanayideki gelişmelerin “devrim” olarak nitelenip nitelenemeyeceği üzerine geniş tartışmalar süregelmektedir. Tekstilde modernleşmenin orta çağda başladığı; dahası Britanya’nın onaltıncı ve onyedinci yüzyıldan itibaren ekonomik olarak büyümeye başladığı, 1700’lerin başında kişi başına düşen milli gelirin çok yüksek olması sebebiyle ekonomik büyüme için yeni adımlar arayışında olduğu (Britnell, 1996); bu sebeple 1800’lerde geliştirilen dokuma tezgahının dönüşüm yaratacak bir yenilikten ziyade daha önceki birçok yeniliğin devamı niteliğinde olduğu görüşü (Freeman ve Louçã, 2002) birinci sanayi devrimine karşı temel kontra argüman olarak yankı bulmuştur. Bunun haricinde; Hollanda’nın ticaret hacminin, Avusturya’nın endüstriyel gelişimin ve Almanya’nın makineleşmesinin on sekizinci yüzyılın sonunda İngiltere’den daha yüksek olduğu ve sadece tekstildeki gelişmeye bağlı olarak sanayi devriminin İngiltere’de başladığını iddia etmenin yanlış olduğunu şiddetle savunan (Komlos, 1997), sanayi devrimi sonucu ortaya çıktığı düşünülen fabrika sisteminin aslında yeni bir örgütsel form olmadığını, on yedinci yüzyılın sermaye yoğun maden işletmelerinin de fabrika sistemi olarak kabul edilebileceğini söyleyen (Leijonhufvud, 1986) başka görüşler de alan yazında yer bulmuştur.

İktisatçılar “devrim” sözcüğünü kullanmaktan genel olarak kaçınmaktadırlar. Bununla birlikte kalkış, uçuşa geçiş anlamına gelen “*take-off*” ifadesiyle sanayideki

dönüşümün devrimsel nitelikte olduğunu vurgulayan araştırmacılara da (Rostow, 1959: 4) rastlanmaktadır. İktisatçılar tarafından ekonomik büyüme açısından en çok kabul gören yaklaşım Kondratieff'in (1926) uzun dalgalar yaklaşımıdır. Kondratieff, ekonomik durağanlık dönemlerinde; işsizliğin arttığı, geçim sıkıntısı yaşandığı dönemlerde keşiflerin arttığını ve teknolojik yeniliklerin ortaya çıktığını ve dolayısıyla ekonomik büyümenin gerçekleştiğini iddia etmiştir. Bu şekilde ortaya çıkan yeniliklerin 40 ila 60 yıl arasında uzun dönemli dalgalar halinde yayıldığını, ortalama 50 yıllık yükseliş dönemi sonrasında yeniden durağanlığın başladığı ve döngünün tekrarladığını ileri sürmektedir. Schumpeter (1939) bu uzun dönemli değişim dalgalarının sadece teknoloji kaynaklı olmadığını, dinamik yenilikçi girişimcilerin devamlı olarak ekonomik dengeyi bozan yenilikleriyle iş döngüleri yaratmasına bağlamıştır. Girişimciyi sermayedardan, işletme yöneticisinden ve buluş yapan kişilerden keskin çizgilerle ayırmış ve yalnızca yenilikçi bir girişimcinin uzun dönemli ve büyük çaplı değişim yaratacak güçte olduğunu vurgulamıştır. Bu gücü yaratıcı yıkım (schöpferische Zerstörung) olarak tanımlamış, yıkımın ve yeniden inşanın; dolayısıyla eskiyi tamamen yok edip yerine yenisi getiren endüstriyel değişimin yenilikle olacağını ileri sürmüştür. Yeniliklerin yayılmasının da Kondratieff'in dalga aralığıyla uyumlu olduğunu savunmuştur. Ekonominin makro perspektifinde ihmal edilen girişimcinin rolünün önemine dikkat çekmesi, aktörün dengeleri değiştirme gücünü vurgulaması ve bunu yenilik kavramıyla açıklaması açısından Schumpeter'in görüşleri Kondratieff'in modelinin tamamlayıcısı olarak görülebilir. Freeman ve Louçã (2002: 141), ilk üç sanayi devrimini kapsayan Kondratieff'in uzun dalgalarını ve yarattığı örgütsel değişimi Tablo 1'deki gibi özetlemiştir.

Görüldüğü gibi Kondratieff'in dalga modeli sanayi devrimleri yaklaşımından çok farklı değildir. Kondratieff'in uzun dönemli dalga modeline göre sanayideki gelişimler ve örgütlerde yarattığı değişimler klasik endüstri devrimleri hikayesinden farklı olarak ikinci sanayi devrimi üç aşamalı olarak sınıflandırılmıştır ve ekonomik dönüşüm beş uzun dalga dönemi olarak incelenmiştir. Endüstri 4.0 olarak adlandırdığımız günümüz sanayi devrimini de bu beş aşamanın devamı olarak altıncı dalga olarak gören (Wilenius, 2014) ve halen sanayi devrimlerini 'devrim' yerine ekonomik değişim dalgaları olarak kabul eden araştırmacılar mevcuttur. Ancak, Kondratieff doğrudan ekonomik büyüme odaklı ekonometrik bir analiz ortaya

koymuştur. Sınıflandırmanın sanayi devrimleriyle benzerliği açısından ve halen iktisatçılar arasında çok yankı bulması sebebiyle sanayi devrimlerinden bahsederken Kondratieff dalgalarına değinmek gerekli görülmüştür.

Tablo 1. Kondratieff Dalgaları ve Örgütsel Değişim

Teknik ve Örgütsel Yenilikler	Öncü Sektörler	Temel Materyaller	Ulaşım ve İletişim Altyapısı	Yönetim ve Örgüt Yapısında Değişimler	Yükseliş Dönemi/ Düşüş Dönemi
Sanayide su gücü kullanarak makineleşme	Pamuk eğirme Su Çarkları Deterjanlar	Demir Ham pamuk Kömür	Kanallar Paralı yollar Yelkenli gemiler	Fabrika sistemi Girişimcilik Ortaklık	1780'ler- 1815 1815-1848
Sanayide buhar gücüyle makineleşme ve ulaşım	Demiryolları ve demiryolu ekipmanları Buharlı motorlar Makine parçaları Kimya sanayi	Demir Kömür	Demiryolları Telgraf Buharlı gemiler	Anonim şirketler Zanaatkarlarla taşeronluk anlaşmaları	1848-1873 1873-1895
Sanayide, ulaşım ve evlerde elektrik kullanımı	Elektrik ekipmanları Ağır mühendislik Ağır kimyasallar Çelik ürünler	Çelik Bakır Metal alaşımlar	Çelik raylar Çelik gemiler Telefon	Uzmanlaşmış profesyonel yönetim sistemleri Taylorizm Mega işletmeler	1891-1918 1918-1940
Ulaşım, ekonomide ve savaşlarda motor gücünü kullanma	Otomobiller Tırlar Traktörler Tanklar Dizel motorlar Hava kuvvetleri Rafineriler	Petrol Gaz Sentetik materyaller	Radyo Motorlu taşıt yolları Havalimanları Havayolları	Kitlesel üretim Kitlesel tüketim Fordizm Hiyerarşiler	1941-1973 1973-
Bütün ekonomide bilgisayarlı sisteme geçiş	Bilgisayarlar Yazılım Telekomünikasyon Biyoteknoloji	Çipler (entegre devreler)	Internet	Örgüt içinde, ülke bazında ve dünya çapında ağ yapıları	

Kaynak: Freeman ve Louçã (2002, 141).

Ancak, sanayi devrimi kavramını yalnızca ekonomik büyüme ile açıklamak, devrimlerin insanlığın gelişimindeki dönüştürücü boyutunu derinlemesine incelemeyi ve anlamayı zorlaştırır. Sanayideki gelişmelerin devrimsel etkisi aile yapısından, yaşam biçimine, büyük göçlerden dünya savaşlarına varan sonuçlarıyla insanlık tarihinin kökten değişimine neden olmakta ve çok daha kapsayıcı şekilde ekonomik,

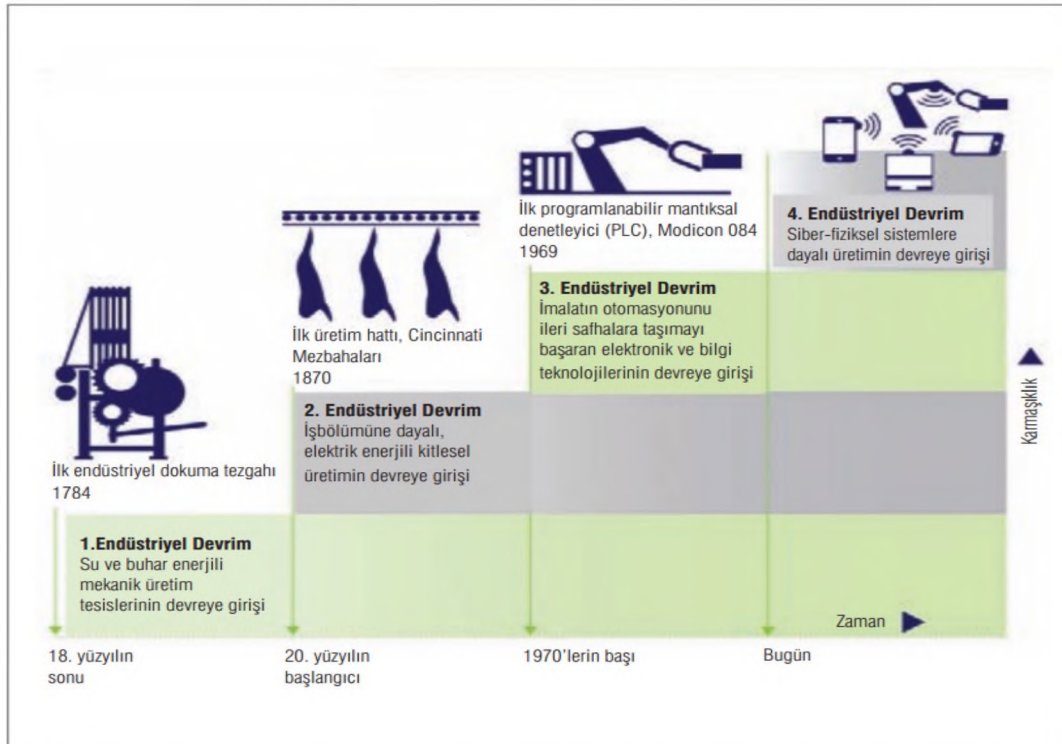
politik, sosyolojik bir dizi dönüşümü ve dolayısıyla çağın paradigma değişimini bünyesinde barındırmaktadır. Bu çalışmada, sanayi devrimlerinin bilhassa, dördüncü sanayi devriminin yarattığı örgütsel değişime odaklanılmıştır. Dolayısıyla, örgütsel değişimi de yalnızca ekonomik etkenlerle açıklamak, örgütsel değişimi tetikleyen ve zorunlu kılan toplumsal dönüşümleri göz ardı etmek anlamına gelecektir. Bu nedenle, bu çalışmada uzun dalga modeli yerine sanayi devrimi kavramı kullanılacak ve çalışmanın seyri bu ayrıma göre ilerleyecektir.

Endüstriyel devrimlerin gelişimine dönecek olursak, örgütsel bilginin üretilmesi ve aktarılması çerçevesinde değerlendirildiğinde; 1800'lerin başında örgütsel hafızayı oluşturan bilginin yalnızca örgüt üyelerinde; yani bireylerde depolandığı gözlemlenmektedir. Tren yollarının inşasıyla, örgütsel belleğin yalnızca bireylerde olması koordinasyon sorunlarına yol açmış ve Taylor'ın (1911) da belirttiği üzere; 1800'lerin sonu ve 1900'lerin başında sanayi devrimlerinin örgütsel bilginin depolanmasında yarattığı fark belirginleşmiş ve örgütsel hafıza bireylerle birlikte, bireylerden bağımsız olarak kayıtlar, kurallar ve prosedürler içinde depolanmaya başlamıştır. Sonraki yıllarda örgüt içinde tekrarlanan eylemlerin örüntülerinden oluşan rutinlerin örgütsel öğrenme üzerindeki etkisi araştırmacılar tarafından sıklıkla incelenmiş ve örgütsel öğrenmede simülasyon programları kullanarak, rutin programların karar vermeye etkisi vurgulanmıştır (Argote, 2013: 90). 1900'lerin sonuna doğru bilgi teknolojilerinin gelişmesi örgütsel bilginin bireyler ve rutinler dışında kullanılan teknolojilerde depolanmasına imkân vermiştir. Otomasyona geçişle birlikte kullanılan makine ve robotlar da örgütsel belleğin depolandığı araçlar olarak karşımıza çıkmıştır. 2000'lerde başlayan dijitalleşme ile örgütsel bilgi birey-görev ve araçların yanı sıra bunları birbirine bağlayan sanal ortamda ve bu örgütsel bilgi depolarının etkileşimlerinde de depolanabilmekte ve örgütsel öğrenme sistem düzeyinde bir ağ yapısı içinde kesintisiz olarak gerçekleşmektedir.

Sanayi devrimlerinin yarattığı dönüşümü şöyle özetleyebiliriz; birinci sanayi devrimi ile, su gücü ve buhar gücüyle çalışan makineler sayesinde örgütlerde *mekanizasyon* dönemi başlamıştır. İkinci sanayi devriminde mekanik enerjinin yerini elektrik enerjisi almış ve bu sayede *büyük ölçekli kitlesel üretime* geçilmiş ve koordinasyonu sağlayabilmek için *iş bölümüne* gidilmiştir. Modern sanayi devrimi olarak da adlandırılan üçüncü sanayi devrimiyle ise bilgi teknolojileri ve elektronik

gelişmiş, üretimde mikro işlemciler ve sayısal kontrollü makinelerle *otomasyon* çağı başlamıştır. Otomasyon çağını yirmi birinci yüzyılın sanayi devrimi olan, örgütlenme ve kontrol anlayışını radikal olarak dönüştürecek *dijitalleşme* takip etmiş ve bu yeni endüstriyel devrim önceden duyurularak Endüstri 4.0 olarak adlandırılmıştır (Hoellthaler, Braunreuther, Reinhart, 2018, 523). Endüstriyel devrimlerin tarihi gelişimi Şekil 2’deki gibidir.

Şekil 2. Sanayi Devrimlerinin Tarihsel Gelişimi



Kaynak: Uyarlayan: Kesayak, B. <https://www.endustri40.com/endustri-tarihine-kisa-bir-yolculuk/>, (Görüntüleme: 10.10.2021). Alıntılanan: Kagermann, Wahlster, Helbig, 2013.

Sanayide devrimsel değişim örgütün dışındaki birçok parametrenin değişmesiyle gerçekleşmekte ve dolayısıyla örgütün hayatta kalabilmek için bu değişen duruma uyum sağlaması, örgüt yapısını yeni dinamiklere göre uyarlaması beklenmektedir. Dolayısıyla örgütler von Bertalanfy'nin (1951) açık sistem yaklaşımında tanımladığı gibi çevresiyle etkileşim içinde olan çevreden gelen geribildirimlere sürekli olarak cevap veren ve içinde bulunduğu sisteme uyum sağlayan yapılar olarak ele alınmaktadır. Bu noktada, sanayi devrimlerinin yarattığı örgütsel değişimlere değinmeden önce “örgütsel değişim” den ne kastedildiğine ve

yönetim yazınında örgütsel değişimin nasıl ele alındığına göz atmak için bir parantez açmak yerinde olacaktır.

Örgütsel değişim araştırmaları, değişimin sonuçlarına ve yarattığı etkiye bakılarak ekonomik dengeyi bozacak düzeyde paradigma değişimi yaratacak, dönüştürücü, radikal değişimler ile ekonomik dengenin olduğu bir ortamda gelişmelere ve birbirini takip eden yeniliklere bağlı olarak artan artımlı değişimler olarak iki farklı perspektiften ele alınmaktadır. Bu iki perspektifi Watzlawick, Weakland ve Fisch (1974) birinci dereceden-ikinci dereceden değişim olarak, Tushman ve Romanelli (1985) artımlı değişime karşı radikal değişim olarak, Meyer, Goes ve Brooks (1990) sürekli değişime karşı süreksiz değişim olarak ele almıştır. Farklı sınıflandırmalar yapılsa da bu araştırmaların ortak kanısı, sanayi devrimleri gibi dönüştürücü etki yaratacak değişimlerin sürekli olamayacağıdır. Bu çapta değişimlerin radikal sonuçlar doğurması normaldir ancak bu değişimin etkisi ekonomik sistem dinamik dengeyi yakalayana kadar sürmektedir. Dinamik denge ortamı tekrar sağlandığında radikal etki ortadan kalkmakta ancak gelişmeler doğrultusunda örgütsel değişimler artımlı olarak sürekli devam etmektedir. Artımlı değişimler aynı zamanda birinci dereceden değişim olarak da adlandırılmaktadır. Değişimin birinci dereceden veya ikinci dereceden olmasının yarattığı etkiler hem örgüt düzeyinde hem de endüstri düzeyinde iki farklı düzlemde incelenmektedir. Meyer vd. (1990), birinci dereceden artımsal değişimler örgüt düzeyinde ise adaptasyon, endüstri düzeyinde ise evrim olarak tanımlamışlardır. İkinci dereceden radikal değişimler örgüt düzeyinde gerçekleşirse başkalaşım, endüstri düzeyinde gerçekleştiğinde devrim olarak adlandırılmıştır.

Yönetim disiplinde örgütsel değişim mikro ve makro perspektiflerden ele alınmış, örgütsel değişimin içerden mi dışardan mı kaynaklandığı üzerine yapılan tartışma yapı-eyleyen ikiliği bağlamında sürdürülmüştür¹. Bu tartışmalar sonucunda örgütsel değişim hem mikro (uyumcu değişim, planlı değişim, aşamalı değişim, güç temelli değişim ve anlatıya dayalı değişim) hem makro örgüt kuramlarına (yeni kurumsalcı yaklaşım, örgütsel nüfus-çevre bilim kuramı ve kaynak bağımlılığı kuramı) konu edilmiştir. Yeni kurumsalcı yaklaşıma göre (Meyer ve Rowan, 1977, DiMaggio

¹ Detaylı okuma için: Burrell & Morgen (1979), Sargut & Özen (2007).

ve Powell, 1983) örgütsel değişim içinde bulunulan kurumsal çevrenin baskılarıyla gerçekleşmektedir. DiMaggio ve Powell (1983) üç farklı eşbiçimlilik mekanizmasıyla (zorlayıcı, normatif, öykünmec) örgütlerin kurumsal çevrede kabul edilen belli bir örgüt formuna evrileceğini göstermiştir. Bu yaklaşımda çevresel baskılarla gerçekleşen örgütsel değişimde aktörün de bir rolü olduğu ve içinde bulunduğu örgütü değiştirerek kurumsal çevreye etki edebileceği ayrıca vurgulanmıştır. Örgütsel nüfus-çevre bilim kuramında ise Hannan ve Freeman (1977) aktörün örgüt popülasyonlarının değişiminde önemli bir rolü olmadığı, hayatta kalan örgüt formlarının çevresel (evrimci) bir doğal seleksiyon sonucu belirleneceğini savunmuşlardır. Bu bağlamda, Schumpeter'in (1939) örgütsel değişimin yalnızca yenilikçi bir girişimciye bağlı olduğu, ancak yenilikçi girişimcinin sürekli yenilikler yaparak ekonomik dengeyi bozduğu savıyla ters düşmüşlerdir. Öte yandan kaynak bağımlılığı kuramında Pfeffer ve Salancik (1978) benzer şekilde girişimcilerin ve yöneticilerin aktif rol alarak kıt kaynaklar üzerinde kontrol sahibi olabilmek ve bulundukları çevreyi manipüle etmek amacıyla çeşitli ağ yapılarında yer alabileceği, stratejik ortaklıklar ve iş birlikleri yapma yoluyla örgüt yapısını değiştireceğini iddia etmiştir.

Birçok farklı disiplindeki örgütsel gelişim ve değişim çalışmalarını mikro-makro perspektifin ötesinden değişimin birimine ve değişim tarzına göre metaforik olarak ele alan Van de Ven ve Poole (1995), örgütsel gelişim araştırmalarını yaşam döngüsü kuramı, teleolojik kuram, diyalektik kuram ve evrimsel kuram olarak dört ideal tip altında toplamışlardır. Teleolojik kuram, varlığın amaç odaklı ve uyumcu olduğunu ifade etmektedir. Varlık başkalarıyla etkileşimler kurarak, yinelemeli eylemlerle öğrenerek hedeflenen amaca ulaşmak için çaba harcamakta ve geçmiş tecrübelerle gerekli durumlarda amacı modifiye ederek yeni bir amaç belirlemektedir. Yapısalcılık, sosyal inşa, karar verme modelleri, uyumcu öğrenme, stratejik planlama, bilimsel yönetim, planlı değişim ve liderlik yaklaşımları gibi yönetim disiplini araştırmaların yörüngesini belirleyen önemli yaklaşımlar teleolojik kuram çatısı altında gösterilmektedir. Teleolojik kuramın modelleri yönetim disiplinin baskın yaklaşımları olmakla birlikte değişimin her zaman rasyonel ve doğrusal olduğunu iddiaları bakımından ve kültür ve sosyal algı konusunu ihmal etmesi sebebiyle eleştirilmektedir. Örgütlerde olayların kendiliğinden oluşabileceği, davranışların her

zaman rasyonel olmayacağı, liderin gücünün iddia edildiği kadar büyük olmadığı yönündeki itirazlar karşıt akımların oluşmasında etkilidir (Kezar, 2001, 48). Diyalektik kuramın çıkış noktası ise Hegel'in varsayımlarına dayanmaktadır. Hegel, farklı amaçları olan ve bu amaçlara ulaşmak için birbiriyle çatışan, diğeri üzerinde tahakküm ve kontrol kurmaya çalışan karşıt güçler olduğundan söz etmektedir. Söz konusu güçler örgütün içinde farklı çıkarları olan gruplar olabildiği gibi örgütün dışında örgütü etkileyen farklı çıkar grupları da olabilir. Güçler dengesi örgütün statüko veya değişim durumunun belirleyicileridir. Karşıt görüşler arasındaki çatışmalar tez-antitez-sentez döngüsüyle örgütsel değişimi yaratmaktadır. Çatışma yönetimi, çıkar grupları, sosyal hareketler, işçi sendikaları üzerine araştırmalar (Kezar, 2001, 57) diyalektik kuram başlığı altında değerlendirilmektedir. Öte yandan, teleolojik kuramın karşı cephesinde eş zamanlı olarak gelişen evrimsel kuram, amaç odaklı planlı değişim yerine Darwinci evrim felsefesiyle uyumcu değişimleri inceleyen örgütlerin çeşitlenmesi, seçilimi, örgüt popülasyonlarının karakteristik değişim olasılıklarını açıklamaya çalışan araştırmaları kapsamaktadır. Örgütsel nüfus-çevre bilim kuramı, yeni örgütsel formların simülasyon varyasyonları, koşul bağımlılık, sistem yaklaşımı, adaptasyon, kaynak bağımlılığı, öz örgütlenme evrimsel kuramın bilinen çalışmalarıdır. Son olarak evrimsel kuramın yaklaşımlarıyla benzerlik içeren ancak daha çok insanın değişimine odaklanan (Kezar, 2001, 51) yaşam döngüsü yaklaşımlarına göre değişim içseldir, varlık doğuştan getirdiği kodlar uyarınca zamanla olgunlaşır ve farklılaşır. Bu gelişim belli bir sırayı doğrusal bir yolla takip ederek olur. Dış çevre de bu süreçte etkili olabilir ancak varlık doğal gelişimini içkin mantık ve kurallar doğrultusunda gerçekleştirir. Bireysel kariyerlerin, grupların ve örgütlerin gelişimi ile grupların karar verme aşamaları yaşam döngüsü mantığı altında toplanmaktadır.

Van de Ven ve Poole 'nin (1995) tipolojisinde ihmal edildiği düşünülen sosyal bilişsel yaklaşımlar ve kültür çalışmaları Kezar (2001) tarafından örgütsel değişim tipolojisine eklenmiştir. Sosyal bilişsel yaklaşımlar, daha önceki dört genel kuramın yapısalcı yaklaşımından uzaklaşmaktadır. Kuramın yaklaşım modelleri diyalektik kuramın modellerine benzerlik göstermektedir. İnsanı odağına alması bakımından yaşam döngüsü yaklaşımlarına da benzemektedir. Örneğin, yaşam döngüsü kuramında örgütsel öğrenme üzerine araştırmalar mevcuttur ama bu çalışmalar örgütsel

öğrenmenin değişime etkisine odaklanmıştır. Bilişsel yaklaşımlar ise öğrenmenin bilişsel süreçlerinin nasıl geliştiğini inceleme konusu yapmaktadır. Bu doğrultuda beyinde bilginin nasıl üretildiği, bilişsel uyumsuzluk fenomeni, sibernetik, anlamlandırma, örgüt içinde farklı bireysel gerçeklik algılarının oluşumu gibi konular bu alanın başlıca araştırma alanlarıdır. Örgütsel değişimi kültürel yaklaşımlarla ele alan araştırmalar, değişim kültürel ve politik çevredeki değişimler sonucu doğal olarak oluşacağını dile getirmektedir. Schein (1985), örgütsel değişimi örgüt içindeki değerlerin, inançların, mitlerin ve ritüellerin değişmesine bağlamaktadır. Değişim, doğrusal, rasyonel ya da öngörülebilir değildir ve uzun vadeli bir süreçtir. Değişimin anlaşılabilmesi örgütlerin sembolik doğasının anlaşılmasıyla mümkündür. Örgüt içi paylaşılan ortak anlamlar, kolektif değerler, metaforlar ve sembolik eylemler kültürel yaklaşımın çalıştığı konulardır.

Van de Ven ve Poole'nin (1995) geniş kavramsal çerçeveden ele aldığı tipolojisi örgütsel değişimin iç dinamiklere bağlı olarak değişeceğini savunan mikro bakış açısına indirgendiğinde beş temel mikro kuramsal yaklaşıma ulaşılmaktadır (Brazzel, 2014): Dışardan gelen beklenmedik değişim taleplerine rekabet avantajı yaratmak amacıyla etkileşimlerle uyum sağlanmasını öneren uyumcu değişim yaklaşımı, örgütün planlı olarak bir noktadan başka bir noktaya taşındığını iddia eden planlı değişim yaklaşımı, örgütün doğal süreçleri sonucu gelişimden kaynaklanan aşamalı değişim yaklaşımı, ağ ilişkileri, koalisyonlar kurarak örgütün güç dengelerini değiştirmeye yönelik güç temelli değişim yaklaşımı, örgütün değişim sonrası yeni gerçekliğinin sosyal olarak inşa edilmesi gerektiğini vurgulayan anlatıya dayalı yaklaşımdır.

Planlı değişimin savunucusu Lewin (1951) örgütsel değişimin dışardan gelecek baskıların yanı sıra örgütün iç dinamikleriyle açıklanması gerektiğini ifade etmiştir. Lewin'e göre değişimin gerçekleşmesi için örgütün ilk olarak değişime hazır olması gerekmektedir. Kendi tabiriyle "*buzların çözülmesi*" gerekmektedir. Eşyanın tabiatı gereği her değişim bir dirençle karşılaşır. Örgütsel değişim ancak değişime zorlayan kuvvetlerle örgüt içinde değişime direnç gösteren kuvvetler arasındaki denge değişim yönünde bozulduğunda gerçekleşebilecektir. Bu sebeple, değişime zorlayan kuvvetlerle statükoyu korumaya zorlayan direnç kuvvetlerinin iyi tanımlanması gerekmektedir. Direncin çok kuvvetli olması halinde örgütsel değişim hiç

gerçekleşmeyecektir. Levy ve Merry (1986, 18-19), buzların çözülmesi sürecini değişime direnen kuvvetler bağlamında şöyle ele almıştır: Paradigmatik bir değişim söz konusu olduğunda örgütün ilk tepkisi inkâr ve kaçınma yollarını aramaktır. Bu yumuşak direnişi korku ve öfke ile ortaya çıkan ve değişimi kabullenmeyen güçlü bir direniş takip edecektir. Değişimin kaçınılmaz olduğu anlaşıldığında pasif direnişe geçilecek ve örgüt değişimi kabullenecektir ama örgüt üyeleri ne ölçüde değişime uyum sağlayacaklarını kendileri belirleyecek ve değişimi mümkün olduğunca sınırlı tutmaya çalışacaklardır. Her ne kadar sınırlanmaya çalışılsa da değişim örgütün içine nüfuz etmeye başladıkça üyelerin tutumları çatışmalar yaratmaya başlayacak ve değişimi zorlayan kuvvetlerle direnen kuvvetler arasında çok yönlü bir yüzleşme yaşanacaktır. Değişim bu direnci aşacak boyutta dönüştürücü bir etkiye sahipse, yaşanan yüzleşmeler sonucunda da buzların tamamen çözüldüğü, direnişin kırıldığı, yeni bir paradigmaya geçildiğinin çaresizce kabullenildiği, yalnızca eskiye özlem duyulan yas dönemi başlayacaktır. Ancak örgüt üyeleri bu yeni duruma da alışacak ve yas süreci de sonlanacaktır. Değişime direnişin kırıldığı “buzların çözülmesi” aşaması içinde krizlerin, çatışmaların olduğu kaotik bir süreçtir. Direncin kırılması ve değişimin gerçekleşmesi durumunda, Lewin’in örgütsel değişim modelinin üçüncü aşamasında yeniden denge durumu oluşacak ve yeni bir değişim yaşanana kadar “*sular yeniden donacak*” ve örgüt yeni formunda stabil, kararlı bir yapı sergileyecektir. Lewin’in üç aşamalı değişim modeli ile kuvvet-alan modeli üzerinden birçok mikro örgütsel değişim modeli kurgulanmış, bazı noktalarda Lewin’in modeli geliştirilmiştir ancak örgütsel değişimin örgütün içinden aktif eylemle gerçekleşebileceği mantığı genel olarak benzerlik göstermektedir.

Değişim gerek örgütsel aktörlerin doğrudan eylemleriyle planlı olarak gerek çevrenin aktörleri baskılamasıyla kendiliğinden gelişmiş olsa da, her bir sanayi devrimi sonrası yeni örgütsel formların doğduğu, yeni iş sistemlerinin geliştiği ve örgütlerin son iki yüzyıl içinde çok büyük dönüşümler geçirdiği aşikardır. Araştırmanın bu kısmında sanayi devrimlerinin örgütsel değişimleri nasıl tetiklediği ve teknolojik değişimlerin ve çevresel dönüşümlerin örgüt yapılarını, yönetim felsefesini, üretim ve satış tekniklerini, örgütlenme prensiplerini, çalışanlara ve müşteriye yaklaşımı nasıl etkilediği, yeni örgüt formlarının ne zaman ortaya çıktığı,

sanayi devrimlerinin yarattığı paradigma değişimlerinin örgütler üzerinde ne derece etkili olduğu açıklanmaya çalışılacaktır.

1.1 Birinci Sanayi Devrimi (İngiliz Sanayi Devrimi)

18. yüzyılın sonlarında Britanya'da ortaya çıktığı iddia edilen Birinci Sanayi Devrimi üretimde yeni enerji kaynaklarının kullanılmasını olanaklı kılmıştır (Chandler, 1990). İngiliz Sanayi Devrimi olarak da anılan ilk sanayi devrimi teknolojik bir devrimdir denilebilir. Onaltıncı ve onyedinci yüzyılın merkantilist ticari hareketlerin dünya geneline yayılması ve ticaret hacminin çok yüksek seviyelere ulaşması; yüksek miktarda ve hızlı üretim yapabilecek ve beraberinde üretilen ürünleri hızla ulaştırabilecek teknolojiye gereksinimi artırmıştır. Alexander Hamilton sanayideki gelişmeyi merkantilizmin modernleşmesi olarak yorumlamıştır. Ticaretin sürdürülebilmesi için devletler tarafından yapılan köprüler, kanallar gibi altyapı çalışmalarını artırması ve güvenilir bir finansal sistemin kurulmasıyla endüstriyel gelişmelere zemin hazırlandığını iddia etmiştir (Dorfman, 1991: 578-580).

İhtiyaç duyulan teknoloji aydınlanma çağının bilim insanlarının teorik bilgilerini deneysel olarak kanıtlama çabaları sayesinde deneysel gereçleri yapabilecek zanaatkarlarla bir araya gelmesiyle keşfedilmeye başlanmış ve müteşebbislerce hayata geçirilmiştir. Ticari devrim ve bilimsel devrim sanayi devrimini tetikleyen gerekli koşulları oluşturan birçok faktörden en belirgin olanlarıdır. Sanayi devriminin doğuşunu merkantilizmin devamı ve sonucu olarak ele alan araştırmalar mevcuttur. Ne var ki, tarihin birçok döneminde ticaret hacminin büyüdüğü dönemlere rastlanmaktadır ancak hepsi sanayide devrimsel bir etki yaratmayı başaramamıştır. İngiliz sanayi devriminin oluşmasında dünya genelinde özellikle Avrupa'da politik, dini ve sosyolojik birçok dönüşümün yaşanması da etkilidir (Freeman ve Louçã, 2002: 153-181).

Birinci sanayi devriminin ekonomik boyutunu açıklayabilme çabaları sosyal değişim okulu, endüstriyel örgüt okulu, makroekonomik okul ve teknolojik okul olarak dört farklı ekolün doğmasına sebep olmuştur. Bu ekollerden sosyal değişim okulu ile makroekonomik okul doğrudan genel ekonomik yapının değişimine ve makro verilere odaklanırken, endüstriyel örgüt okulu değişimleri örgüt düzeyinde incelemiş, örgütlerin yapı ve ölçeklerinde meydana gelen büyük dönüşümleri

vurgulamıştır. Teknik okul ise teknolojik gelişmeleri odak noktasına alarak yeni teknik bilgilerin yayılmasıyla örgütlerde kullanılan yöntem ve tekniklerin de radikal olarak değişeceğine dikkat çekmiştir (Mokyr, 1999: 5-6).

Britanya’da başlayıp dünyaya yayılan bu ilk endüstri devriminin örgütler açısından en dönüştürücü boyutu ise endüstriyel örgüt okulunun ortaya koyduğu üzere yeni bir örgütsel form olan ve büyük ölçekli üretim yapabilen fabrikaların doğuşuna zemin hazırlaması olmuştur (Kapás, 2008; 19). 1700’lerin sonuna kadar iş sistemi dağınık, küçük çaplı, usta-çırak ilişkisi ile deneme yanılma yoluyla ilerleyen aile işletmeleri üzerine kurgulanmıştı. Ancak yeni teknolojilerin ürünü olan imalat makinelerinin maliyeti küçük zanaatkarların karşılayabileceğinden yüksektir ve geleneksel becerilerle yürütülen aile işletmelerinde bu makineleri kullanabilecek teknik bilgi bulunmamaktadır. Yeni makine ve teçhizatların kullanımının bireysel bilgi kapasitesini aşması, zanaatkarların mühendislerle bilgi alışverişinde bulunarak iş bölümü yapmasını gerektirmiştir. Bu durum, işgücünü aynı çatı altına toplayan fabrikaların kurulmasına sebep olmuştur. Fabrikalarda çalışan işçi yoğunluğu üretimin kapasitesini kitlesel üretim yapabilecek seviyeye çıkarmıştır (Leijonhufvud, 1986: 2). Bununla beraber, fabrika çatısı altında birlikte çalışan bireyler arasında güven gelişmiş ve bilgi paylaşımı artmıştır. Böylece fabrikalar, teknik bilginin üretildiği, öğrenildiği ve örgüt belleğine kaydedildiği bilgi üreten örgütsel birimlere dönüşmüştür. Bu sayede yüzyıllardır devam eden hane halkı için bireysel üretimin yerini takım çalışmasıyla kolektif üretim almıştır. Fabrikanın yarattığı en önemli değişim takım çalışması sayesinde işlerin bölünmesi, görevlere ayrılması, belirli bir düzen kurulması ve koordinasyondur. Basit görevlerin sürekli tekrar edilmesi işlerin rutinleşmesini sağlar. İşler rutinleştikçe üretimin maliyeti azalır ve üretim miktarı artar, böylece verimlilik artışı sağlanmış olur. İşgücünün belli bir çatı altında toplanması, işlerin görevlere ayrılması, örgüt disiplininin gelişmesi kurumsallaşmanın göstergeleridir. Sanayi devriminin örgütsel açıdan en büyük etkisi üretimin kurumsallaşmasıdır (Mokyr, 1999: 68-75).

1.2 İkinci Sanayi Devrimi

On dokuzuncu yüzyılın sonlarında “sanayi şirketleri” olarak anılacak yeni bir örgütsel formun oluştuğundan söz edilebilir. Modern ulaşım ve iletişim ağlarının tamamlanmasıyla yaygınlaşan bu şirketler yüksek hacimli ürünler üreterek ulusal ve

uluslararası düzeyde ürün ve bilgi akışını süratle sağlamıştır. Elektriğin bulunması bu dönemin devrimsel gelişimidir. Buharlı motorun yerini elektrik türbinleri, hidroelektrik santralleri ve benzinli motorlar almıştır. Ekonomik ortamı özetlemek gerekirse; bu dönemde yeni sanayi dalları ortaya çıkmış, evde, ofiste, tarımda ve ağır sanayide kullanılacak yeni makineler üretilmeye başlanmıştır. Bunun yanı sıra kimya endüstrisi ve ilaç sanayi gelişmeye başlamıştır (Stearns, 2021).

Bu dönemde gelişen sanayi şirketlerinin ilk kurulan fabrikalara göre önemli bir farkı bu şirketlerin gelişen teknoloji sayesinde ölçek ekonomilerini başarılı olarak kullanabilmeleridir. Bir diğer fark ise bu şirketlerin öncellerine nazaran daha sermaye yoğun yapıda olmasıdır. Ölçek ekonomilerini kullanabilmek büyük çaplı yatırım gerektirdiği için sanayi şirketleri birçok küçük işletmenin birleşmesiyle oluşmuştur (Freeman ve Louçã, 2002). Birinci sanayi devrimiyle ortaya çıkan fabrikalar işçi yoğun işletmelerdi ve sadece üretim odaklıydı. Bu nedenle üretilen ürünlerin dağıtımı başka işletmelerce yapılmaktaydı. Sermaye yoğun sanayi işletmeleri ise dağıtımı kendi bünyelerine alarak tedarikçilere olan bağımlılığı ortadan kaldırma yoluna gitmiştir (Chandler, 1990). Dönemin büyüme anlayışı temelde, hammaddeye erişimin ve üretim sonrası satış işlemlerinin kontrolünün sağlanmaya çalışıldığı dikey büyüme mekanizmalarının geliştirilmesi üzerinedir. Dikey büyüme, bir yandan yöneticilerin girdilerin sürekliliğini sağlamak ve yeni pazarlar bulmak konusunda üzerlerindeki sermayedarların baskısından kaynaklanmaktadır. Öte yandan, tedarikçilerin üretilen yeni teknolojik ürünler hakkında bilgi sahibi olmamaları, müşterilere gerekli kurulum, tamir bilgilerini verememeleri ve özellikle ağır sanayide kullanılacak makineleri saklayabilecek fiziki alanlara sahip olmamaları gibi yetersizlikleri, üretici işletmelerin tedarik işini de üstlenmesini bir bakıma zorunlu kılmıştır. Ağır sanayi ve karmaşık teknolojik ürünlerin satışını sanayi işletmeleri doğrudan kendileri yaparken, diğer ürünlerin satışı için toptancı ağları kurulmuştur. Üretilen bu ürünlerin perakende satışları başka işletmelerce yapılmış ve toptancı-perakendeci ayrımı doğmuştur. Bu sayede, perakende ağı kurmanın finansal ve yönetsel maliyetleri ve riskleri sanayiciler tarafından üstlenilmemiştir. Dezavantajı ise, sanayi işletmelerinin, nihai tüketicinin taleplerine ve rakiplerin ürünlerine dair bilgileri perakende satış yapan müşterilerinden dolaylı olarak edinmek durumunda kalmaları olmuştur.

Sermaye yoğun şirketlerin ölçek ekonomilerinden sağladığı maliyet avantajının oldukça yüksek olması, bu işletmelerin ulusal sınırların ötesine geçmesini olanaklı kılmıştır. Yüksek karlılık yeni coğrafi pazarlara ve yeni ürün pazarlarına yayılımı da beraberinde getirmiştir. Bu durum, yeni bir iş alanı olarak uluslararası pazarlama ve dağıtım işletmelerinin doğmasını sağlamıştır. Ne var ki; piyasaya ilk giren işletmeler sağladıkları yüksek kazanç sayesinde hızla büyüyerek piyasa üzerinde etkili birer güç haline gelmiş, dolayısıyla pazara yeni girecek işletmelerin önünde bariyerler yaratmıştır. Uluslararası genişleme de yine aynı şirketlerce sağlandığından 1800'lerin sonunda ekonomik açıdan dünya piyasaları oligopolistik bir yapı sergilemektedir (Chandler, 1992: 80-83).

Yirminci yüzyılın başında Amerika'nın yanı sıra Almanya'da da bilimsel bilginin artışıyla gelişen teknoloji sayesinde fabrikalar büyümüş, ürün ve süreçlerin tasarımında daha bilinçli uygulamalarla üretim maliyetleri standartlaştırılmıştır. 1899-1914 yılları arasında Amerika'da petrol ve kimya endüstrileri ile tütün ve konserve gıda endüstrileri yeni sanayi dalları olarak ortaya çıkmıştır. Ancak; Amerika'da devrimsel dönüşümü tetikleyen otomobil endüstrisidir. Ford'un montaj hattında kitlesel üretime geçtiği T-Model arabalar zamanla bu dönemin en belirleyici sembolü haline gelmiştir. Peterson (2008, 6), yüksek kâr marjı gözetmeden, iyi organize edilmiş bir montaj hattı boyunca geniş kitlelere ulaşacak derece büyük çaplı üretim yapma mantığının daha sonra Avrupa'da ve Sovyetlerde dahi Fordizm akımı olarak yayılmış ve uygulanmış olduğunu ifade etmektedir. 1910 itibarıyla Almanya'da elektrik üretimi %85'i geçmiştir. Enerji sektöründeki bu hızlı ve dengeleri değiştiren büyümenin yanı sıra kâğıt ve baskı endüstrileri gelişmiştir. Bununla birlikte; metal işçiliği ve kimya sanayide Almanya döneme damgasını vurmuş, kimya endüstrisinde araştırma geliştirme departmanları kurulmuştur. Almanya bugün de bu sanayi dallarında üstünlüğü elinde tutmaktadır. İsviçre ileri düzey teknolojiler kullanarak mühendislik alanlarında ve kâğıt endüstrisinde hızla gelişmeye başlamıştır. Avrupa'daki bu gelişim dalgasını Fransa takip etmiş, gaz ve elektrik gibi enerji sektörleriyle birlikte çimento, lastik ve otomobil gibi yeni sanayi dallarında da atılım göstermiştir (Rostow, 1975:748).

Benzer şekilde, batıya gönderilen mühendisler sayesinde örgütsel öğrenme yoluyla batıdan transfer edilen teknoloji ile Japon sanayi şirketleri de ölçek

ekonomileri geliştirerek uluslararası piyasalarda rekabet avantajı kazanmıştır. Malzeme olarak çelik ve petrol kullanımının arttığı, buharlı motor gücünden, elektrik enerjisinden faydalanılan, seri üretim ve dağıtım sistemlerinin ortaya çıktığı bu dönüşüm süreci, sonradan İkinci Sanayi Devrimi olarak adlandırılmıştır. Sanayinin Avrupa’da ve Japonya’da finansörlüğü İngiltere ve Amerika’dan farklı olarak doğrudan yatırımcı tarafından üstlenilmemiştir, onun yerine sanayi işletmeleri devlet destekli finansal kurumlar ve özel bankalar tarafından finanse edilmiş ve böylece sanayi işletmeleri ile finans endüstrisi gelişmeye başlamıştır. Anglo-Amerikan sistemin yatırımcı odaklı yönetim anlayışına alternatif olarak kara Avrupa’sında gelişen ihtiyatlılık esaslı, ilke bazlı yönetim anlayışı bugün de yönetim sistemlerinde iki büyük yaklaşım farkı olarak iş sistemlerini etkilemektedir (Peterson, 2008).

Yirminci yüzyılın başında Amerikalı bir mühendis olan Frederick Winslow Taylor, bilimsel yöntemlerle zaman ve hareket etütleri olarak bilinen detaylı ölçümlerle işlerin yapılış şeklini standartlaştırmaya çalışmış, eş zamanlı olarak fransız bir mühendis olan Henri Fayol örgüt yapısının nasıl olması ve yöneticinin temel görevlerinin neler olması gerektiği üzerine ilkeler geliştirmiş, daha sonra alman sosyolog Max Weber örgütlerde bürokratik bir idare olması gerektiğini vurgulamıştır. Örgüt içinde işlerin bölünmesi, uzmanlaşma, prim sistemleri, yetki, yetki devri, otorite, iş birliği, emir-komuta, hiyerarşi, merkeziyet, ücretlendirme kavramları üzerine derinlemesine düşünen ve evrensel ilkeler geliştirmeye çalışan bu bilim insanlarının ve onların takipçilerinin geliştirdikleri, sonradan klasik akım olarak adlandırılan bu yaklaşımlar bugünkü çalışma hayatının da temellerini oluşturmaktadır². Örneğin, Henry Ford meşhur T-model otomobil üretim hattını Taylor’un ilkelerini uygulayarak geliştirmiştir. Bu sisteme göre, standart bir ürün montaj hattı boyunca kayan konveyör üzerinde işçilerin önüne gelmekte, işçiler bulundukları konumda aynı basit hareketleri tekrar tekrar yapmakta ve mekanik sistemin birer parçası gibi çalışmaktadır. Bu sistem vasıflı işçilere ihtiyaç duymamakla birlikte, işlerin çok küçük bölümlere ayrılmış olması ve çok sık tekrarlanması sebebiyle çalışanların bulundukları konumda uzmanlaşmasını sağlamaktadır (Stearns, 2021). Bahsedilen örgüt tasarımı 1950’lere kadar genel kabul görür üretim şekli olarak

² Detaylı okuma için: “The Principles of Scientific Management”, Taylor (1911); “Administration industrielle et générale”, Fayol (1916); “Wirtschaft und Gesellschaft”, Weber (1922).

tüm dünyada uygulanmıştır ve hala günümüzde üretim işletmelerinde montaj hattı, konveyör bant üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Büyük işletmelerde tam otomasyonla montaj hattında robotik teknoloji kullanılırken küçük işletmeler halen klasik Fordist sistemi kullanmaya devam etmektedir. Bu düşünce akımlarının büyük destekçileri ve takipçileri olduğu kadar uzun yıllar boyunca büyük tartışmalara konu olmuş ve eleştirilere de maruz kalmıştır. Bu tartışmalar başka bir araştırmanın konusu olacağından ikinci sanayi devriminin örgüt yapısı üzerindeki etkilerine geri dönecek olursak; çok kısa sürede hızla büyüyen bu sanayi şirketlerinin idaresini sağlamak ve verimliliğini artırmak amacıyla, örgüt içinde bir düzen sağlanması, belirli kuralların oluşturulması, ilkeler ve yöntemler geliştirilmesi ihtiyacı doğmuştur. Örgüt içi hiyerarşi dikey olarak artmış; üretim ve dağıtım süreçlerini koordine edecek alt ve orta kademe yöneticiler istihdam edilmeye başlanmıştır. Tepe yöneticileri stratejik kararlara odaklanırken, operasyonel ve taktiksel karar alma yetkisi orta ve alt kademe yöneticilere devredilmiştir. Bununla beraber, yöneticiler ve çalışanlar yeni gelişen teknolojilere uyum sağlamakta, sistemin aksaklıklarına müdahale kapasitesi gelişmekte, sistemin daha iyi işleyebilmesi için çalışanlarca fikirler geliştirilmekte ve yoğun bir örgütsel öğrenme süreci yaşanmaktadır. Her ne kadar örgüt içinde edinilen bilgi ve tecrübeler şirket özelinde veya endüstri özelinde olsa da orta ve üst kademedeki yöneticiler istihdam edilirken öğrenme eğrilerine vakıf olmaları beklenmeye başlanmıştır (Chandler, 1992).

Bu dönemde aynı zamanda, başlarda ihmal edilen işçi sınıfının örgüte bağlılığının ve motivasyonun artırılması, ekip ruhu kazanmaları için işyerinde müzik yayınları yapılmaya başlanmış ve kurumlara bağlı spor takımları oluşturulmuştur. Burada amaçlanan duygusal manipülasyonlarla işletmenin verimliliğinin artırılmasıdır (Stearns, 2021, 158). Büyüyen ve hak talepleri artan işçi sınıfının refahı yirminci yüzyılın ilk yarısında büyük çaplı işçi hareketleri ve mücadeleler sonucunda devletlerce dikkate alınmaya başlanmış, çalışma şartlarının, çalışma saatlerinin, ücretlendirmenin, sağlık sigortasının, kıdem tazminatı, emeklilik ve işsizlik ödenekleri gibi çalışma hayatını belirleyici unsurların yasalarla düzenlendiği ve koruma altına alındığı, çalışanlar açısından önemli kazanımların olduğu bir değişim dönemi başlamıştır. Bu durum, onsekizinci yüzyılın “bırakınız yapsınlar, bırakınız geçsinler” serbest piyasa ekonomisi paradigmasının yerini devletin örgütlerin faaliyetlerini

vergilendirdiği, çalışanların ve tüketicilerin haklarını gözettiği ve piyasalara müdahil olduğu Keynezyen politikaların almasının doğrudan sonucu olarak ortaya çıkan örgütsel değişimlerdir (Peterson, 2008).

Üretim kapasitesinin artması ve nüfusun şehirlerde toplanması ve artan milli gelirler sonucu bankacılık sektörü, üretilen ürünlerin satışı için mağazaların, satış ofislerinin açılması dolayısıyla inşaat sektörü, reklamcılık sektörü, iş seyahatlerine çıkan sermayedarların konaklama ihtiyacını karşılamak için otelcilik sektörü yirminci yüzyılın ikinci yarısında hızla gelişen hizmet endüstrileridir. Bununla beraber, sekreterlik, yöneticilik, öğretmenlik, polislik, hemşirelik, teknisyenlik gibi meslek sınıfları da şehir hayatının hızla artan maaşlı çalışan kesimini oluşturmaktadır. Sözü geçen mesleklerin birçoğunda kadın istihdamı oranı fabrika çalışanlarına göre oldukça yüksektir. Bu bağlamda, hizmet endüstrilerinin gelişmesi toplumların demografik ve sosyokültürel yapısında yadsınamaz bir değişim yaratarak beyaz yakalı orta sınıfı doğurmuştur. Uzun mücadeleler sonunda iş saatlerinin 10 saatten 8 saate düşmesi ve hafta sonu tatilinin kazanımı, farklı şehir endüstrilerinin oluşmasına yol açmıştır. Şehirlerde toplanan işçi sınıfının bu boş zamanlarını geçireceği etkinliklerin üretildiği eğlence sektörü ile dev stadyumlarda yapılan spor müsabakalarının yarattığı spor endüstrisi zamanla ekonomide çok büyük katma değer yaratan, doğrudan ve yan sanayileriyle büyük çaplı istihdam yaratan endüstrilere dönüşmüş, aynı zamanda toplumsal hayatta, yaşantı şekillerinde ve bireysel kimliklerin oluşumunda yeni bir çağın kapısını açmıştır (Stearns, 2021, 162).

1.3 Üçüncü Sanayi Devrimi (Modern Sanayi Devrimi)

Yirminci yüzyılın ikinci yarısına ise; kişisel bilgisayarlar ve robotik teknolojileri damga vurmuştur. Üçüncü ya da Modern Sanayi Devrimi veya post endüstriyel devrim olarak adlandırılan bu dönemde imalat sanayide artan teknolojik kapasite birçok işletmenin eş zamanlı olarak verimliliği yüksek teknolojik yatırımlar yapmasına olanak sağlamış ve bunun sonucunda firma değerleri dünya genelinde artış göstermiştir. Artan sermaye ve bilgi teknolojilerinin gelişmesi beraberinde küreselleşmeyi getirmiştir. Eski sanayi olarak bilinen tekstil, maden, metalürji endüstrileri daralırken, bilgisayar, elektronik, otomotiv, robotik, genetik mühendisliği gibi yeni alanlara geçiş yapılmıştır. Uydu iletişimi ve hızlı uçuş imkanı dünyanın farklı noktalarını birbirine yaklaştırmıştır. On dokuzuncu yüzyılın sanayi işletmeleri bu

duruma hızla uyum sağlamış ve bu yeni pazarlara doğrudan nüfuz etmiştir. Eski dönemin sermaye şirketleri bu dönemde, işgücünün ve hammaddenin ucuz olduğu geç sanayileşen ülkelerde işletmelerle ortaklık yapmak yerine doğrudan tesisler, fabrikalar, ofisler kurarak, birden fazla ülkede üretim yapan ve hizmet sunan M-Form (multinational) olarak adlandırılacak yeni bir örgüt formuna; çok uluslu işletmelere evrilmiştir. Bu işletmeler yalnızca üretimlerini bu ülkelerde yapmakla kalmayıp; finans, satış, insan kaynakları, bilgi işlem gibi destek hizmetlerini bölgesel genel merkez ofislerinde yürütmekte ve mavi yakalı çalışanlar kadar ofiste çalışacak beyaz yakalı çalışan da istihdam etmektedir. (Stearns, 2021).

Bilgisayarın icat edilmesinin ardından, işletmelerin alabileceği kadar ucuzlaması ve internetin keşfi ile küresel rekabetin artması, iş hayatını çok büyük bir dönüşüme uğratan yeni bir endüstriyel devrimin başlangıcı olarak görülmektedir. Bilgisayarlı sistemlere geçiş beraberinde hizmet sektöründe ve ofis hayatında patlama yaratmış ve beyaz yaka çalışanlarında kitlesel bir artışa neden olmuştur. Bilgisayarların internet vasıtasıyla birbirine bağlanması hem örgüt içinde hem örgütler arası bağlantıların kurulması, ağların gelişmesini sağlamıştır. Bu dönemde ortaya çıkan şebeke örgüt yapılanmaları bu ağ ilişkilerinin en göze çarpan örneğidir. 1980lerde ve 1990larda tüm dünyada devletin ekonomiye müdahalesini savunan Keynesyen ekonomi politikaları yerini serbest piyasa ekonomisi olarak da bilinen Neo-liberal politikalara bırakmıştır. Özelleştirmeler artmış ve devletin çekildiği alanlarda gerekli büyük yatırımlar iş birlikleri ile şebeke örgütlerce üstlenilmiştir. Bilgisayarla ve internetle birlikte gelen bu iktisadi dönüşümün tekno-ekonomik bir paradigma değişimi yaratmıştır. Yönetimsel anlamda bu paradigma değişimini geleneksel fordist örgüt yapısından bilgi ve iletişim teknolojilerine geçiş olarak özetlemek mümkündür (Freeman ve Louçã, 2002).

Tekno-ekonomik paradigma değişimi ile, örgütsel yönetim mantığında pek çok boyutta radikal dönüşüm gerçekleşmektedir. Özellikle, merkezi hiyerarşik yönetim yerini yatay ağ yapısında koordine çalışan otonom karar birimlerine ve şebeke örgütlere bırakmıştır. Ayrıca, rutin prosedürler uyumlu esnek süreçlere dönüştürülürken, tek boyutlu uzmanlaşma grup için çok yönlü uzmanlaşmaya evrilmektedir. Mühendislik tasarımları bilgisayar destekli yazılım tasarımlarına dönüşmekte ve standart üretim yerine müşterilerin farklılık talepleri nedeniyle

özelleştirilmiş üretim öne çıkmaktadır. Otomasyon yerini sistem yaklaşımına bırakırken, doğrusal karar verme mekanizması yatay ve dikey seviyelerden çok boyutlu katılımlı karar tekniklerine dönüşmektedir. Öte yandan, örgütün sosyal sermayesini oluşturan çalışanların, işyerinde sürekli öğrenmesi ve motivasyonlarının artırılması ve böylece örgüte bağlılıklarının sağlanması önem kazanmıştır (Perez, 2004).

Castells (2000), bilgi toplumunun temel ekonomik biriminin tek tek işletmeler değil, birbirleriyle ağ kuran şebeke örgütler (network organizasyonlar) olduğunu vurgulamış ve Endüstri 4.0 sanayi devriminin başladığının ilan edilmesinden çok önce bu ağ yapıların yeni toplum düzeni olarak ağ toplumunu oluşturduğunu öne sürmüştür. Bu açıdan bakıldığında, 1970'lerden sonrayı dünyayı en iyi anlatan kelime belki de "bağlantı" olabilir.

İlk sanayi devrimleri, farklı uzmanlıklarda dağılık yapılan işlerin ve işçilerin bir çatı altında toplanmasıyla fabrikaların kurulmasına, standardizasyona, kitlesel üretime, sermayedarların farklı işkollarına yayılması sonucu dikey bütünleşme mekanizmalarıyla holdingleşmeye ve anonim şirketlere dönüşmeye sebep olmuşken; küresel rekabet farklılaşma ihtiyacı doğurmuştur. Kitlesel standart üretim yapılan büyük fabrikalarda farklı ürünlerin üretilmesi için her farklılaşmada montaj hattının yeniden tasarlanması ve çalışanların her hattın işleyişini yeniden öğrenmesi çok büyük zaman ve maliyet dezavantajları yaratmaya başlamıştır. Her ne kadar çok uluslu işletmeler farklı ülkelerdeki birbirinden farklı üretim tesislerinde bu dezavantajı ortadan kaldırılabilmiş, çeşitlilik ihtiyacını karşılayabilmiş ve büyümeye devam etmişse de onların dışında kalan büyük işletmelerce genel trend Peterson'a göre (2008, 7), montaj hatlarının kısaltılıp yan hatlar kurulması olmuştur. Çok büyük üretim kapasitesi olan mega şirket yapıları küresel değişim hızına yetişmekte zorlanmaya başlamış ve küçülme yoluna gitmiştir.

1990lara gelindiğinde bilgisayarın ve internetin hane halkına yayılması sonucu tüketiciler bilgiye her yerden ve hızla ulaşmaya başlamıştır. Talep çeşitlenmiş, müşterilerin kalite ve yenilik beklentileri artmıştır. Küreselleşen ticarete uyum sağlayabilmek ve müşterilerin beklentilerini karşılayabilmek adına işletmeler üretimdeki teknolojik yeniliklerin yanı sıra örgüt ve yönetim uygulamalarında da

birçok yenilik geliştirmiştir. Toplam kalite yönetimi, tam zamanında üretim, esnek imalat, bilgisayar ağılı çalışma düzeni bu dönemin örgütsel yansımalarıdır (Jensen, 1993). İlk iki sanayi devriminde örgütler büyüyerek rekabet avantajı sağlarken üçüncü devrim tam tersi bir etki yaratmış, hızla farklılaşmaya gidebilen, yeniliklere hızla reaksiyon gösterebilen daha dinamik, daha az bürokratik, daha az hiyerarşik, daha esnek ve kolay yönetilebilir küçük organizasyonlara gereksinim oluşmuştur. İşletmeler küçülmeye, temel yeteneklerine odaklanmaya ve diğer fonksiyonları stratejik iş birlikleri ile dışardan tedarik etmeye başlamışlardır. KOBİ'lerin tam da bu açığı kapatacak çözümler olarak ortaya çıktığını söylemek yanlış olmaz. Özellikle imalatta ikinci sanayi devriminin öne çıkan yapılarından biri olan taşeronluk yeniden değer kazanmıştır. Büyük işletmeler üretiminin bir kısmını KOBİ'lere yaptırarak üretimin maliyetini paylaşma yoluna gitmekte ve müşterilerin çeşitlilik ihtiyacına KOBİ'lerin esnekliğiyle cevap verebilmektedir. Bu durum belli sanayi kollarında küme örgütlerin oluşmasını, devletlerin bu örgüt yapılarını desteklemesiyle organize sanayi alanlarının doğmasını sağlamıştır. Üretim dışındaki bütün sektörlerde de KOBİ'ler ürünlerin ve hizmetlerin kişiselleştirilmesinde proje bazlı çalışma prensibiyle hızlı aksiyon alabilme kabiliyeti geliştirmiştir. Proje bazlı, hızlı ve esnek iş yapabilme kabiliyeti KOBİ'lerin yirmibirinci yüzyılda yeni sanayi devriminde çok daha önemli bir noktaya gelmesinin kilit faktörleridir. Bu konunun detaylı tartışılması gerekmektedir. Ancak öncesinde araştırmanın nesnesini teşkil eden yeni sanayi devrimi Endüstri 4.0 ve getirdiği yenilikler bu aşamada etraflıca anlatılacaktır.

1.4 Dördüncü Sanayi Devrimi – Endüstri 4.0

2011 yılında Hanover Fuarı'nda Almanya'da Henning Kagermann, Dieter Lukas ve Wolfgang Wahlster önderliğinde, insanlık tarihinde yeni bir döneme geçildiği ve Endüstri 4.0 (Industrie 4.0 – I4.0) ismi altında dördüncü sanayi devriminin resmen başladığı ilan edilmiştir. Yeni malzemeler, sanayide robotların kullanımı ve merkezi kontrol sistemlerinin gelişmesiyle karakterize edilen üçüncü sanayi devrimini, gelecek on yılda siber-fiziksel sistemlerle (ciber-physical systems- CPS) desteklenen nesnelerin internetinin (Internet of Things- IoT) takip edeceği ifade edilmiştir. Dijital olarak kurgulanan modellerin fiziki gerçekliğe senkronize edilmesi sayesinde; üretim sistemlerine ve endüstriyel ürünlere, kablosuz sensörler, gömülü aktüatörler ve akıllı yazılım sistemleri ile günlük işler için üretilen ürünlere bile depolama ve iletişim

yetenekleri entegre edilerek, sanal alem ve gerçek dünya arasında siber-fiziksel bir köprü kurulmuştur. Bu köprü sayesinde makineden makineye (M2M) iletişim olanaklı hale gelmiş ve nesnelerin internetinden söz edilir olmuştur. Dördüncü sanayi devrimi yalnızca nesnelerin internetini değil, aynı zamanda akıllı hizmetler sunabilen semantik teknolojiler vasıtasıyla; siber fiziksel sistemlere bağlı hizmetlerin de aralarında iletişim ağı kurabilmesini sağlamıştır (Kagermann, Lukas ve Wahlster, 2011). Nesnelerin ve hizmetlerin interneti yoluyla sanal ve fiziki sistemler arasında esnek bir bağ kurulması, değer zincirinin bütünüyle yeniden yapılanmasını ve ürünlerin tamamen kişiselleşmesini beraberinde getirmiştir (Schwab, 2016: 12).

Lasi, Fettke, Feld ve Hoffmann'a (2014) göre Endüstri 4.0 terimi, içinde otomasyon ve mekanikleşmenin artışı, dijitalleşme, ağ kurma ve minyatürleşme gibi geniş bir yelpazedeki kavramları barındırmaktadır. E4.0 fikri, temelde, basit fiziki sistemlere sensörler, vericiler gibi bilgisayar yazılımlarının entegre edilmesi yoluyla; öncelikle tek bir işletme bünyesinde, ardından ekonomideki diğer branşları ve diğer endüstri kollarını da kapsayacak biçimde dinamik değer yaratan bir ağın kurulmasını amaçlamaktadır. Bu ağ yapısının oluşturduğu sistemler, siber-fiziksel sistemler olarak adlandırılmakta ve bu sistemler arasındaki koordinasyon internet tabanlı protokollerle sağlanmaktadır (Salkin, Öner, Üstündağ, Çevikcan, 2018: 4-5).

Endüstri 4.0, bir dizi yeni ve yenilikçi teknolojik gelişmeye bağlıdır:

- Lojistik ve tedarik dahil olmak üzere ürün geliştirme ve ürün kullanımının tüm aşamalarında hem şirketler içinde hem de şirket sınırları ötesinde bilgileri dijitalleştirmek ve sistemleri entegre etmek için bilgi ve iletişim teknolojisinin (BİT) uygulanması: Siber-fiziksel sistemler, fiziksel süreçleri ve sistemleri izlemek ve kontrol etmek için yerleşik sensörler, oluşturulacak ürüne uyacak şekilde kendilerini yapılandırabilen akıllı robotlar veya eklemeli imalat (üç boyutlu baskı) cihazları
- Hem üretim tesisi içinde hem de tedarikçiler ve distribütörlerle makineleri, iş ürünlerini, sistemleri ve insanları birbirine bağlamaya hizmet eden kablosuz ağ iletişimi ve internet teknolojileri;
- Ürünlerin tasarımında ve üretim süreçlerinin oluşturulmasında simülasyon, modelleme ve sanallaştırma;

- Çok büyük miktarda verinin toplanması ve doğrudan üretim tesisinde ya da büyük veri analizi ve bulut bilişim yoluyla bunların analiz edilmesi ve kullanılması;
- Robotlar, artırılmış gerçeklik ve akıllı araçlar dahil olmak üzere işçiler için daha fazla BİT tabanlı destek sağlanması (Davies, 2015).

Dördüncü sanayi devrimini daha öncekilerden farklı kılan en önemli etken devrimin kapsamıdır. Bu devrim, birbirine bağlı akıllı makineler ve akıllı sistemlerden çok daha fazlasını bünyesinde barındırmaktadır. Nano-teknolojiden gen dizilimine, kuantum hesaplamalardan yenilenebilir enerjiye kadar birçok disiplinin eş zamanlı gelişmesi ve fiziksel, dijital ve biyolojik alanların önceki zamanlara kıyasla, çok daha hızlı ve çok geniş ölçüde birbirleriyle kaynaşması, dördüncü sanayi devrimini şimdiye kadar tecrübe edilmiş her şeyden farklılaştırmaktadır (Schwab, 2016: 12).

Heng (2014) tarafından hazırlanan Deutsche Bank araştırma raporunda Endüstri 4.0'ın sağlayacağı avantajlar dört ana başlıkta ele alınmıştır:

- ***Daha fazla esneklik:*** Ağlar, iş süreçlerinin daha dinamik bir şekilde yapılandırılmasını sağlamakta ve böylece; üretim prosedürleri, talepteki değişikliklere daha esnek tepki vermektedir.
- ***Teslim sürelerini azalması:*** Kesintisiz veri toplama imkanıyla üretimle ilgili veri ve bilgilerin hızlı bir şekilde kullanılmasına izin vermekte ve bu nedenle pazardaki yenilikler için teslim sürelerini azaltmaktadır.
- ***Küçük parti boyutlarıyla müşteri taleplerine uyum sağlama:*** Endüstri 4.0, planlama, konfigürasyon, sipariş, tasarım, üretim ve operasyon süreçlerine müşteriye özel kriterlerin dahil edilmesini sağlamakta ve ayrıca zaman içinde değişikliklere izin vermektedir.
- ***Yeni hizmet olanakları:*** Endüstri 4.0, büyük verilerin kısa vadeli değerlendirilmesi için yüksek performanslı hizmetler potansiyeline sahiptir.

Geleceğin projesi olarak adlandırılan Endüstri 4.0 (E4.0) ile insan, makine ve kaynaklar arasında kurulan iletişim, merkezi olarak kontrol edilen üretim süreçlerinden, kendi kendini kontrol edebilen birimlere geçişi mümkün kılarak sanayide büyük bir paradigma değişimine yol açarken (Herman, Pentek, Otto, 2016: 3929); bilim ve siyaset dünyasında da büyük bir dönüşüm süreci başlatmıştır.

Kagermann vd. (2011), bu yeni çağın adını koyarak, dünyanın endüstriyel dönüşüm sürecinde kendi tabirleriyle “Almanya’nın ilk kemanı çalan ülke” olduğunu ifade etmiştir. 2011 yılında Alman federal hükümeti E4.0’ı “2020 İleri Teknoloji Stratejisi” nin temeline yerleştirmiş, E4.0 için bir platform (Plattform Industrie 4.0) oluşturmuş ve bir çalışma grubunun (Industrie 4.0 Working Group) kurulmasına destek olmuştur (Hermann vd., 2016: 3928). Almanya’nın ardından pek çok ülke yeni sanayi devrimini yakalamak için ülke düzeyinde stratejiler belirlemiş ve çeşitli örgütlenmelere gitmiştir:

- ABD’de “Amerika Üretiyor” stratejisiyle Ulusal İmalatta Yenilik enstitüleri kurulması,
- Hollanda’da “Dijital Dönüşüm” stratejisiyle dijital mükemmeliyet merkezleri ağı oluşturması,
- Fransa’da “Geleceğin Sanayi Stratejisi” adıyla geliştirilen programda kritik sektörler için yol haritaları belirlenmesi,
- İngiltere’de “Yapay Zeka” Sanayi Stratejisi ve dijital dönüşümü sağlamak üzere kurduğu Catapult merkezleri,
- Avrupa Birliği’nin ilk etabının “Ufuk 2020” ve ikinci etabının “Ufuk 2030” olarak bilinen projeleri,
- Güney Kore’de geliştirilen “Akıllı Sanayi Stratejisi” ve odak noktası olarak seçilen “Eklemeli İmalat” tasarım seferberliği,
- Çin’in “Made in China 2025” projesi ve dijitalleşmeye ayırdığı mega fonlar,
- Japonya’nın Endüstri 4.0’ın ötesine geçen, dijital dönüşümü toplumla bütünleştiren “Toplum 5.0” stratejisi,

dijital dönüşümün sağlanması için ülkeler bazında gerçekleştirilen ilk kapsamlı ve dönüştürücü eylemler olarak gösterilmektedir (BSTB, Dijital Türkiye Yol Haritası, 2018: 40).

Almanya’da kurulan çalışma grubunda E4.0 ile işin kalitesinde, iş için gereken niteliklerde, örgüt yapısında, insan ve teknoloji arasındaki etkileşimde oluşacak değişimler yoğun olarak tartışılmıştır. Başlangıçta “insan faktörü” kavramıyla ele alınan çalışanların yeni endüstriyel sistemdeki pozisyonu konusu, sonrasında “insan ve iş” başlığı altında değerlendirilmiştir. Bu kapsamda; insan-teknoloji ve insan-çevre etkileşimlerindeki öngörülebilir paradigma kayması sonucunda değişeceği ve buna

bağlı olarak ortaya çıkacak yeni üretim modellerinin oluşacağı belirtilmiştir. Bununla birlikte, gelişmiş sistem ve araçlar kullanılsa ve süreçler daha karmaşık hale gelse bile E4.0 kapsamında oluşturulan akıllı fabrikaların hiçbir şekilde insansız olamayacağı ve örgütün değişen koşullarında insanların bilgi ve tecrübelerine her zaman gereksinim duyulacağı da vurgulanmıştır. Uzun vadede çalışanların yeni sisteme adapte edilebilmesi için de hem üniversite düzeyinde hem de iş içinde sürekli eğitim programlarının geliştirilmesi, çalışanların fiziksel ve bilişsel kabiliyetlerinin güçlendirilmesi için yardımcı sistemlerin kurulması, imalat süreçleri hakkında artırılmış gerçeklik teknolojileri kullanılarak eğitimler verilmesi, sistemlerin konfigürasyonu için çalışanların kullanabileceği yazılım tabanlı uygulamaların (applications-apps) geliştirilmesi, çalışanlarla işbirliği içinde çalışacak endüstriyel hizmet robotlarının kullanılması gibi öneriler geliştirilmiştir (Botthof, 2015: 4). Tartışılan ve önerilen bütün konular göz önünde bulundurulduğunda çalışma grubu, E4.0'ın temel faaliyet alanlarını;

- Kritik başarı faktörü olarak siber güvenliğin sağlanması,
- Yasal çerçevenin oluşturulması,
- Sanayinin dijitalleşmesi ile ortaya çıkacak organizasyon ve iş tasarımlarının hazırlanması,
- Mimaride yeni norm ve standartların geliştirilmesi,
- Karmaşık sistemlerin başarıyla yürütülmesi için ustalaşma,
- Endüstri için kapsamlı, geniş bant yapısı,
- Sürekli eğitim,
- Kaynak verimliliğinin sağlanması ve
- Yeni iş modellerinin geliştirilmesi olarak belirlemiştir (Kagermann vd., 2013).

Ardından konuyla ilgili çok sayıda akademik çalışma yapılmış ve konferans düzenlenmiştir. Endüstri 4.0 platformu ile iş birliği içinde Fraunhofer Enstitüsü tarafından yapılan bir çalışmada dördüncü sanayi devrimini örgüt düzeyinde açıklayan katmanlı bir model geliştirilmiştir. Dönüşümlerin döngüsel olduğunu ifade edebilmek için dairesel bir grafik üzerine katmanlar yerleştirilmiştir. Dairenin merkezi iç katmanını on aşamalı olarak ele alınan üretim süreçlerinin dijital dönüşümü oluşturmaktadır. Orta katman ve aslında Endüstri 4.0'ın ruhunu oluşturan bilgi ve

iletişim teknolojilerinin üretim ve yönetim sistemlerine entegre olarak sistemin ağ bağlantısını oluşturan katman olarak ifade edilmiştir. Dış eper ise insan kaynakları, yönetim ve iş sistemlerinin dönüşümünün sağlanarak örgütün bütünsel olarak dönüşümünün gerçekleştiği katman olarak belirlenmiştir (Neugebauer vd., 2016).

Endüstri 4.0 konusuna yoğun ilgi oluşmasında, iş modellerinin, hizmetlerin, ürünlerin bütünüyle değişmesinden kaynaklanan muazzam ekonomik etkinin rolü büyüktür. Öte yandan, ilk kez bir sanayi devrimini gerçekleştikten sonra değil, gerçekleşirken inceleme şansının doğması da konuya oluşan ilgiyi artırmıştır (Hermann vd., 2016: 3928-29).

Endüstri 4.0 alışma Grubu 2013 yılında uygulanabilecek önerileri yayınladıkları raporda E4.0'ın 3 temel bileşenini tanıtmıştır: Nesnelerin interneti (IoT), siber fiziksel sistemler (CPS) ve akıllı fabrikalar (Hermann vd., 2016: 3929). Bu üç temel bileşen dışında birçok alt bileşenin bir ağ yapısıyla birbirlerine bağlı olduğunun bilinmesiyle beraber, dördüncü sanayi devriminin temellerini bu üç ana bileşen oluşturmaktadır (Demir, 2019: s.62). Endüstri 4.0'ın alt bileşenlerine geçmeden bu üç ana bileşenden bahsetmek yerinde olacaktır:

1.4.1 Nesnelerin İnterneti (Nİ- Internet of Things-IoT)

Nesnelerin interneti kavramı ilk kez 1999 yılında ABD'de MIT tarafından önerilmiştir. Kavram bu ilk ortaya çıkışında; bir nesneye ait bilginin akıllı duyarlı bir terminal vasıtasıyla bir ağ boyunca aktarılması ve karşı tarafa ulaşması, bu bilginin kullanılan bilgisayardaki büyük veri deposuna eklemesi ve böylece nesnenin bir kontrol sistemine eklenerek insan-makine etkileşimini artırması olarak ele alınmıştır. 2005 yılında Uluslararası İletişim Birliği (International Telecommunication Union – ITU) “Nesnelerin İnterneti” başlığında bir rapor hazırlamıştır. Bu raporda nesnelerin interneti kavramı bilgi teknolojilerinde kurulacak bir ağ üzerinden her yerde ve her zaman herhangi bir nesne ile bağ kurulabilmesi olarak genişletilmiştir (Xiang, Chanil, Kexin, 2020: 104).

“Her şeyin interneti (internet of everything-IoE) ya da endüstriyel nesnelerin interneti (industrial internet of things-IIoT) olarak da tanımlanan nesnelerin interneti, makinelerin ve cihazların küresel bir ağla etkileşime girebilmelerini sağlayan yeni bir teknoloji paradigmasıdır. Lee ve Lee 'ye (2015: 431) göre tam anlamıyla nesnelerin

internetinden söz edebilmek için satıcıların envanter sistemleri, müşteri destek sistemleri, iş zekâsı ve iş analitiği uygulamalarının bütünüyle entegre olması gerekmektedir. Cihazların ağlar aracılığıyla fiziksel bağ kurmasına, insanlar için geliştirilen yazılım uygulamaları da eklendiğinde etkileşim yalnızca cihazdan cihaza kalmamakta, insandan cihaza etkileşim de gerçekleşmektedir. Bu sayede insan ağ üzerinden cihaz ve makinelerle iletişim kurabilmekte, bu cihaz ve makineleri uzaktan yönlendirebilmekte, onların takip ve kontrolünü sağlayabilmektedir. Bir açıdan Taylor'un insanı mekanik sistemin bir parçası olarak değerlendirdiği bilimsel yönetimin gelişmiş, sofistike bir başka versiyonu gibi düşünebiliriz. Bu kez insan fiziksel güç ve dayanıklılık gerektiren katı mekanik sistem yerine fiziksel güçten ziyade daha yüksek bilgi gerektiren esnek dijital bir sistemin parçası olmaktadır.

1.4.2 Siber Fiziksel Sistemler (SFS- Cyber Physical Systems-CPS)

Siber-Fiziksel Sistemler, fiziksel varlıkları ve birbirine bağlı sistemleri bilgisayar ortamında yönetmek için geliştirilen dönüştürücü teknolojiler olarak tanımlanmaktadır. Bu sistemlere, aynı zamanda, cihaz, makine ve ürünlere entegre edildiği için gömülü sistemler (embedded systems) de denmektedir. Gömülü bir sistem; fiziksel altyapıdan gerçek zamanlı veri işleme ve dijital yapıdan geri bildirim sağlamak üzere çift yönlü ileri düzey ağ oluşturma işlevinin yanında, fiziksel altyapıyı besleyen akıllı veri oluşturma, karar verme ve hesaplama yeteneklerine de sahiptir. Cihaz, makine ve ürünlerin bilgilerinin; sensörler, vericiler, aktüatörler, radyo frekansını tanıyan araçlar (RFID) ve buna benzer fiziki ve dijital veri toplama sistemleri vasıtasıyla bilgisayar ağlarına aktarılması sonucu, fiziki sistemlerin sanal ortamla bütünleşmesi sağlanmaktadır. Sensörlerin ve ağ bağlantılı makinelerin artan kullanımının sonucu olarak da büyük veri (big data) olarak bilinen sürekli ve yüksek hacimli verilerin üretilmesini olanaklı kılmaktadır. Büyük veriden devamlı ve artımsal olarak edinilen bilgi sayesinde makinelerin öğrenmesi gelişmekte; makineler esnek ve kendi kendine karar verebilir akıllı makinelere dönüşmektedir. Sonuç olarak; siber-fiziksel sistemlerin endüstriyel üretime, lojistiğe ve hizmetlere entegre edilmesiyle, ekonomik potansiyeli yüksek akıllı fabrikalarının kurulması amaçlanmaktadır (Lee vd., 2015:18).

Nesnelerin interneti fiziki dünyada birçok alanda var olan büyük miktarda verinin kitlesel olarak dijitale aktarılmasını sağlayan bir ağ mimarisi oluşturmaktadır. Fiziki dünya ve dijital dünya arasındaki boşlukların doldurulması için yalnızca gömülü sistemlerin eklenmesi yeterli olmayacaktır. Bu iki dünya arasındaki boşlukların doldurulması ve talep edilen dönüşümün yaşanması için izlenmesi gereken adımlar şöyledir: 1) insan-makine etkileşiminin sağlanması, 2) katma değerli sistemlerin gerçek zamanlı modellenmesiyle sanal dünyada dijital bir gölgesinin oluşturulması, 3) yazılım hizmetleri arasındaki işlemlerin gerçekleştirilmesi, 4) bulut tabanlı platformlarda tarafların birlikte çalışabilmesinin sağlanması, 5) yeni ve beklenmedik bilgilere hazırlıklı olmak amacıyla büyük veri için temel bir reçetenin oluşturulması ve 6) nesnelerin interneti vasıtasıyla kurulan ağ mimarisinin kavramlarının ve çözüm yollarının hizmetler, insanlar ve nesneler arasındaki iletişimde kullanılmasının sağlanması. Ancak böylesine dikkatli düşünülmüş kapsayıcı bir modelin geliştirilmesi ile gerçek hayattakine yakın, durumsal olarak değişen koşullara tepki verecek ve örgütün darboğazlardan çıkmasını sağlayacak akıllı optimizasyon sistemleri kurulabilecektir (Neugebauer vd., 2016: 3).

SFS kullanılması geleneksel üretim hiyerarşisini merkezi olmayan ve kendi kendine uyarlanabilen öz-örgütlenme ile değiştirecektir. Açık ağlar ve semantik açıklamalar aracılığıyla diğer saha cihazları, üretim modülleri ve ürünlerle iletişim kurabilen yerel kontrol zekasına sahip otonom bileşenlerden oluşan fabrikalar oluşacaktır. Kendi kendini organize eden üretim ağları sayesinde üretim hatları esnek ve modüler hale gelecektir. Böylece, son derece esnek seri üretim koşulları altında en küçük parti büyüklüğü bile üretilebilecektir (Weyer vd., 2015).

1.4.3 Akıllı Fabrikalar

Bir fabrikanın, bağlama duyarlı hale getirilerek insanların ve makinelerin işlerini yapmasına yardım etmesi, o fabrikayı akıllı fabrikaya dönüştürmektedir. Bu fabrikalar sakin sistemler (calm-systems) olarak da adlandırılmaktadır. Bu dönüşüm, fabrikanın çevreyle etkileşim kurabilen donanım ekipmanı ile bir nesnenin yeri ve durumu ile ilgili bilgileri hesaplayan bağlama duyarlı yazılımların (context-aware applications) fiziki ve sanal dünyadan bilgileri arka planda toplayarak birlikte çalışmasıyla gerçekleşmektedir. Fiziki dünyadan alınan bilgiler örneğin; kullanılan bir

aracın pozisyonu ve durumu iken, sanal ortamdan alınan bilgiler elektronik dokümanlar, çizimler ve simülasyon modeller olabilmektedir. Fabrikada farklı hiyerarşik düzeylerde bu sistemlerden faydalanılmaktadır. Atölyede çalışan işçinin çalışmasını kolaylaştıran duyarlı bilgi sistemlerinin yanı sıra, yöneticinin karar vermesine yardımcı olan gelişmiş imalat süreçlerini kapsayan duyarlı yazılımlar geliştirilmektedir. Akıllı fabrika konsepti, bilginin gerçek zamanlı olarak toplanması ve dağıtılması ile imalatla ilgili her bilgiye her zaman, her yerde ulaşılabilmesini sağlamaktadır. Bu sayede, merkezi olmayan dağılmış bilgi ve iletişim yapısının üretimdeki dalgalanmalarla başa çıkabilen, bağlama duyarlı ve gerçek zamanlı olarak üretimdeki bilgiye ulaşılabilen, üretim süreçlerinin optimum yönetimini sağlayan bir sistem geliştirilmiştir (Lucke vd., 2008).

Wang ve Wang (2016) dokuz E4.0 teknolojisinin endüstriyel üretimi dönüştürdüğünü savunmuştur: Simülasyon, artırılmış gerçeklik (AR), otonom robotlar, endüstriyel nesnelerin interneti, bulut bilişim, siber güvenlik, katmanlı üretim, yatay ve dikey sistem entegrasyonu ile büyük veri ve analitik. Endüstriyel dönüşüm; bir yandan endüstriyel nesnelerin interneti (Industrial Internet of Things-IIoT) vasıtasıyla işletmenin tüm bileşenlerine gömülü sensörlerle bağlanması ve böylece; siber güvenlik üretim hatlarını ve endüstriyel sistemleri bilgisayar korsanlarının tehditlerinden koruması, öte yandan siber-fiziksel sistemler vasıtasıyla fiziksel dünya ile sanal dünyanın kaynaştırılması ve akıllı SFS'lerin nesnelerin interneti üzerinden iletişim kurarak görevlerini yerine getirmede insanlara ve makinelere yardımcı olduğu akıllı bir fabrikaya dönüşmesi olarak kurgulanmıştır.

Ancak; Endüstri 4.0'a bütünüyle entegre olmuş akıllı bir sistem uyarlaması için; (1) değer zinciri boyunca sürecin gerekli aşamalarında dikey bütünleşmenin sağlanması, (2) değer zincirinin belli bir seviyesinde yatay bütünleşme sağlanması (3) değer zincirinin tamamında uçtan uca dijital bilgi akışının sağlanması gerekleri göz önünde bulundurularak değer zincirinin üç boyutlu olarak ele alınması gerekmektedir (Heng, 2014: 6). Dikey entegrasyon, organizasyon içindeki farklı hiyerarşik seviyelerdeki iş birimlerinin akıllı çapraz bağlanması ve dijitalleştirilmesi anlamına gelmektedir. Bu nedenle dikey entegrasyon, esnek bir şekilde akıllı fabrikaya dönüşümü mümkün kılarak kabul edilebilir karlılık seviyelerinde küçük parti büyüklüklerinin ve daha özelleştirilmiş ürünlerin de üretilmesini sağlamaktadır.

Örneğin, akıllı makineler, farklı ürün türlerinin üretimini sağlamak için otonom bir ekosistem yaratmakta ve üretim süreçlerinin sorunsuz yürütülmesi için büyük miktarda veri işlenmektedir. Öte yandan yatay entegrasyon, bilgi sistemlerini, finansal yönetimi ve malzeme akışını verimli kullanarak ürün yaşam döngüsünü zenginleştirmek için kuruluşlar arasında bütünsel bir değer yaratmayı sağlamaktadır (Kagermann, 2013). Yatay ve dikey entegrasyon, gerçek zamanlı veri paylaşımına, kaynak tahsisinde üretkenliğe, uyumlu çalışan iş birimlerine ve ağa bağlı cihazlar için çok önemli olan doğru planlamaya olanak tanımaktadır. Son olarak, uçtan uca mühendislik, müşteri gereksinimleri, ürün tasarımı, bakım ve geri dönüşüm göz önünde bulundurularak destekleyici teknolojilerin dijital entegrasyonu yoluyla ürün geliştirme süreçlerine yardımcı olmaktadır (Salkin vd., 2018).

1.4.4 Endüstri 4.0 dönüşümün örgütsel değişim boyutları

Yeni endüstriyel dönüşüm farklı araştırmacılar tarafından farklı kategorilerde incelenmiştir. Dünya Ekonomik Forumu'nun (WEF) kurucusu olan Prof. Dr. Klaus Schwab 2016 yılında yayınladığı Dördüncü Sanayi Devrimi kitabında Endüstri 4.0 ile yaşanan dönüşümleri fiziksel, dijital ve biyolojik dönüşüm olarak üç genel başlıkta toplamıştır. Endüstri 4.0'dan beklenen bileşenleri de on faktöre ayırmış ve üç büyük dönüşümün altında kategorize etmiştir (Şekil 3). Otonom araçlar, üç boyutlu yazıcılar, gelişmiş robotik sistemler ve yeni malzemeleri fiziksel dönüşümün bileşenleri; nesnelerin interneti, sensör teknolojileri ve teknoloji destekli platformları dijital dönüşümün bileşenleri; sentetik biyoloji, genetik düzenleme ve nöroteknolojiyi de biyolojik dönüşümün bileşenleri olarak sınıflandırmıştır. Bu çalışmada, Schwab'ın (2016: 19-26) sınıflandırmasına göre Endüstri 4.0 dönüşümünü sağlayan temel teknolojiler ele alınacaktır. Endüstri 4.0'ın bir işletmeye uygulanmasının örgütsel belleğin ve koordinasyon ağlarının yapısının değişimindeki, örgütün öğrenmesinde ve öğrenen örgüte dönüşmesindeki etkiyi araştırmadan önce tezin araştırma nesnesini oluşturan bu bileşenlerden kısaca söz etmek yerinde olacaktır.

1.4.4.1 Dijital dönüşüm

Birinci bölümde bahsedildiği üzere sanayi devrimleri birçok disiplinde eş zamanlı gerçekleşen dönüştürücü gelişmelerin bütünsel etkisiyle ortaya çıkmaktadır. Endüstri 4.0 devrimi de bu bakımdan önceki sanayi devrimlerine benzemektedir. Ancak, dördüncü sanayi devriminin dijital boyutu devrimle hemen hemen

özdeşleşmiş, pek çok alanda Endüstri 4.0 kavramı yerine kullanılır olmuştur. Endüstri 4.0'ın 2011 yılında duyurusu yapılırken de devrimin yaratacağı paradigma değişiminin en belirgin boyutunun dijital dönüşüm olduğu vurgulanmıştır. Nesneleri sensörler aracılığıyla internet ağına dahil etmenin; fiziki dünyayı, yani maddeyi sanal dünyayla bağlayabilmenin, maddenin katılığından kaynaklanan durağanlığın aşılması dijital bir çağın başlamasına sebep olan devrimsel bir dönüşüm yaratmaktadır. Endüstri 4.0'ın dijital dönüşüm araçları nesnelerin interneti, sensör teknolojisi ve teknoloji destekli platformlar olarak sınıflandırılmaktadır.

Nesnelerin İnterneti (Internet of Things- IoT)

Dördüncü sanayi devriminin en belirgin özelliği dijitalleşmedir. Dijital dönüşümün temelinde her şeye dair bütün bilgilerin dijital ortama aktarılması yatmaktadır. Nesnelerin interneti; en basit haliyle, ürünlerin, hizmetlerin, mekanların ve insanların teknolojiyle bağlanarak çeşitli platformlarda etkileşimde bulunmaları olarak tanımlanmaktadır.

Sensör Teknolojisi

Sensör teknolojisi fiziksel nesnelerin sanal ağlarla iletişim kurmasını sağlayan vericiler, sensörler ve radyo frekansı tanımlama etiketleri (radio frequency identification device-RFID) gibi teknolojik araçlardan oluşmaktadır. Uzun yıllardır kullanılan bu araçlar E4.0 sayesinde daha küçük ve daha akıllı hale gelmiştir. Nesnelere entegre edilen sensör teknolojisi sayesinde nesnelerin konumu, hareketi, performansı internet üzerinden takip edilebilmektedir. Bu durum tedarik zincirinde yeni bir dönemin başladığının göstergesidir. Üzerlerine sensör, verici ya da RFID eklenmiş nesnelerin yöneticiler, müşteriler ve tedarikçiler tarafından eş zamanlı olarak takip edilebilmesi, yaratılan şeffaflık sayesinde, uzun ve karmaşık tedarik zinciri yürüten işletmeler için, müşterinin de üretim ve lojistik sürecine dahil olduğu dönüştürücü bir gelişmedir.

Teknoloji Destekli Platformlar

İnsanları, ürünleri ve hizmetleri sanal bir zeminde bir araya getirerek paylaşım ekonomisi yaratan teknolojik platformlar, malların ve hizmetlerin tüketilmesinde klasik pazara alternatif oluşturmaktadır. Arz ve talebin erişilebilir düşük maliyetlerle buluşturulduğu dijital platformlar, bir yandan tarafların doğrudan etkileşime

girebilmesi ve geri bildirimde bulunabilmesi sebebiyle güven ortamı yaratırken, diğer yandan işlem maliyetlerinin ve marjinal maliyetin düşmesini sağlamaktadır.

1.4.4.2 Fiziksel dönüşüm

Dijital dönüşüm araçlarının nesnelere uygulanmasıyla Endüstri 4.0'ın fiziki dönüşüm boyutu ortaya çıkmaktadır. Dijital dönüşüm siber fiziksel sistemler aracılığıyla kendi kendini yönetebilen ve makine öğrenmesi yoluyla kendi kararlarını verebilen otonom araçların üretilmesini ve Endüstri 3.0'la birlikte çalışma hayatının bir parçası olan robotik sistemlerin daha sofistike, daha esnek, daha duyarlı hale gelmesini sağlamak ve devrimin fiziksel dönüşümünü başlatmaktadır. Gelişen teknolojiyle keşfedilen yeni malzemeler uzun vadede insanlığı değiştirecek bir diğer fiziksel dönüşüm boyutudur. Dördüncü sanayi devrimin fiziksel olarak en dönüştürücü yeniliği ise üç boyutlu yazıcıların icat edilmesidir. Schwab'a (2016) göre, fiziksel dönüşüm sözü geçen dört aracı aşağıda detaylandırılmıştır.

Otonom Araçlar

Sensör teknolojisi ve yapay zekâ kullanılarak geliştirilen sürücüsüz araçlar çevrelerini algılama ve tepki verme yeteneğine sahiptir. Sürücüsüz dronlar, kamyonlar, uçaklar, tekneler geliştirilmekte ve farklı alanlarda kullanılmaktadır. İnsansız dronlar tarımda, okyanus dibi taramalarında, elektrik hatlarını kontrol etmede ve savaş bölgelerinde kullanılmaya başlanmıştır.

Üç Boyutlu Yazıcı (Eklemeli İmalat)

Endüstri 4.0'ın devrim niteliğindeki en önemli gelişmelerinden biri olan üç boyutlu yazıcılar, günümüzde uygulanan bir malzemedan katmanların ayrıştırılması yoluyla gerçekleştirilen çıkarmalı imalatı kökten değiştiren araçlardır. Üç boyutlu baskı, dijital bir şablona dayanarak gevşek bir malzemenin katman katman eklenerek üç boyutlu bir nesneye dönüşmesiyle ortaya çıkmaktadır. Kolaylıkla özelleştirilebilmesi sebebiyle, rüzgâr türbinlerinden tıbbi implantlara kadar geniş bir yelpazede kullanım alanı bulunmakta olup otomotiv, havacılık, tekstil ve tıp alanlarında yaygın olarak üç boyutlu yazıcılardan faydalanılmaya başlanmıştır. Bir sonraki aşamada özellikle tıp alanında, ısı ve nem gibi çevresel değişkenlere göre kendini değiştirebilen dört boyutlu yazıcılarda basılmış ürünlerin de gündelik hayatın bir parçası olması adına araştırmalar sürdürülmektedir.

Gelişmiş Robotik Sistemler

1970'lerin sonunda 3. Sanayi Devrimi ile hayatımıza giren robotlar E4.0 ile gelişmiş sensör teknolojilerini ve dijital platformları kullanabilmeye başlamıştır. Yeni nesil robotlar sensör teknolojileri ile çevreye daha iyi tepki verebilmekte, gelişmiş yapısal ve işlevsel tasarımları sayesinde daha esnek hareket edebilmektedir. Otonom olarak geliştirilmeleri sebebiyle bilgiye bir bulut (cloud) üzerinden uzaktan erişebilmekte ve diğer robotlarla iletişim kurabilmektedir. E4.0'ın getirdiği en büyük yenilik olan fiziksel sistemlerin sanal dünyayla bütünleşmesi, gelişmiş robotik sistemlerin kullanıldığı bütün sektörlerde uygulama alanı bulmaktadır.

Yeni Malzemeler

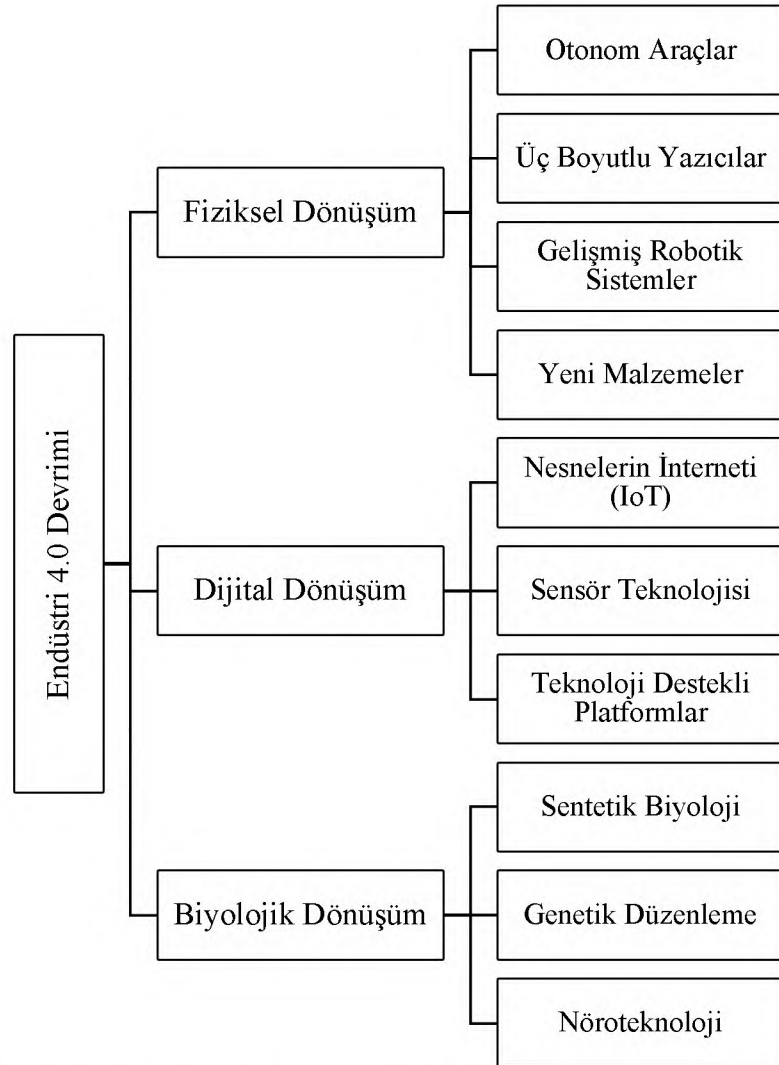
Teknolojinin ilerlemesi sonucu birkaç yıl öncesine kadar hayal edilemeyecek yeni malzemeler üretilmeye başlanmıştır. Akıllı malzemeler olarak adlandırılan bu malzemeler genel olarak daha hafif, daha güçlü, geri dönüştürülebilir, kendini temizleyebilen, kendini düzeltebilen malzemelerdir. Hafızası olduğu için şekli bozulduğunda orijinal şekline geri dönebilen metallere, basıncı enerjiye dönüştürebilen kristal ve seramiklerden bahsetmek mümkündür. Yeni malzemelerin yeni sanayi devriminin tam olarak hangi aşamasında ortaya çıktığını belirlemek güçtür, ancak; ortaya çıkan bu yeni malzemelerin sadece iş yapış şeklini değil tüm insanlığın yaşam felsefesini değiştirebilecek nitelikte olduğu söylemek o kadar güç olmayacaktır. Örneğin, geri dönüşümü ve doğaya karışması çok zor olmasına rağmen bütün endüstrilerde ve gündelik hayatın her alanında kullanılan plastiğin yerini yakın zamanda keşfedilen Poliheksahidrotriazinler (PHT'ler) olarak adlandırılan, ısıyla sertleşen, geri dönüştürülebilir ve kendini yenileyebilen polimer sınıflarının alması sürdürülebilirlik açısından devrim niteliğindedir. Çelikten 200 kat daha güçlü ve insan saçının milyonda biri inceliğinde olup ısıyı ve elektriği verimli bir şekilde ileten grafen maddesi de yine yaşam tarzını devrimsel ölçüde değiştirebilecek modern malzemelere örnek gösterilebilir.

1.4.4.3 Biyolojik dönüşüm

Dördüncü sanayi devrimi birçok endüstride iş yapma şeklini değiştirmektedir. Ne var ki, hiç şüphesiz yeni teknolojiler ve bulunan yeni malzemelerle E4.0'ın en dönüştürücü etkisi biyoloji ve genetik alanlarında yaşanmaktadır. Bu dönüşüm

doğrudan tarım ve tıp endüstrilerini de etkilemektedir. Genetik temellere dayanan birçok hastalık DNA yazılımı yapmayı sağlayan sentetik biyoloji teknolojisiyle kişiselleştirilmiş yaklaşımlarla bertaraf edilebilecek, üç boyutlu yazıcılarla zarar görmüş dokular biyolojik baskı (bioprinting) yapılarak yeniden üretilebilecek, nöroteknoloji sayesinde insan beyninin fonksiyonları daha iyi anlaşılabilir. Genetik düzenleme konusundaki etik tartışmaları bir kenara bırakırsak dördüncü sanayi devriminin insanlığın geleceğini en derinden değiştirecek boyutunun biyolojik dönüşüm olduğu söylenebilir.

Şekil 3. Endüstri 4.0 Devrimi



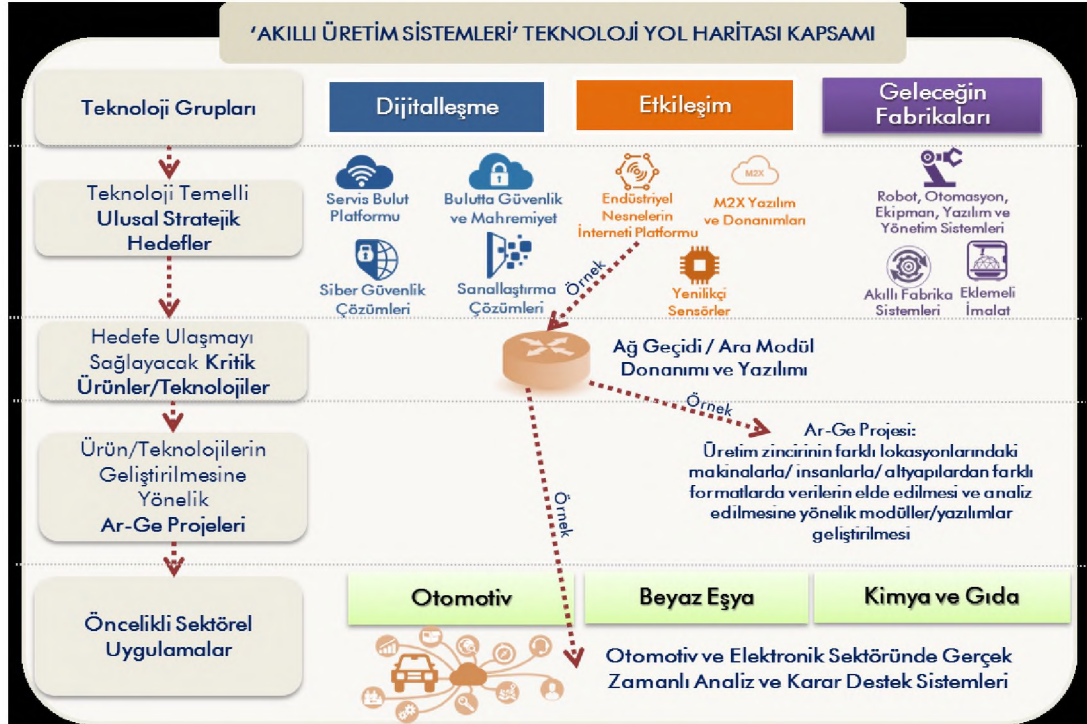
Kaynak: Klaus Schwab, “The Fourth Industrial Revolution”, (2016)

1.5 Türkiye'nin Endüstri 4.0 Yol Haritası

Dördüncü sanayi devriminde Türkiye “Dijital Türkiye” projesiyle yerini almaktadır. 2016 yılında başlayan dijital dönüşüm sürecinde Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ile TÜBİTAK görevlendirilmiştir. TÜBİTAK 2016 yılında hazırladığı Yeni Sanayi Devrimi Akıllı Üretim Sistemleri Yol Haritası raporunda durum analizi için yapılan anket sonuçlarını paylaşmıştır. Araştırmada TÜBİTAK’tan AR-GE desteği almış olan 1000 işletmenin dijital dönüşüme farkındalıkları ve eğilimleri, dijital olgunluk seviyeleri, en çok katma değer yaratacak E4.0 bileşenleri üzerine görüşleri alınmıştır. Araştırma sonuçlarına göre farkındalığı en yüksek olan sektörlerin elektronik, yazılım ve makine sektörleri olduğu, firmaların yalnızca %22’sinin kapsamlı bilgiye sahip olduğu, ancak işletmelerin %50’sinin gelecek yıllarda ilgili teknolojileri entegre etmeyi planladığı gözlemlenmiştir. Sanayimizin olgunluk seviyesinin Endüstri 2.0 ile Endüstri 3.0 arasında konumlandığı gerçeği araştırmanın çarpıcı sonuçlarından biridir.

Yol haritasının oluşturulmasında öncelikle teknoloji grupları belirlenmiştir. Bu grupların gelişimine yönelik ulusal stratejik hedefler teknoloji temelli olarak ortaya konulmuştur. Kritik ürün ve teknolojiler belirlenmiş, bu ürün ve teknolojilerin geliştirilmesi için AR-GE projeleri teşvik edilmiştir. Sürecin sonunda ise öncelikli sektörler belirlenmiştir. Katma değer en yüksek olduğu sektörlerin makine ve ekipman, bilgisayarlar, elektronik ve optik ürünler, otomotiv ve beyaz eşya üreten sektörler olduğu da gözlemlenmiştir. Yapılan kavramsal çalışmalar, mevcut durumun analizi ve paydaşlarla yapılan çalıştaylar sonucunda yeni endüstri devrimi; dijitalleşme, etkileşim ve geleceğin fabrikaları olarak üç başlıkta ele alınmış ve Endüstri 4.0 bileşenleri bu üç ana başlık altında sınıflandırılmıştır. Bulut bilişim, sanal platformlar, siber güvenlik ve sanallaştırma çözümleri ile bulutta mahremiyet ve güvenlik boyutları dijitalleşme altında ele alınmıştır. Yenilikçi sensörler, endüstriyel nesnelerin interneti ve makineden paydaşlara bilgi aktaran yazılım ve donanımlar etkileşim başlığı altında toplanmıştır. Üçüncü ana başlık olan geleceğin fabrikaları ise akıllı fabrika sistemleri, eklemeli imalat ile robotik yazılım ve yönetim sistemleri boyutlarını içermektedir. Belirlenen bu yol haritasının kapsamı Şekil 4’te gösterilmektedir.

Şekil 4. TÜBİTAK Endüstri 4.0 Yol Haritası



Kaynak: TÜBİTAK Yeni Sanayi Devrimi Akıllı Üretim Sistemleri Yol Haritası 2016

TÜBİTAK'ın ardından Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı da 2018 yılında İmalat Sanayide Dijital Dönüşüm raporunu tamamlamış ve nihai yol haritasını belirlemiştir. Yol haritası altı bileşenden oluşmaktadır: İnsan, teknoloji, altyapı, tedarikçiler, kullanıcılar, yönetim. Bu altı bileşen için yapılması planlanan unsurlar Tablo 2'de detaylandırılmıştır.

Türkiye'nin dördüncü sanayi devrimine geçiş sağlaması için Almanya'da olduğu gibi Türkiye'de de devlet öncülüğünde Sanayide Dijital Dönüşüm Platformu (SDDP) geliştirilmiştir. SDDP dijital dönüşümü iki başlıkta değerlendirmeyi uygun bulmuş ve 2017 yılında hazırlanan raporda E4.0 bileşenleri "Sanayide Dijital Teknolojiler" ve "İleri Üretim Teknolojileri" olarak iki çalışma grubunun çalışma alanları altında toplanmıştır. Yatay ve dikey entegrasyon teknolojileri, büyük veri ve ileri analitik, bulut teknolojileri, nesnelerin interneti, yapay zeka ve akıllı yazılımlar ile siber güvenlik Sanayide Dijital Teknolojiler çalışma grubunun çalışma alanları; siber-fiziksel sistemler, otonom robotlar ve mekatronik sistemler, akıllı ve esnek olmayan otomasyon sistemleri, yenilikçi ve akıllı sensörler, eklemeli imalat sanayi

İleri Üretim Teknolojileri çalışma grubunun çalışma alanları olarak belirlenmiştir (BSTB, Dijital Türkiye Yol Haritası, 2018, : 24-25).

Tablo 2. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Endüstri 4.0 Yol Haritası

Dijital Türkiye- İmalat Sanayi Dijital Dönüşüm Yol Haritası	
İnsan	Sürekli Eğitim Merkezlerinde ve tematik teknik kolejlerde dijital teknoloji kullanıcılarının yetiştirilmesi Üniversitelerde dijital teknoloji geliştiricileri yetiştiren programların çoğaltılması Eğitimin her kademesinde eğitimcilere dijital yetkinlikler kazandırılması Dijital teknoloji alanlarında doktora öğreniminin desteklenmesi Özel teşvikler ve desteklerle dijital yetkinliklere sahip işgücünün sanayi ile buluşturulması Dijital teknoloji alanlarında doktora öğreniminin desteklenmesi Dijital dönüşüm farkındalığının artırılması ve yaygınlaştırılması Dijital dönüşüm paydaşları arasında iş birliği geliştirilmesi
Teknoloji	Odak teknoloji alanlarına (bulut bilişim, büyük veri, yapay zeka, otonom robotlar vb.) yönelik teknoloji yol haritalarının hazırlanması Uygulamalı AR-GE stratejisinin hazırlanması Odak teknoloji alanlarında uygulamalı araştırma merkezlerinin kurulması Dijital Teknolojiler Programı'nın başlatılması
Altyapı	Sanayicilerin ve teknoloji geliştiren firmaların yüksek hızlı internete erişmelerinin sağlanması Veri iletişim standartlarıyla ilgili uluslararası çalışmalara entegre olunması ve standartların yaygınlaşmasına destek olunması Endüstriyel siber güvenliğin sağlanması konusunda önlemler alınması Ulusal endüstriyel bulut platformu kurulması ve veri merkezlerine yönelik endüstriyel talebin artmasının sağlanması
Tedarikçiler	Yerli dijital teknoloji firmalarının envanterinin çıkarılması Yerli dijital teknoloji firmalarının, teknoloji edinim ve geliştirme imkanlarının güçlendirilmesi Yerli tedarikçilerin ürün ve hizmetlerinin müşteriye erişiminin desteklenmesi Uzun vadeli finansmanın (kredi, sermaye yatırımları vb.) daha erişilebilir hale getirilmesi
Kullanıcılar	Dijital dönüşüm merkezlerinin açılması KOBİ'lerin dijital dönüşümlerine destek olacak danışmanların yetiştirilmesi Dijital dönüşüm destek programı ile imalat sanayi işletmelerinin dijitalleşme yolculuklarının kolaylaştırılması
Yönetişim	İmalat sanayinin dönüşüm sürecini yönlendirecek ve paydaşlar arasında koordinasyonu sağlayacak etkin ve etkili bir yönetim yapısının oluşturulması

Kaynak: <https://www.sanayi.gov.tr/tsddtyh.pdf>, Türkiye'nin Sanayi Devrimi, "Dijital Türkiye" YolHaritası, 2018.

1.6 Endüstri 4.0 ve KOBİ'ler

Endüstri 4.0'a geçişle amaçlanan üretim, bilgi teknolojileri ve interneti birleştirmektir. Üretimden gelen verilerin bilgi teknolojileri ile internet ortamına aktarılması üreticiyi doğrudan müşteriyle bağlamaktadır. Bu durum, müşterinin, tedarik zincirinden başlayarak, üretim süreçlerinin her safhası hakkında eşzamanlı bilgi alabilmesini sağlamaktadır. Benzer şekilde iç paydaşların da süreçleri online olarak takip edebilmesini ve yöneticilerin gerekli durumlarda uzaktan müdahale edebilmesini de olanaklı hale getirmektedir. Burada yeni bir sanayi devrimini yaratan esas değişim, işletmelerin mekanik ve organik bileşenlerinin dijital ortamda kendi aralarında ve birbirleriyle bilgi alışverişinde bulunabilmesidir (Matt ve Rauch, 2020: 4).

Bütün süreçlerin şeffaflaştığı ve bilginin eşzamanlı aktarılabilirdiği bir iş sisteminde yalnızca hızı ya da kaliteyi artırmak veya maliyeti düşürmek rekabet avantajı yaratmaya yetmeyecektir. Rekabet üstünlüğü ancak; üretim süreçlerinin iyileştirilmesi haricinde, sürdürülebilirlik, kaynakları ve enerjiyi verimli kullanmak gibi küresel sorumlulukları dikkate alan bir değer zincirinin oluşturulmasıyla yakalanabilecektir. Ürün yaşam döngüsünün tamamında veri aktarımı, değer zincirinin bütün taraflarına gelişmiş avantajlar sağlayacaktır. Endüstriyel dönüşüm tamamlandığında; katı sınırları olan geleneksel merkezi karar mekanizmalarının yerini daha esnek üretim ve lojistik sistemleri ile etkileşimli ve müşterek karar vermeye dayanan daha şeffaf süreçler alacaktır. E4.0 ile kitlesel üretim (mass production) yapan imalat süreçlerinin daha etkili hale getirilerek, üretim maliyetini artırmadan kitlesel üretimin kişiye özel olarak kurgulanması (kitlesel kişiselleştirme- mass customization) amaçlanmaktadır (Spath vd., 2013).

Endüstri 4.0 fikri sadece ürünlerin değil aynı zamanda imalat süreçlerinin de müşteri talebine göre esnek hale getirilmesini barındırmaktadır. Büyük ölçeklerde standart üretim yapan büyük işletmeler için üretim süreçlerinin esnek hale getirilmesi, daha küçük ve esnek yapıya sahip, girişimcilik ve yenilikçilik yönü kuvvetli olan KOBİ'lere göre daha zordur. Yoğun rekabet ortamında, rekabet baskısını azaltmak için küçük işletmeler yeniliklere hızla uyum sağlayabilecek ve proaktif hareket edebilecek şekilde örgüt yapılarını tasarlamaktadır. Bu sebeple, E4.0 dönüşümünde kompakt, adaptif ve yenilikçi KOBİ'lerin dijital dönüşümü yakalaması yeni sanayi

devriminin gerçekleşmesi için hayati önem taşımaktadır (Sommer, 2015). Deloitte ve PricewaterhouseCoopers (PWC) 2015 yılı raporlarında, KOBİ'lerin büyük ve uluslararası işletmelere oranla çok daha hızlı bir şekilde yeni bilgi işlem yapıları oluşturduklarını ve ürünlerini dijitalleştirdiklerini aktarmışlardır (Matt ve Rauch, 2020: 5).

Türkiye'de Endüstri 4.0'ı uygulayan işletmelerin performansını genel olarak ve Endüstri 4.0 bileşenleri özelinde ölçen çalışmalar mevcuttur. 2019 yılından itibaren Endüstri 4.0'ı konu alan nitel ve nicel yöntemlerle kapsamlı olarak araştırılmış doktora çalışmaları yapılmıştır. Koca (2020), E4.0'ı uygulayan büyük sanayi işletmeleri ve üniversitelerle mülakatlar yapmış ve iş gücünde yeni beceriler için arz ve talepleri karşılaştırmıştır. Türkiye'nin dijital yol haritasında yer alan ana faktörlerden biri olan işgücünün eğitimi konusunu irdelemiştir. Çalış Duman (2020), Kayseri Organize Sanayi Bölgeleri'nde halihazırda Endüstri 4.0'ı kullanan 79 işletme ile yüz yüze görüşmeler ve anketler yaparak E4.0'ın örgütsel performansa etkisini istatistiksel olarak ölçmüştür. Güler (2019), uluslararası ticaretin dijitalleşmesi ve sanayi akımlarının etkisi perspektifinden Endüstri 4.0'ı uygulayan bir işletmenin yıllara dayalı panel verilerini kullanarak, dijitalleşmenin ithal edilen ürünler üzerindeki etkisini gözlemlemiştir.

Gürsoy (2020), bu araştırmaya benzer şekilde bir imalat işletmesinde yerinde gözlem yapmıştır. Araştırma konusu E4.0'ın bileşenlerinden otomasyonları kullanan otomotiv yan sanayi üretimi yapan büyük bir işletmedir. Bilgisayar temelli bir programla verilerin eş zamanlı olarak sisteme yüklenmesiyle yapılan çalışma yalın üretimde süreçlerin iyileştirilmesine odaklanmaktadır. Çiçek (2021), sanayi devrimlerinin iktisadi etkilerini ve dördüncü sanayi devriminde Türkiye'nin tarım, sanayi ve hizmet sektörlerindeki durumunu kapsamlı olarak irdeleyen bir araştırma yapmıştır. Liderliğin dördüncü sanayi devriminde nasıl değişeceğini sorgulayan Karademir (2022), yazılım, hizmet ve imalat sanayiinden 197 işletmeden aldığı verilerle endüstri olgunluk seviyesi ile firma performansı arasında liderliğin aracı rolünü incelemiş ve Liderlik 4.0 model önerisini geliştirmiştir. Ashak Gajo (2021) Türkiye'de otomotiv sanayiinde faaliyet gösteren sekiz işletme üzerinde vaka çalışması yaparak bilgi, teknoloji, örgüt, yönetim ve insan boyutlarında kapsamlı sınıflandırmalar yapmıştır. Geliştirdiği çok boyutlu olgunluk endeksi ve iş modeliyle

ortaya çıkan yol haritası hem akademisyenlere hem de endüstrinin uygulayıcılarına ı ışık tutacak niteliktedir. İşletme alanında yayımlanan güncel tezlerden bir diğeri de örgütsel öğrenmeyi odak noktasına almış ve nicel ve nitel karma yöntemlerle tekstil ve konfeksiyon sektöründe faaliyet gösteren KOBİ'lerin dijitalleşmesinde örgütsel öğrenmenin etkisini ortaya koymuştur (Divrik, 2022). Son yıllarda Endüstri 4.0'ı konu alan bu çalışmalar oldukça kaliteli ve faydalı bilgi üretmişlerdir. Ancak yapılan çalışmalar E4.0 uygulayıcıları üzerinde yapıldığından imalat sanayinin %99'unu oluşturan ve sayısı 400.000'in üzerinde olan KOBİ'ler halen için yeterli bilgi üretilmemiştir. KOBİ'lerin Türkiye'nin dijital dönüşümdeki yerini inceleyen daha çok araştırmaya ihtiyaç vardır.

Endüstri 4.0'a geçiş sürecinde devletlerin yol haritalarında KOBİ'lerin önemine vurgu yapılmaktadır ve verilecek destekler detaylı olarak çalışılmaktadır. OECD ve Avrupa Birliği'nin özellikle kalkınmada gecikmiş ülkelerin KOBİ'lerinin nasıl destekleneceğine dair kapsamlı çalışmalar da yürütülmektedir.

1.6.1 KOBİ'lerin Ekonomideki Yeri

Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler olarak bir çatı altında toplanan KOBİ'ler için “küçük” ve “orta büyüklük” te olma ölçütleri ülkeden ülkeye, hatta sektörden sektöre farklılık göstermektedir. Yaygın olarak, çalışan sayısı ve yıllık satışlar ile net yatırımlar bir işletmenin büyüklük ölçütü olarak değerlendirilmekle birlikte; bunların dışında pek çok nitel ve nicel ölçüt de KOBİ olarak sınıflandırılma gerekleri arasında sayılmaktadır. Ülkelerin ekonomik seviyeleri ile sektörlerin işlem hacimleri arasındaki bölgesel farklılıklar, ölçütlerin evrensel standartlarda olamamasının başlıca nedenleridir. Çalışan sayısı bakımından kıyaslanacak olursa mesela, Türkiye'de Avrupa ile paralel ölçekler söz konusuysa, Amerika'da beş yüz çalışanı olan işletmeler KOBİ kapsamına dahil edilmektedir (Robu, 2013: 87). En radikal fark Çin'de görülmektedir. Diğer ülkelerde orta ölçek sayılan kişi sayısı Çin için mikro ölçekli bir işletme için geçerlidir. Orta ölçek Çin'de sektörel olarak iki bin ila üç bin çalışana kadar çıkabilmektedir (Hu ve Qaisar, 2021). Ülkelerarası farkların yanı sıra, ülkelerin kendi içlerinde iktisadi ve politik hedefleri değiştikçe, o ülkeyi bu hedeflere taşıyacak olan ve ekonominin bel kemiğini oluşturan KOBİ'lerin kapsamı ülke

içinde de değişmektedir. Benzer şekilde, akademik yazında da KOBİ'lerin tanımlamaları çeşitlilik göstermektedir (Mecek, 2020:33).

Tablo 3. Kurumların Ölçek Sınıflandırmaları

<i>Kurumlar</i>	<i>Çok Küçük Ölçekli</i>	<i>Küçük Ölçekli</i>	<i>Orta Ölçekli</i>	<i>Büyük Ölçekli</i>	<i>Alan Yazın</i>
Sanayi ve Ticaret Bakanlığı					
<i>Çalışan Sayısı</i>		(1-19)	(20- 99)	>100	Yıldızeli (2000)
Hazine Müsteşarlığı					
<i>Çalışan Sayısı</i>	(1 -9)	(10-49)	(50- 250)		Durman ve Önder (2007)
Dış Ticaret Müsteşarlığı					
<i>Çalışan Sayısı</i>		<200			AR-GE Tebliği, 98/10 md.2
Devlet Planlama Teşkilatı (DPT)					
<i>Çalışan Sayısı</i>	(1-9)	(10-49)	(50-99)	>100	Çetin (1996)
Küçük Sanayi Geliştirme Teşkilatı (KÜSGET)					
<i>Çalışan Sayısı</i>		(1-9)	(10-49)	>50	Uludağ ve Serim (1991), Ekinci (2003)
KOSGEB					
<i>Çalışan Sayısı</i>		(1-50)	(51-150)		
TOBB					
<i>Çalışan Sayısı</i>	(1-9)	(10-49)	(50-250)		Altay ve Aksaraylı (2007)
İstanbul Ticaret Odası					
<i>Çalışan Sayısı</i>		<25		>25	Uludağ ve Serim (1991)
İstanbul Sanayi Odası					
<i>Çalışan Sayısı</i>		(1-20)	(21-100)		Çelik vd. (1997)
Ankara Sanayi Odası					
<i>Çalışan Sayısı</i>		(10-29)	(30-299)		Erdoğan (2009)
Türkiye Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeler, Serbest Meslek Mensupları ve Yöneticileri Vakfı (TOSYÖV)					
<i>Çalışan Sayısı</i>	(1-4)	(5-99)	(100-199)		Altay ve Aksaraylı (2007)
Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası (TCMB)					
<i>Çalışan Sayısı</i>		(1-50)	(50-500)	>500	Yılmaz (2003)
<i>Net Hasılat</i>		<7 milyon Euro	7-40 milyon Euro	>40 milyon Euro	
Türkiye İhracat Kredi Bankası (Eximbank)					
<i>Çalışan Sayısı</i>		<200			
<i>Sabit Sermaye Tutarı</i>		<2 milyon Dolar			

Türkiye’de KOBİ’ler, 28457 sayılı resmî gazetede yayınlanan yönetmeliğin 3. maddesi gereğince; *“ikiyüzelli kişiden az yıllık çalışan istihdam eden ve yıllık net satış hasılatı veya mali bilançosundan herhangi biri yüzyirmibeş milyon Türk Lirasını aşmayan ve bu Yönetmelikte mikro işletme, küçük işletme ve orta büyüklükteki işletme olarak sınıflandırılan ekonomik birimler veya girişimler”* olarak tanımlanmıştır (<https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=sanayi-114&dil=1>, Görüntüleme:10.01.2021).

Yasada belirtilenin dışında KOSGEB, Halk Bankası, Eximbank, Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Hazine Müsteşarlığı, Ekonomi Bakanlığı, TÜİK gibi kuruluşların çalışan sayısına ve bazen de sermaye yapısına göre değişen farklı KOBİ tanımları da mevcuttur (Bayülken, 2017). KOBİ’ler genellikle çalışan sayısına göre mikro, küçük ve orta ölçekli kabul edilmiştir. Çalışan sayısına ek olarak, yasada belirtildiği gibi net hasılatı KOBİ’leri sınıflandırmakta esas alan kurumlar olduğu gibi sabit sermaye tutarı da KOBİ’leri sınıflandırmakta kullanılan kriterlerden biridir. Örneğin, Merkez Bankası net hasılatı kırk milyon Euro’yu geçmediği takdirde beş yüz çalışana kadar orta ölçekli kabul etmekte ve bu işletmeleri KOBİ sınıflandırmasına dahil etmektedir. Tablo 3 farklı dönemlerde alan yazında yer alan, farklı kurumların KOBİ ölçeklerini özetlemektedir.

1996 yılında Avrupa ile Gümrük Birliği Anlaşması’nın imzalanmasının ardından, Türkiye ülke içindeki KOBİ’lerin Avrupa Birliği ve OECD ülkelerindeki KOBİ’lerin gelir düzeyine çıkabilmesini ve açık ekonomi ortamında rekabet edebilmesini sağlamak adına uluslararası programlara katılmış ve KOBİ’lerin şartlarının Avrupa ile uyumlaştırılması için adımlar atmıştır. Bu amaçla Türkiye; 2000 yılında birinci OECD toplantısına katılarak Bologna Deklarasyonu’na onay vermiş, 2002 yılında Avrupa KOBİ Şartı’nı kabul etmiş ve 2004 yılında ikinci OECD toplantısına ev sahipliği yapmıştır. 2005 yılında KOBİ’lerin tanımlanmasıyla ilgili düzenlemeler içeren Avrupa Birliği Maastricht Kriterleri de Türkiye tarafından kabul edilmiştir. Bu kriterler doğrultusunda KOBİ’lerin bağımsız kabul edilebilmesi, içindeki başka hisse sahiplerinin payının %25’i geçmemesi hususunda anlaşılmıştır. KOBİ’yi büyük ölçekli işletmelerden ayırt edebilmek için satış hacmi ve bilanço büyüklüğü ile çalışan sayısı kriterleri netleştirilmiştir. Mikro ve küçük işletmeler için satış hacmi ve bilanço büyüklüğü eş kabul edilmiş ve iki milyon avro olarak

belirlenmiştir. Orta ölçekli işletmeler için en yüksek ciro elli milyon avro iken bilanço tutarı kırkûç milyon avroyla sınırlandırılmıştır (EC, 2005: 14).

AB, KOBİ'leri standardize etmeye çalışmışsa da ülkelerin gelişmişlik seviyelerinin ve gelir durumlarının farklı olması sebebiyle AB içinde bile bütün ülkeler eş kriterleri uygulayamamaktadır. AB'nin kriterlerinin yanında dünyanın farklı bölgelerinde bir işletmenin KOBİ kategorisinde değerlendirilmesi için; sermaye miktarı, demirbaş miktarı, makine teçhizatın kullanım oranı, yıllık kar, işletme türü gibi pek çok kriter söz konusudur. Gibson ve Vaart (2008), KOBİ tanımlamasında bu kadar farklı etkenin yarattığı karmaşanın en aza indirilebilmesi ve böylece dünyanın çeşitli bölgelerindeki KOBİ'ler arasında bir kıyaslama yapılabilmesinin mümkün hale gelmesi gerektiğini iddia etmiştir. Gibson ve Vaart'a göre (2008), dünyanın her yerinde küçük ve orta büyüklükte işletmeler vergiden kaçınmak için çalışan sayılarını ve yıllık karlılıklarını manipüle etme eğilimdedir (s.13). Bu nedenle bu kriterler yanıltıcı olabilmektedir. Aynı zamanda çalışan bazlı tanımlama çalışanların etkinliği hakkında bilgi vermemektedir. Benzer olarak bilanço bazlı tanımlamalar sermayenin etkinliğini gösterememektedir. Gibson ve Vaart'ın önerisi (s.18) yalnızca ciroya bakılmasıdır. Ek olarak, ülkelerin ekonomik durumları arasındaki farkın hesaplamaya dahil edilmesinin elzem olduğunu düşünmektedirler. Bunun için de ülkelerin satın alma gücüne göre, kişi başı gayrisafi milli hasılanın 10 katı ile 1000 katı arasında kazancı olan işletmelerin KOBİ olarak tanımlanması önermektedir. Değerlerin tek bir para cinsinde- dolar olarak- ifade edilmesiyle ülkeler arası kıyaslama yapmak mümkün olacaktır. Model yol gösterici olarak kullanılabilirdi ancak ekonomik istikrarsızlıklar KOBİ'lerin yıllık cirolarında çok büyük dalgalanmalar yaratmakta ve uzun vadede tutarlı bir ölçek oluşturmamaktadır.

Yıllara yayılan ekonomik istikrarsızlık nedeniyle Türkiye'deki KOBİ'lerin durumu ile Avrupa ülkelerindeki KOBİ'ler arasındaki ciddi farklılıklar olması, uzun vadeli kalkınma planlarında KOBİ'lerin şartlarının iyileştirilmesi konusunun ele alınmasını gerektirmiştir. 2003 yılında AB müktesebatına uygun olarak hazırlanan uzun vadeli KOBİ Stratejisi ve Eylem Planı ile Türkiye AB'nin KOBİ politikalarına benzer şekilde, sanayi sektöründeki verimliliği artırmayı hedef almıştır. Bu kapsamda hükümet, KOBİ'lere ayrılan kredilerin artırılması, yenilikçi KOBİ'lerin teşvik

edilmesi, teknolojik altyapılarının geliştirilmesi ve ürettikleri ürünlerin kalitesinin yükseltilmesini amaçlayan programlar hazırlamıştır (OECD, 2004).

Ancak bu programlar KOBİ'lerin vaat edilen kredilere ulaşmasını kolaylaştıramamaktadır. KOBİ'lerin bilançolarının şeffaf olmaması onları kredi verenlerin gözünde riskli kılmaktadır. Kredi verenlerce talep edilen bilgiler zaman zaman bilgi yetersizliği sebebiyle, zaman zaman finansal sıkıntıları saklama çabasıyla KOBİ'ler tarafından sağlanamamakta ve bu durum bilgi asimetrisi oluşturmaktadır. KOBİ'lerden net bilgi edinilememesi, kredi verenlerin KOBİ'lere kredi verme konusunda oldukça seçici davranmasına ve ancak en az riskli gördükleri projeleri finanse etmesine sebep olmaktadır. KOBİ cephesinde ise kredi faizlerinin yüksek olması, başvuru süreçlerinin uzun olması, kredi verenlerin teminat talep etmesi gibi zorlayıcı sebeplerle KOBİ'lerin kredi talebinden kaçındıkları gözlemlenmiştir. KOBİ'lerle finans kuruluşlarını yakınlaştıracak, bilgi asimetrisini azaltacak, bir yandan kredi verenleri koruduğu gibi, diğer yandan daha çok KOBİ'nin finanse edilmesinin sağlanabildiği çözüm mekanizmalarına ihtiyaç vardır. Bu konuda kamu-özel sektör iş birliğini sağlayan kamusal kredi başvuru ofisleri ile özel kredi ofisleri kurulabilir. Bu ofislerin bilgi asimetrisini azalttığı yönünde bulgular içeren çalışmalar mevcuttur. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde aracı ofislerin kurulması düşünülebilir. KOSGEB bu aracı kuruluşlara örnek gösterilebilir. Ancak asıl boşluğu genellikle kalkınma ajansları doldurmaktadır. Bu ajansların KOBİ'lerin dışardan finanslanmasına yönelik kalkınma planları vardır. Kalkınma planları doğrultusunda; kalkınma ajansları ve aracı ofislerce kapasite artırıcı teknik destekler, fiziki sermaye yatırımlarında sübvansiyonlar yoluyla hibeler verilmektedir. Kalkınmada öncelikli alanlara ayrıcalıklı krediler sağlanmakta, KOBİ'lere düşük kredili ve uzun vadede geri ödemeli kredi garanti fonlarından faydalanma olanağı sunulmaktadır. Bunların ötesinde, yeni kurulan KOBİ'lerin zorlu kuruluş dönemini atlatabilmesi için doğrudan kamu iktisadi teşekkülü şeklinde sermaye ortaklığı kurulabilmektedir. Böylece KOBİ'lerin finanslama sorunlarını azaltmaya yönelik adımlar atılmaktadır (Dayé vd., 2016).

Dünya Bankası'nın ve OECD'nin ekonomik büyümeyi ve ülkelerin gayrisafi milli hasıllarını artırmak için KOBİ'lerin teşvik edilmesi için programlar hazırlaması ve devletlerin bu programları kalkınma planlarına alması, KOBİ'ler mi büyük

işletmeler mi teşvik edilmeli ikilemini doğurmuştur. Akademide ve iş çevrelerinde KOBİ'lerin gerçekten ekonominin büyümesinde etkili olup olmadığı sorgulanmıştır. Beck (2005), KOBİ'lerin sayılarının artmasının ekonominin canlanması olarak algılanmasına rağmen, 45 ülkenin verileriyle çalıştığı araştırmasında, büyümenin ve refahın artmasının KOBİ'lerin sayısının artmasıyla bir ilişkisinin olmadığını ifade etmiştir. Ancak, var olan KOBİ'lerin geliştirilmesinin ekonomik büyümeye önemli ölçüde etkisi olduğunu da belirtmiştir. Beck'in (2005) alışmasına bağlı olarak gerçekleştirilen ikinci bir ülkelerarası çalışmada (Ayyagari, Beck, Demirgüç-Kunt, 2007) ise yoğun rekabetin olduğu rekabetçi ekonomilerde imalat sanayide faaliyet gösteren KOBİ'lerin ekonomik büyümeye katkıları olduğunu, eğer KOBİ'lerin artışı ve gelişimini destekleyen bir politika izlenecekse rekabetçi bir ortam yaratılması gerektiğini vurgulamıştır. Ayyagari, Demirgüç-Kunt ve Maksimovic (2011), Dünya Bankası bünyesinde daha önce yaptıkları çalışmayı 99 ülke içinde ve 47.745 KOBİ'yi ele aldıkları kapsamlı bir araştırmayla genişletmiş ve KOBİ'lerin ekonomik büyümeye etkilerinin sınırlı olmasına rağmen istihdam sağlama ve yeni işlerin yaratılmasında çok önemli etkileri olduğu sonucuna varmışlardır. Dünya Bankası tarafından farklı zamanlarda yapılan bu araştırmalar her ne kadar KOBİ'lerin ekonomik büyümeye etkisinin sınırlı olduğunu vurgulasa da 2013 yılı itibariyle Çin, Japonya ve Amerika'da KOBİ'lerin gayrisafi yurtiçi hasılaya katkıları %60'ın üzerindedir. Avrupa Birliği'nde bu oran %50'nin üzerindedir ve gelişmekte olan ülkelerde ise %70'leri geçmektedir (Robu, 2013: 86-87).

Küreselleşme, KOBİ'lerin girişimci ruhlu ve yeniliğe meraklı liderlerinin ihtiyaç duydukları rekabetçi ortamı yurt içinde olduğu kadar yurt dışında da sağlayan bir gelişmedir. Uluslararası pazarların oluşması, dağıtım ve iletişim teknolojilerinin ilerlemesi ve kolaylaşması dış ticareti artırmıştır. Büyük işletmelere göre daha hızlı ve esnek hareket edebilen ve risk almaktan korkmayan KOBİ'ler küresel ekonominin parlayan yıldızı haline gelmiştir. Asya lkelerinde ihracat yapan işletmelerin %60'ını KOBİ'ler oluşturmaktadır. Asya lkelerinin başı çektiği ihracat dalgası Avrupa ve Amerika'yı da etkilemiş ve tüm dünyada teşvik programları ve desteklerle yeni KOBİ'lerin kurulması ve geliştirilmesi sağlanmıştır. Aradan geçen 20 yıllık zaman içinde, tüm dünyada, KOBİ'ler bulundukları ülkelerin çalışan nüfusun yarısından fazlasını istihdam eder hale gelmiştir (Knight, 2000). Türkiye'de de 2000'lerin başında

geliştirilen programlar sayesinde KOBİ'lerin sayısı ve niteliği hızla artmıştır. TÜİK'in 28.12.2020 tarihinde yayınlanan verilerine göre programcılık, yayıncılık, finans ve sigorta sektörleri dışında kalan ekonomik faaliyet alanlarından bütününden elde edilen cironun %50'si KOBİ'ler tarafından yaratılmakta ve çalışan kayıtlı işçilerin de %67'si KOBİ'ler tarafından istihdam edilmektedir.

Daha az yatırımla daha çok ürün ve üretim çeşitliliği sağlamaları, düşük yatırım maliyetleriyle istihdam yaratmaları, esnek yapıları, talep değişikliklerine kolay uyum sağlamaları, kalkınmada bölgeler arasında denge sağlamaları, gelir dağılımındaki dengesizliği azaltmaları, bireysel tasarrufları teşvik etmeleri ve büyük sanayi işletmelerinin tamamlayıcısı rolü üstlenmeleri, KOBİ'lerin güçlü yanlarını oluştururken aynı zamanda KOBİ'lerin ekonomik ve toplumsal istikrarın kilit faktörleri olmasına da yol açmaktadır. KOBİ'lerin ekonomiye katkısı; kısaca, istihdam yaratılması, girişimciliğe teşvik, yeniliklere hızlı uyum kabiliyeti, ürün farklılaşmasındaki esneklik, büyük işletmelere ara mal temini olarak beş maddede özetlenebilmektedir (Bayülken, 2017: 16).

Ne var ki, KOBİ'lerin küçük ölçekli ve dağınık olmalarından dolayı verimliliklerinin düşük olması, pazar ve sektör bilgileri ile teknik bilgilerinin yetersizliği, teknoloji düzeylerinin genellikle düşük olması, ürettikleri ürün ve hizmetlerin kalitesinin düşük olması, yönetim ve organizasyon yapılarındaki sorunlar, pazarlama ve altyapı konularındaki eksiklikleri ve özkaynaklarının yetersizliği, ihracat potansiyellerinin düşük olmasına ve mali dalgalanmalardan çabuk etkilenmelerine; dolayısıyla yatırımlarını geliştirmekte zorlanmalarına sebep olmaktadır (Bayülken, 2017: 33-40). Bunların ötesinde, mikro işletmelerin vergiden muaf olma gibi avantajlarına sahip değildirler. Vergi ve yasal düzenlemelerden kaynaklanan zorunlulukları vardır ve ölçekleri belli bir limite olduğu için büyük işletmelerin yararlandığı ölçek ekonomilerinden de faydalanamamaktadırlar. Bütün bu etkenlerden dolayı, ekonominin omurgasını oluşturan KOBİ'lerin bu ekonomik ikilemler içinde sıkışmaması için devamlı olarak desteklenmesi ve teşvik edilmesi gerekmektedir (World Bank, 2019).

KOBİ'lerin büyük işletmeler için üretim yapması bir kazan-kazan durumu olarak görülebilir. Büyük ihalelere girmeye finansal gücü yetmeyen KOBİ'ler bu

ihalelere giren işletmeler için üretim yaparak varlıklarını sürdürebilmektedir. Büyük işletmelerin pazarlık gücü KOBİ'lere karşı yüksek olduğu için KOBİ'lerin üreteceği ürünün fiyatını belirleyebilmesi ve ödeyeceği bedeli sabit tutabilmesi mümkündür. Üretimi kendi bünyesinde yapsa katlanacağı maliyet her zaman daha fazla olacağından taşeronluk yaptırması büyük ölçekli işletmenin avantajına olacaktır. Bu durum uzun vadede KOBİ'ler için dezavantajlı bir durumdur. Çünkü KOBİ'ler ürettikleri ürünlere kendi markalarını koyamamakta ve ara üretim yaptıkları için nihai tüketiciye ulaşamamaktadır.

KOBİ'lerin hayatta kalması, ülkenin çalışan nüfusundan yarısından fazlasının istihdamının sürdürülebilmesi bakımından ekonomik istikrarın sağlanmasında hayati öneme sahiptir. Yapılarının esnek olması ve teknolojik gelişmelere hızlı uyum sağlayabilme yetenekleri dijital dönüşüm sürecinde KOBİ'lerin öncelenmesini ve yeni sanayi devriminin tabana yayılmasını olanaklı kılmaktadır. Türkiye'nin dijital dönüşümde rekabetçi avantaj sağlaması ve küresel değer zincirindeki konumunu sağlamlaştırabilmesi için KOBİ'lerin yenilikçi iş modelleriyle finansal olarak desteklenerek dijital dönüşürülmesi öncelikli kalkınma hedefleri arasına alınmıştır. (Dijital Türkiye Yol Haritası, 2018: s. 56).

1.6.2 KOBİ'lerin Endüstri 4.0 Dijital Dönüşümü için Önemi

Endüstri 4.0 uygulamalarını KOBİ'ler özelinde ele alan çalışmalar Türkiye'de çok yaygın olmamakla beraber yurt dışında KOBİ'lerin E4.0'a uyumlu hale gelmesi üzerine çalışmalar mevcuttur. Yapılan ilk çalışmalar, KOBİ'lerin sanayi devrimine hazırlıksız yakalandığına dair söylemler içermektedir. Örneğin, Endüstri 4.0'ın KOBİ'ler üzerindeki ekonomik etkisini bir tsunami dalgasına benzeten Rickmann (2014), Almanya'da vergi mükellefi olan işletmelerin %99'undan fazlasını oluşturan ve istihdamın %66'sını sağlayan KOBİ'lerin 2014 yılı itibarıyla dijital dönüşüme hazır olmadıklarını, KOBİ'lerin kısa zamanda devrim niteliğinde değişimler yapması gerektiğini, aksi takdirde tsunami dalgasına benzer bir yıkımla uluslararası alanda rekabet üstünlüklerini yitireceklerini ifade etmiştir. Benzer şekilde, Chemnitz Otomotiv Enstitüsü için hazırladıkları "Endüstri 4.0'ın KOBİ'lere İhtiyacı Var" başlıklı raporda Olle ve Clauss (2015), Almanya, Avusturya ve İsviçre'de otomotiv endüstrisinde faaliyet gösteren ve araştırmalarına katılan 1000 KOBİ'den %64'ünün

E4.0 hakkında bilgi sahibi olmadıklarını dile getirmiş ve bu KOBİ'ler için teorik olarak stratejik bir model önerisi oluşturmuşlardır. Sommer (2015), Almanya imalat sanayinde Endüstri 4.0 ve dijitalleşme üzerine yapılan örneklem düzeyi yüksek olan dokuz görgül araştırmayı derlemiştir. Araştırmaların genel özelliği, E4.0 için gerekenler ve sonrasında ortaya çıkacak avantajlar hakkında çok sayıda KOBİ'yle mülakatlar yaparak, KOBİ'lerin E4.0'a bakış açıları hakkında istatistiksel yargılara varmalarındır. Bu bakımdan yapılan ilk çalışmalar daha çok betimleyici nitelikte olup teoriye dönük tavsiyeler vermektedir. E4.0 bileşenleri yıllar içinde KOBİ'ler tarafından uygulandıkça, teorik modellere ek olarak uygulamaya dönük araştırmalar da yapılmıştır. Faller ve Feldmüller (2015), Verlburt ve Heiligenhaus şehirlerinde faaliyet gösteren anahtar ve kilit sistemleri imalatçıları için üniversite sanayi iş birliği içinde, E4.0'ın öğrenen fabrika bileşeni için üç aşamalı bir eğitim modelini geliştirmişlerdir. Geliştirilen modelle, farklı üretim senaryoları gözlemlenmiş ve alt kademe ve tepe yönetimi arasında şeffaflık sağlanarak bir değer zinciri yaratılmıştır. Böylece, üretimdeki problemlere gerçek zamanlı olarak yanıt verilebilmesi amaçlanmıştır.

Moeuf vd. (2018) The Elsevier, Emerald, Springer, Taylor&Francis veri tabanlarından “Endüstri 4.0 ve Kobiler”, “Dijital Üretim ve Kobiler”, “Dijital imalat ve Kobiler”, “Nesnelerin interneti ve Kobiler”, “Siber-fiziksel sistemler ve Kobiler”, “Siber fabrika ve Kobiler”, “Üretim planlama ve kontrol ve Kobiler” anahtar kelimeleriyle 2011 sonrası KOBİ'lerin E4.0 dönüşümünü görgül olarak araştıran makalelerin taramasını yapmıştır. Sözü geçen dört veri tabanında birden fazla kez görünen çalışmalar ile büyük ölçekli işletmelere odaklananlar elendiğinde KOBİ'ler ve Endüstri 4.0 konularını inceleyen 23 makaleye ulaşılmıştır. Kapsamlı bir derleme olması açısından önem arz eden bu çalışmanın genel bulguları Endüstri 4.0'a geçen KOBİ'lerin esnekliğinin arttığı, maliyetlerinin ve teslimat sürelerinin azaldığı, üretkenliği ve kalitenin arttığı yönündedir.

Orzes vd., (2018), o güne kadar KOBİ'lerin E4.0'ı uygulamalarının önündeki engellerin ve bariyerlerin ele alındığı İngilizce ve Almanca makalelerin taramasını yapmışlar ve 20 makalede belirtilen on dokuz engeli belirlemişlerdir. 2018 yılında yapılan yakın tarihli bu araştırmadan da görüldüğü üzere, çalışmalar ne kadar detaylı ve kapsamlı olsa da mevcut durumu analiz etme ve mevcut uygulamaları iyileştirmeye

odaklanılmış ve KOBİ'leri dijital dönüşüme teşvik etmekte yetersiz kalmıştır. KOBİ'lerin E4.0'a geçişini teşvik etmek için, en kapsamlı araştırma Avrupa Birliği "Ufuk 2020" projesi kapsamında yürütülmüştür. Üretim, lojistik ve stratejik yönetim açısından Avrupa, Amerika, Tayland ve Hindistan'daki KOBİ'ler üzerinde yapılan çalışma E4.0'a geçmeden önce KOBİ'lere yol gösterecek modeller geliştirmektedir.

Ne var ki, özellikle küçük ölçekli KOBİ'lerin endüstriyel dönüşümün ilk maliyetini üstlenmeleri de bir o kadar zordur. Bu bağlamda, Endüstri 4.0 fikrinin ortaya çıkmasının ardından Avrupa Komisyonu (EC) Ufuk 2020 (Horizon 2020) ve sonrasında Ufuk 2030 stratejisi kapsamında akıllı ve sürdürülebilir gelişme için, KOBİ'lerin dijital dönüşüm sürecinde geliştirilmesi ve yenilikler yapabilmesi adına uygun şartların sağlanması gerektiğini vurgulamıştır. Bu amaçla, KOBİ'lerin E4.0 teknolojilerini nasıl uygulayabilecekleri, özelleştirilmiş stratejileri ve teknolojik çözümleri nasıl geliştirebilecekleri araştırılmıştır.

KOBİ'lere dair öncül çalışmalarda KOBİ'lerin finansal zorlukları yüzünden geçişe hazır olmadığına ve yeni sanayi devriminde ayakta kalmakta zorlanacağına dair karamsar söylemler olmasına rağmen (Sommer, 2015), zamanla KOBİ'lerin önemini vurgulayan ve vaka üzerinden geçiş olasılıklarını değerlendiren araştırmalar da yapılmaya başlanmıştır. Ancak, Ufuk 2020 projesinin sonuna gelindiğinde KOBİ'lerin dijital dönüşümünün planlananın çok altında kaldığı gözlemlenmiştir. Ufuk 2030'a doğru yol alırken halen, birçok Avrupa Birliği ülkesinde, özellikle düşük ve orta düzeyde teknoloji kullanan KOBİ'lerin gerek teknik altyapı olarak gerek mental olarak dönüşüme hazır olmadıkları anlaşılmıştır. Dahası, geçiş için gerekli teknolojik yatırımların yüksek olacağı ve bürokratik süreçlerin uzayacağı endişesiyle bilhassa bu dönüşümden kaçındıkları tespit edilmiştir (Yu ve Schweisfurth, 2020). Bu sonuçlar neticesinde, Endüstri 4.0 sanayi devrimin KOBİ'lere değil büyük ölçekli işletmelere yönelik bir devrim olduğu, KOBİ'lerin bu dönüşümü yakalayamayacağı görüşü Ufuk Avrupa projesinin ilk etabı tamamlandığında yeniden filizlenmiştir. Ancak, iki yıllık pandemi sürecinin de yenilik yapma konusunda rehavete sebep olduğunu ve KOBİ'lerin bu süreçte devletlerce desteklenmesine rağmen durgunluk sürecine girdiğini de göz ardı etmemek gerekir.

Geçen on yıllık süreçte yüksek teknoloji kullanan endüstrilerde dijital dönüşüme bütünüyle veya kısmen uyum sağlamış ve fayda/maliyet avantajı sağlamış olan KOBİ'ler de bulunmaktadır. Geçiş sürecinde örgütlerin farklı düzeylerde faaliyet göstermesi sonucunda pek çok araştırmacı KOBİ'lerin dijital olgunluk seviyelerini ayırtmaya yoğunlaşmıştır. Scopus veri tabanında 2016-2023 yılları arasında KOBİ'lerin Endüstri 4.0'a geçiş olgunluk düzeylerini araştıran 104 çalışma bulunmaktadır (Scopus, 2022). Bu araştırmaların her biri örgütlerin farklı boyutlarını ele alarak KOBİ'lerin dijital olgunluk düzeylerini kategorize etmiştir. Bu konuda bir kavram karmaşası yaşanmaktadır. Araştırmacıların çoğu daha önceki modelleri incelemiş ve eksik gördükleri alanlar için yeni boyutlar eklemiş ve sonuç olarak birbirinden çok farklı düzeyler ortaya çıkmıştır. Bu farklılığın oluşmasında araştırmacıların yaşanan örgütsel değişimi anlamlandırmaya çalışırken takip ettikleri ekol farklarının etkisi büyüktür.

Değişimi sosyoteknik perspektiften gören Mittal vd. (2018) örneğin, KOBİ'lerin akıllı üretim işletmelerine dönüşümünün kategorik olarak örgütsel boyutlara ve kullanılan araçların düzeylerine göre şekilleneceğini iddia etmektedirler. Örgütsel boyutlar finans, insan, strateji, süreç ve ürün olarak beş boyut olarak ele alınmıştır. Kullanılan araçlar ise üretim araçları, tasarım ve simülasyon araçları, robotik ve otomasyon, sensörler ve bağlantı araçları, bulut ve depolama araçları, veri analitiği araçları ve işletme yönetimi araçları olarak yedi kategoriye ayrılmıştır. Bir bakıma örgütün her boyutunda bilginin hangi araçlarla hangi seviyede depolanacağına göre bir sınıflandırma yapılmıştır demek yanlış olmaz. Kullanılan araçların karmaşıklık seviyesine göre KOBİ'lerin dijital olgunluk düzeyleri acemi, yeni başlayan, öğrenen, orta düzey ve uzman olarak beş kademeye ayrıştırılmıştır. Benzer şekilde, E4.0'ın örgütsel değişime etkisini birden çok KOBİ ile vaka çalışması sonucunda, sosyoteknik perspektiften kavramsallaştıran Cimini vd. (2019), teknoloji boyutunu üretim düzeyinde otomasyon, yönetim düzeyinde karar destek sistemleri ve örgüt genelinde yatay ve dikey bilgi alışverişi olarak üç aşamada ele almıştır. Örgütsel boyut Galbraith'in (2002) modelinden esinlenerek (strateji, insan, ödüller, süreç, yapı) yetkinlik, iş ve yapı kavramları altında üç başlıkta toplanmaktadır. Teknolojik boyuttaki değişimlerin örgütsel boyutun her bir bileşenine etkisi vakalar üzerinden incelenmiş ve teorik olarak kavramsallaştırılmıştır. Bu çerçevede KOBİ'lerin dijital

olgunlaşma seviyeleri; E4.0'ı hiç kullanmayan, E4.0'a dair bilgi edinilen oryantasyon aşamasında olan, basit teknolojik yeniliklerin uygulandığı hazırlık aşamasında olan, test aşamasında olan, yeni teknolojileri rutin olarak kullanan ve E4.0'ı örgütüyle bütünleştiren KOBİ'ler olarak, örgütsel bileşenlerde kullanılan teknolojinin karmaşıklaşmasına göre belirlenmiştir.

Öte yandan, Ganzarain ve Errasti (2016) dijital dönüşümün strateji dönüşümüyle gerçekleşeceğini düşünmekte ve teknolojik değişimin ötesinde daha bütünsel bir yaklaşımla konuyu ele almaktadır. KOBİ'lerin dijital dönüşümünün gerçekleşmesi için öncelikle yönetimin vizyonunun yeni sanayi devriminin paradigmasına uyumlu olarak güncellenmesi gerekmektedir. İkinci aşamada stratejik bir yol haritası, bir eylem planı oluşturulmalıdır. Üçüncü aşamada müşteri segmentleri, değer zincirleri ve E4.0'a uyumlu kaynaklar tanımlanmalıdır. Dördüncü aşama stratejilerin hayata geçirilme aşamasıdır. Son olarak ise iş planının tamamen dönüştürülmesinden söz edilmektedir. Böylece; hayal etme, mümkün kılma ve hayata geçirme olarak birbirini takip eden üç süreçten oluşan bir süreç modeli ortaya çıkmaktadır.

Ancak unutmamalıdır ki E4.0 temel olarak teknoloji odaklı bir sanayi devrimidir. Dijitalleşme, şüphesiz yeni bir değer yaratma sürecini başlatmaktadır. Bağlantılı olma durumu dış paydaşlarla bilgi alışverişini artırmakta ve değer odaklı yeni iş modellerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bununla birlikte, teknolojik değişimi tamamen dışarıda bırakmadan aşamalı olarak stratejik değişimi sağlamak mümkündür. Garzoni ve De Turi (2019), İtalya'da üç farklı sanayi dalında birlikte yürüttükleri proje ile KOBİ'lerin dijital teknolojileri kullanarak ve birbirleriyle iletişim kurarak gerçekleştirdikleri değer yaratan stratejik dönüşümü dört düzeyde göstermişlerdir. Birinci aşama bütün paydaşlara dijital teknolojilerin potansiyel gücünün anlatıldığı ve dijital farkındalık yaratıldığı düzeydir. İkinci aşama bölgesel olarak akıllı teknolojik çözümlerin üretildiği ve yine bütün paydaşların katıldığı seminerler, odak grup çalışmaları sonucu dijital sorgulama düzeyidir. Üçüncü aşama, birbirleriyle ilgili alanlarda çalışan sınırlı sayıda katılımcıyla gerçekleşen, etkileşim içindeki örgütlerin dijitalleşmenin kendi iş süreçlerine ve stratejilerine ne gibi faydalar sağlayacağını keşfettiği dijital iş birliği düzeyidir. Dördüncü aşamada üretim, dağıtım, örgütsel yapı ve iş stratejileri için dijital çözümler içeren teknolojilerin örgütlerce

uygulanmaya başladığı dijital dönüşüm düzeyine ulaşılmaktadır. KOBİ'lerin dijital olgunluk seviyelerini belirlemek amacıyla yapılan kategorizasyonlar ve E4.0'a geçiş için hazır olup olmadığını anlamak için geliştirilen ölçekler ne kadar çeşitlilik gösterse de ortak kanı endüstri 4.0'a geçişin kademeli olması yönündedir. KOBİ'nin bulunduğu olgunluk seviyesinin tam olarak tespiti KOBİ'nin hangi aşamada olduğunu ve bulunduğu durumda E4.0'ın bileşenlerinden hangilerinin uygulanması durumunda maksimum faydaya ulaşabileceğini anlamak açısından önemlidir.

Bir başka araştırma konusu ise KOBİ'leri E4.0'a geçiş yapmaya teşvik eden veya tam tersi KOBİ'lerin E4.0'a geçişine engel oluşturan faktörlerin belirlenmesi konusudur. Finansal kaynakların yetersizliği, bilgi kaynaklarının sınırlı olması ve teknolojik farkındalığın eksik olması, KOBİ'lerin dijitalleşmesinin önündeki temel sorunlar olarak görülmektedir (Orzes vd., 2018). Bu temel sorunların ötesinde KOBİ'lerin dijital dönüşümünde pek çok fırsat ve tehdit tanımlanmıştır. Stentof vd. (2021), E4.0'a geçiş bariyerlerini yasal düzenlemelere, yönetime ve işgücüne bağlamıştır. Yasal düzenlemelerin ve standartların olmaması sınırları belirsiz bir çevrede hareket etmeyi gerektirir. Belirsizlik ortamında işletmeler Endüstri 4.0 hakkında, uygulamaya nasıl geçecekleri ve işletmelerine nasıl fayda yaratacağına dair bilgi sahibi olmayabilir. Finansal kaynakların kıtlığı KOBİ'ler için her zaman büyük bir sorun iken yasal düzenlemelerin olmadığı bir alana yatırım yapmak tercih edilmeyebilir. Üstelik E4.0'la birlikte siber güvenlik sorunları yaşanacağı kaygısı da bilinmeyen adımlar atma konusunda KOBİ yöneticilerinin çekingen davranmasına sebep olmaktadır.

Stentof vd. (2021)'ne göre işletmelerin Endüstri 4.0'a geçişini hızlandıracak veya yavaşlatacak en önemli unsur yöneticilerdir. Bilhassa, yöneticilerin baskın olarak süreçlerin tamamına müdahale ettiği KOBİ'ler için bunu söylemek mümkündür. Yöneticilerin E4.0'ın stratejik önemini algılayamaması ve operasyona daha çok odaklanması, bunların yanında; nitelikli işgücünün kıtlığı, çalışanların kullanılacak teknolojiye hazır olmaması ve devamlı eğitilmeleri gereği, hata yapma ve işten atılma korkusu (Kumar, 2020) KOBİ'lerin E4.0 teknolojilerini kullanmaya başlaması önündeki en temel bariyerlerdir. Bu sayılanlara ek olarak dijital dönüşümle birlikte ağ yapısının karmaşıklaşacağı ve koordinasyonla ilgili sorunların yaşanacağı endişesi de bilinen önyargılardandır (Ghadge, vd. 2020).

Scopus veri tabanında 62 makalede bu konu irdelenmiştir. SCI ve SSCI kapsamında Clarivate endeksinde yapılan tarama sonucunda ise 37 makalenin doğrudan KOBİ'ler ve E4.0'a odaklandığı gözlemlenmiştir. Bu elit makalelerce belirlenmiş E4.0'a teşvik eden unsurlar ile dijital dönüşümde sıkıntı yaratan unsurlar, teknoloji-örgüt-çevre ekseninde sınıflandırılmış (Tablo 4), çalışmalarda sorgulanan bütün içsel ve dışsal faktörler birlikte incelenmiş ve KOBİ'ler için kapsamlı bir yol haritası oluşturulmuştur (Ghobakhloo vd. 2022).

Tablo 4. KOBİ'lerin E4.0'a Geçişinde Etkili Faktörler

Teknolojik Belirleyiciler	Örgütsel Belirleyiciler	Çevresel Belirleyiciler
E4.0 teknolojilerine uyumluluk	Özümseyici kapasite	Rekabetel çevre
E4.0 teknolojilerinin karmaşıklığı	İşletme özellikleri	Hissedar baskısı
E4.0 teknolojilerinin maliyeti	Teknik yetkinliğin dijitalleşmesi	Ortaklıklar ve iş birlikleri
E4.0 teknolojilerinin siber güvenlik riskleri	Bilgi ve uzmanlığın dijitalleşmesi	Dış destekler
E4.0 teknolojilerine yatırım riskleri	Kurulum sürecine dahil olma	E4.0 teknoloji sağlayıcılarının özellikleri
E4.0 teknolojileri ile gerçek zamanlı veri değişimi yapabilmek	E4.0 Stratejik yönetim yetkinliği	Altyapı ve bölgesel özellikler
E4.0 teknolojilerinin algılanan stratejik faydaları	Örgüt kültürü	Değer zincirinin E4.0'a hazır olması
E4.0 teknolojilerinin kullanımının kolay olması	Örgütsel yapı	
	Kaynaklara erişim	
	Sosyal sermaye	
	Tepe yönetimin karakteristik yapısı	

Kaynak: Ghobakhloo vd. 2022.

KOBİ'lerin E4.0 dijital dönüşümü için önemi, önündeki engeller, dijital olgunluk seviyeleri ve dijital dönüşümü ne denli hazır oldukları üzerine düşünceler ve teorik modeller geliştirilmiş ve uygulamalar yapılmaya başlanmıştır. KOBİ'lerin dijital dönüşümünü tamamlaması ekonominin bütün olarak lineer ekonomiden döngüsel ekonomiye geçişini sağlayacaktır. KOBİ'lerin E4.0 teknolojilerini kullanarak yarattığı örgütsel değişimin KOBİ'lere katkısı ve faydaları da araştırılmaktadır. Masood ve Sonntag (2020), üretimin karmaşıklık düzeyine göre farklı E4.0 teknolojilerinden faydalanılması gerektiğini savunmuştur. İşletmeler geçiş sürecinde bütün teknolojilere yatırım yaparsa sağlanacak fayda uzun vadeye yayılır. Ancak, bulundukları dijital olgunluk seviyesine göre kendilerine fayda yaratacak teknolojileri kademeli olarak benimseyebilir. Dijital dönüşümün her aşamasında iç

süreçlerin etkinliğinin ve üretimin kalitesinin ve dolayısıyla rekabetsel üstünlüğün artacağı hususunda birçok araştırmacı hemfikirdir. İşletmelerin dijital olgunluk seviyeleri arttıkça üretim ve operasyon maliyetleri de düşmektedir. Gilchrist (2016: 205-206), yeni sanayi devriminin tam anlamıyla gerçekleşebilmesi için KOBİ'lerin E4.0 dönüşümlerinin yapılmasını gereğinin yanında bu dönüşümün KOBİ'lere sağlayacağı faydaları da etraflıca ele almış ve bu faydalara ilişkin öngörülerini Tablo 5'te gösterildiği şekilde ortaya koymuştur.

Tablo 5. Endüstri 4.0'ın KOBİ'lere Sağladığı Faydalar

Rekabet edebilirlik	KOBİ'ler diğer KOBİ'lerle iş birliği yaptığı takdirde, rakip büyük örgütlere göre işçi maliyetlerinin daha düşük olması sayesinde daha düşük personel giderleriyle E 4.0'ın rekabet avantajını yakalayabilecektir
Verimlilik artışı	İşletme maliyetlerinin düşmesi karı ve verimliliği artırmaktadır.
Gelir artışı	E 4.0'a geçiş maliyetinin çok yüksek olmasına rağmen yeni sanayi devrimiyle birlikte gayrisafi yurt içi hasılanın artması özellikle imalat sanayide faaliyet gösteren KOBİ'lerin de gelirlerinde artış yaratacaktır.
İşgücü fırsatları	E 4.0 kapsamında devletler bazında atılan adımlar ve zorunlu kılınan standartlar doğrultusunda insan kaynağı ve bilgi işlem yönetimi güçlendirilecek ve daha çok mühendis, mekanik teknik eleman, veri ve süreç analisti ile üretim hatlarının entegrasyonundan sorumlu şefler yetiştirilecektir. Bu durum, KOBİ'ler için yeni ve ulaşılabilir işgücü fırsatları yaratmaktadır
Üretimde optimizasyonun sağlanması	Üretim süreçlerine bilgi işlem sistemlerinin eklenmesi ile üretim esnasında gerçek zamanlı olarak karar alınabilmekte, makineler bağlı oldukları sistemin bir parçası olarak müşteri talebine eş zamanlı olarak cevap verebilmekte, dolayısıyla imalat süreçlerinde optimizasyon avantajı sağlanmaktadır.
Artımsal gelişen teknoloji	E 4.0'ın sağladığı en büyük avantajlardan biri de artımsal olarak gelişen teknolojinin buluşmasını sağlayan bir platform oluşturmaktır. İmalat sanayi için teknoloji üretenler bu platformu yeni teknolojiler üretmek için kullanarak yeni telefon uygulamaları geliştirmektedir. Böylece KOBİ yöneticileri telefona indirecekleri bir uygulama ile örgütün işleyişini kontrol edebilecek ve anında müdahale ile değişiklikleri yapabilecektir.
Gelişmiş müşteri hizmetleri	Üretimde ve dağıtımda eş zamanlı takip sistemleri sayesinde müşterilerin de süreçlere dahil olabilmesi ve anında geribildirimde bulunabilmesi istenmeyen aksaklıkları büyük ölçüde engelleyecek ve müşteri hizmetlerinin daha iyi olmasını sağlayacaktır.

Kaynak: Gilchrist, (2016). Yazar tarafından tablolatırılmıştır.

Kagermann vd.'nin (2013) Endüstri 4.0'ı ilan etmelerinin üzerinden çok geçmeden Endüstri 4.0'ın nasıl araştırılabileceği üzerine bir tavsiye yazısı yazmışlar ve simülasyon modellemelerin gerektiğinden bahsetmişlerdir. Yönetim yazınında bu tavsiye ancak E4.0'ın birinci etabının sonlarında yankı bulmuş ve ilk kez 2017 yılında simülasyon modelleme mantığının yönetim çalışmalarında nasıl kullanılabileceğine ilişkin bir düşünce geliştirilmiştir (Rodič, 2017). 2020 sonrası bu yönde araştırmalar ivme kazanmış ve dijital dönüşüm için model önerileri ve simülasyon senaryo önerileri yazında ses getirmeye başlamıştır. Araştırmacıların Endüstri 4.0'a geçişte KOBİ'lere öneriler sunan modelleme çalışmalarına ve olası senaryoları öngören simülasyon analizlerine yönelmesi geleceğe dönük fikir vermesi bakımından faydalı bilgilerin üretilmesini sağlamaktadır. KOBİ'lere öngörü sağlaması açısından E4.0'a geçiş için devletlerin, kâr amacı gütmeyen uluslararası örgütlerin ve finans kuruluşlarının teşvik ve desteklerini kullanmaktan çekinmelerini azaltabilir.

Endüstri 4.0 olarak bilinen dördüncü sanayi devrimi, "bağlantı", "bilgi" ve "hız" gibi kelimelerle özdeşleşmiş durumda iken, dijital dönüşüm sayesinde bilgiye her yerden anında ulaşım mümkün hale gelmiştir. Bu devrim sırasında, makineleştirme ve otomasyon sayesinde KOBİ'ler için bilgi üretimi ve depolama konusunda bazı zorluklar ortaya çıkmaktadır. Önceki sanayi devrimlerinin örgütsel bilgi depolama üzerindeki etkisi bilinmektedir, ancak dördüncü sanayi devriminin örgütsel bellek üzerindeki etkisi henüz tam olarak anlaşılmamıştır. Özellikle, dijital dönüşüm sırasında bilginin nasıl üretileceği ve depolanacağı konusunda yeterli bilgi bulunmamaktadır. Ayrıca, bilgi yönetiminde örgütsel değişimin nasıl gerçekleşeceği konusunda da bilgi eksikliği mevcuttur. Bu nedenle, örgütler, gelecekte daha etkili olacak olan koordinasyon ağlarında bilgi depolama konusunda değişiklikler yapmayı düşünebilirler.

Örgütsel bilginin depolanmasının araştırılmasına öncelikle kavramsal perspektifin belirlenmesiyle başlanmalıdır. Örgütler karmaşık sistemlerdir. Yönetim disiplininde karmaşık sistemlerin nasıl anlaşılabileceğini ele alan kuramsal düşünceler karmaşıklık kuramının geliştirilmesini sağlamıştır. Karmaşıklık kuramı, kompleks sistemlerin, o sistemi oluşturan temel öğelerin basit davranışları sonucu oluştuğunu iddia etmektedir. Bu iddia doğrultusunda, bir örgütün temel öğeleri olan, örgütsel bilginin saklanması ve aktarılmasını sağlayan üye, görev ve araçların davranışları ve

bu öğelerin etkileşimlerinden doğan koordinasyon ağının nasıl değiştiği gözlemlendiğinde örgütün karmaşık bellek yapısının oluşumunu gözlemlemek ve açıklayabilmek mümkün olabilmektedir. Karmaşıklık kuramının bir diğer savı ise, yapıyı oluşturan öğelerin basit davranışlarının karmaşık örüntüyü oluştururken kendiliğinden oluşan yapı ve örgütlenmeler olabileceğidir. Bu bilgiler ışığında, örgütsel belleğin öğrenme yoluyla oluştuğu kabul edilirse, bellek oluşumu sırasında örgütsel öğrenmenin gerçekleşme süreci kendiliğinden ortaya çıkabilecektir. Örgütsel bilginin öğrenilmesi, aktarılması ve depolanmasını ve Endüstri 4.0'ın yeni teknolojilerinin bu sürece etkisini gözlemleyebilmek için bu aşamada karmaşıklık kuramının yönetim alanındaki çıkış noktasının daha açık anlatılması, örgütsel öğrenme, örgütsel bellek, örgütsel koordinasyon ağları gibi kavramların detaylı olarak açıklanması ve araştırmanın kavramsal çerçevesinin oluşturulması gerekmektedir.

İKİNCİ BÖLÜM

Çalışmanın bu bölümünde araştırmanın kavramsal çerçevesi çizilmektedir. Araştırmada, örgütsel belleği oluşturan bilgi depolarından bahsedilmektedir. Örgütsel bilgi depoları arasında etkileşimler olmakta ve örgütsel bilgi bu etkileşimler yoluyla aktarılmaktadır. Bu etkileşimlerin gerçekleştiği örüntülere koordinasyon ağları denmektedir. Koordinasyon ağlarındaki etkileşimler sonucu bilgi aktarımı yoluyla örgütsel öğrenme gerçekleşmektedir. Örgütsel öğrenme gerçekleşirken örgütsel bellekte depolanan bilgiyi değiştirmektedir. Örgütsel bilginin depolandığı ağ ilişkilerinin modern yönetim yaklaşımlarının bakış açısıyla karmaşık bir sistemi oluşturduğu bilinmektedir. Çalışmanın ikinci kısmında, kavramsal çerçeve kapsamında sistem yaklaşımından temellenen karmaşıklık kuramı ve bu kuramın öz örgütlenme ve öz oluşum kavramları ile örgütsel öğrenme ve örgütsel bellek olguları tanımlanmaktadır. Kavramların yönetim disiplininde kullanım alanları, bu alanların geçmişten günümüze araştırılma biçimleri incelenmiş ve araştırmanın önerileri geliştirilmiştir.

2 KARMAŞIKLIK KURAMI BAĞLAMINDA ÖRGÜTSEL BİLGİ AĞLARININ İNCELENMESİ

Bu araştırmada, örgütsel bilgi ağlarını karmaşıklık teorisi bağlamında incelenmektedir. Örgütsel bilgi ağları, örgüt içinde ve örgütler arasında bilgi akışını kolaylaştıran sistemlerdir ve örgütlerin etkin ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlamada hayati bir rol oynarlar. Karmaşıklık teorisi, birbiriyle etkileşim içinde olan birçok parçadan oluşan sistemleri inceleyen ve bu tür sistemlerin davranış ve dinamikleri hakkında fikir verebilen bir bilim dalıdır. Örgütsel bilgi ağlarını karmaşıklık teorisi perspektifinden inceleyerek, yapılarını, işlevlerini ve performanslarını daha iyi anlamak mümkündür. Özellikle, örgütsel bilgi ağlarının

belirli bir yönüne ve bunun karmaşıklık teorisinden nasıl etkilendiğine odaklanarak açıklamak hedeflenmektedir.

Karmaşıklık kuramı ve örgütsel bellek çeşitli şekillerde ilişkilidir. Örneğin, karmaşıklık teorisi, örgütsel hafızanın nasıl oluştuğunu ve zaman içinde nasıl geliştiğini açıklamaya yardımcı olabilir. Karmaşık sistemlerde, sistemin çeşitli bileşenleri arasındaki etkileşimler, tek tek bileşenlerin kendisinde olmayan modellerin ve yapıların ortaya çıkmasına neden olabilir. Benzer şekilde, bir örgüt içindeki insanlar ve süreçler arasındaki etkileşimler, kuruluşun geçmiş deneyimlerinin ve bilgilerinin kolektif bir temsili olan örgütsel hafızanın oluşmasına yol açabilir.

Karmaşıklık teorisi, örgütsel belleğe organizasyon içindeki bireyler tarafından nasıl erişildiğini ve kullanıldığını anlamak için de kullanılabilir. Karmaşık sistemlerde, bilgi genellikle birden fazla yerde saklanır ve çeşitli yollardan erişilebilir. Bu aynı zamanda birden fazla yerde saklanabilen (örneğin belgelerde, veri tabanlarında ve insanların zihinlerinde) ve çeşitli kanallardan (örneğin konuşmalar, toplantılar ve çevrimiçi aramalar yoluyla) erişilebilen kurumsal hafıza için de geçerlidir.

Karmaşıklık teorisi, aynı zamanda örgütsel belleğin organizasyon ortamındaki değişikliklerden nasıl etkilendiğine dair iç görüler sağlayabilmektedir. Karmaşık sistemlerde, ortamdaki küçük değişiklikler bazen sistemin davranışı üzerinde büyük etkilere sahip olabilir. Bu aynı zamanda organizasyonun hedefleri, stratejileri veya dış koşullardaki değişikliklerden etkilenebilen kurumsal hafıza için de geçerlidir. Mesela, iş modelinde önemli değişiklikler geçirmekte olan bir örgüt düşünülebilir. Yeni iş modeli, örgütün geçmişte olduğundan farklı bilgi ve birikim türlerine erişmesini ve bunları kullanmasını gerektirebileceğinden, örgütün kurumsal hafızası bu değişikliklerden etkilenebilir. Karmaşıklık teorisi, kuruluşun hafızasının bu değişikliklere yanıt olarak nasıl uyarlanabileceğini veya yeniden yapılandırılabileceğini ve değişikliklerin kuruluşun genel performansını ve etkililiğini nasıl etkileyebileceğini açıklamaya yardımcı olabilir (Miller ve Page, 2007).

Çalışmanın bu kısmında araştırmanın kavramsal çerçevesi çizilmektedir. Karmaşıklık teorisi çerçevesinde örgütsel belleği oluşturan örgütsel bilgi depolarının birbirleriyle etkileşimlerinin oluşturduğu örgütsel bilgi ağları (koordinasyon ağları) incelenmektedir. Örgütsel belleğin nasıl oluştuğu, örgüt yazınında örgütsel bellek

konusunun nasıl ele alındığı ve bu araştırmanın bu çalışmalar içinde nasıl konumlandığı belirtilerek araştırmanın önerileri sunulmaktadır.

2.1. Kavramsal Çerçeve

Kaos ve karmaşıklık kuramları, doğayı ve toplumu matematiksel modeller kurarak, nedensellik (sebe-sonuç) ilişkilerinden bağımsız olarak açıklamaya çalışan kendine ait bir paradigmaya sahiptir. Dolayısıyla, karmaşıklık kuramının paradigmasını, Aristoteles'in holistik ve teleolojik mantığıyla "bütünün parçaların toplamından büyük olduğu" görüşüne dayanan sistem yaklaşımı altında evrensel matematik ve fizik kurallarının uygulandığı, sebe-sonuç ilişkileri yerine örgütlenme ve oluşumların incelenmesi olarak tanımlayabiliriz. Bu paradigmayı anlayabilmek için öncelikle sistem yaklaşımını ortaya çıkaran fikir ve düşüncelerin oluşumundan kısaca bahsetmek faydalı olacaktır.

İnsanoğlu tarih öncesi dönemlerden beri içinde bulunduğu kaotik ve bilinmez güçlerle çevrili olduğu dünyayı ve evreni anlamaya ve anlamlandırmaya çalışmıştır. Bu anlamlandırma ve gerçeğe ulaşma çabaları sırasında, olguların farklı perspektiflerden ele alınması Thomas Kuhn'un (2008) tabiriyle farklı "paradigmalar"ı doğurmuştur. Aristoteles, doktrininde, dünyanın teleolojik bir kozmosun içinde bulunduğu ve "bütünün parçaların toplamından büyük olduğu" kanısıyla holistik bir bakış açısı geliştirmiştir. Bu bakış açısı, yaratılış düşüncesini destekleyen mistikler tarafından kabul görmüş; ancak bilim çevresinde oluşan metafizik algıdan dolayı kuşkuyla karşılanmıştır. 16. ve 17. yüzyılda yaşanan bilimsel devrim bir açıdan Aristocu betimleyici-metafiziksel anlayışın yerini, Galileocu matematiksel-pozitivist yaklaşımının almasıyla yaşanmıştır. Galileo'nun kaosu ve karmaşıklığı azaltmak üzerine kurguladığı "çözümleyici metot" paradigması, Descartes'ın "bütün problemleri olabilecek en basit parçalarına ayırma" yaklaşımıyla örtüşmektedir. Klasik Newton fiziğinin temellerini oluşturan bu iki yaklaşım; gözlemlenen olaylarda değişkenler arasındaki doğrusal (lineer) ilişkilerin tek yönlü nedensellik ilkesiyle açıklanmasını sağlayarak, bilimin ve teknolojinin ilerlemesine büyük katkıda bulunmuştur. Ne var ki; nedensellik ilkesi canlı organizmaların ve hatta atomların işleyişi gibi sorulara yanıt verememektedir. Von Bertalanfy 1920'lerin sonunda canlı organizmalarda, tek tek parçaların izole olarak incelenmesinin süreçlerin

koordinasyonları hakkında bilgi veremeyeceğini ve bu nedenle hayati fenomenleri tam olarak açıklayamayacağını; biyolojide temel görevin biyolojik sistem yasalarının keşfedilmesi olduğunu ileri sürmüş ve bilime getirdiği bu yeni bakış açısına “organizmaların sistem teorisi” adını vermiştir.

Sistem teorisi, matematiksel altyapısının olmadığı gerekçesiyle, bilimsel bir yaklaşımdan ziyade bir felsefe olarak görülmüş ve eleştirilmiştir. Bunun üzerine von Bertalanfy, sistem teorisinin mantık-matematiksel bir alan olduğunu, bileşen öğelerinin doğasından ve aralarındaki ilişkilerden veya “kuvvetler” den bağımsız olarak sistemleri ve bunların alt sınıflarını bağlayan modeller, ilkeler ve yasaların bulunduğunu öne sürmüştür. Bütünsellik ve toplam, farklılaştırma, hiyerarşik düzen, merkezileşme, sonluluk ve eş sonluluk gibi terimlerin sistemin bütününe göre diferansiyel denklemlerle formüle edilebileceği ve türetililebileceğini savunmuştur. Böylece, bu yaklaşımın matematiksel altyapısı olmadığı eleştirisini haksız çıkarmıştır. Ayrıca, bu mantığın, yalnızca biyolojide organik sistemlerde değil mekanik sistemlerde de geçerli olduğunu ve bu yeni mantığın “genel sistem teorisi” adıyla anılacak yeni bir disiplin olduğunu ifade etmiştir. Günümüzde, sibernetik, kontrol teorisi, oyun teorisi, karar teorisi, sosyal ağlar teorisi, kaos ve karmaşıklık kuramları gibi birçok yaklaşım sistem yaklaşımından temellenmiştir (von Bertalanfy, 1972).

Yirminci yüzyılda yaşanan bilimsel gelişmeler, kaos ve karmaşıklık kuramlarını pek çok disiplinde yaygın olarak kullanılır hale getirmiştir. Meteoroloji alanındaki matematiksel hesaplamalarda imajinel sayıların kullanımı ile kaos kuramının çokça bilinen kelebek etkisi fenomeni ortaya çıkmıştır (Lorenz, 1972). Havaalanlarında bulunan kontrol kulesindeki radarların işleyişi de yine benzer mantıkla gerçekleşmektedir. Karmaşıklık kuramı ise, biyolojide; genetik bilimi ve popülasyonların yaşam döngüleri, antropolojide; şehirlerin kurulması ve büyümesi gibi alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Örneğin; karınca popülasyonlarını inceleyen Gordon (2003), karıncalar arasında bir emir-komuta zinciri ve yönetsel bir görev dağılımı olmadığı halde, kolonilerin düzgün örgütlenme biçimlerine sahip olduklarını gözlemlemiştir. Benzer şekilde, şehir ve bölge planlamacılığı yapılmadığı durumlarda bile şehirlerin benzer yapılar içinde büyüyüp geliştikleri gözlemlenmiştir. Diğer pek çok alandan çoğaltılabilecek bu örnekler karşısında bu fenomenleri açıklayabilmek

için daha sonra karmaşıklık kuramı altında toplanan öz örgütlenme (self organization) ve öz oluşum (emergence) kavramları geliştirilmiştir.

Sistem yaklaşımı örgüt kuramlarının da öncü yaklaşımlarından biridir. Katz ve Kahn (1978) genel sistem teorisinin yapı, ilişkiler ve karşılıklı bağımlılık savlarını örgütlerin alt ve üst sistemleri arasındaki ilişkileri ve bunların karşılıklı bağımlılıkları çerçevesinde örgüt yapısı üzerinde incelemiş ve sonucunda örgüt kuramını sistem yaklaşımına dayandırarak açık sistemlerin karakteristiklerini ortaya koymuştur. Scott (1981) örgütleri; doğal açık veya ussal açık sistemler olarak tanımlamış, klasik ve neo-klasik örgüt kuramlarının dışında makro düzeyde bütünsel incelemeler yapılması için gerekli olan çerçeveyi çizmiştir. Örgüt çalışmalarının meta-kuramsal ikilemlerinden özgür seçim ve belirlenimcilik arasında süregelen tartışmada örgütlerin sistem yaklaşımı altında bütünsel olarak incelenmesi; içerdikleri çok sayıda parçanın birbirleriyle ve çevreyle dinamik etkileşimi sayesinde evrim geçiren ve uyum sağlayan sistemler olarak ele alınması (Morel ve Ramanujam, 1999), alternatif örgüt kuramlarının ortaya çıkmasına sebep olmuştur.

Bu alternatif yaklaşımlardan biri olan karmaşıklık kuramı doğrultusunda Santa Fe Enstitüsü tarafından karmaşık uyumcu sistemler (complex adaptive systems – CAS) olarak adlandırılan bir bakış açısı geliştirilmiştir (Pascale, 1999: 84). Karmaşık uyumcu sistemler kavramıyla; basit davranış kurallarına sahip basit ajanların kendi aralarında ve çevreyle etkileşim içinde oldukları ve bu etkileşimden, sistem düzeyinde; ajanların birey veya grup davranışlarının ötesinde karmaşık davranış örüntülerinin ortaya çıktığı bir sistemden söz edilmektedir (Carmichael, Hadzikadic, 2019). Bu karmaşık sistemin yapı taşlarını kaos kuramı, doğrusal olmayan dinamikler, adaptasyon ve evrimleşme oluşturmaktadır (Schneider ve Somers, 2006: 354). Örgütler de bireylerin, grupların, departmanların geribildirim mekanizmaları vasıtasıyla çok sayıda etkileşim kuran ve böylece adaptasyon geçiren, evrimleşen ve nedensellik ilişkisinden bağımsız doğrusal olmayan bir sistem dinamiği geliştiren karmaşık uyumcu sistemlerdir (Morel ve Ramanujam, 1999).

Örgütlerin incelenmesinde odaklanılacak ana konunun bilgi yönetimi olması durumunda ise karmaşıklık kuramı matematiksel yöntemlerle bütünsel incelemeye olanak tanıyan bir yaklaşımdır. Geleneksel hiyerarşik örgütlenme biçimlerinden farklı

olarak yapılanmış bilgi yoğun örgütlerin incelenmesinde klasik ve neo-klasik örgüt kuramlarının yetersiz kaldığı durumlarda yapısal karmaşıklık ile başa çıkmak ve çağdaş örgüt biçimlerini açıklayabilmek için karmaşıklık kuramından faydalanılmaktadır.

Öz örgütlenme ve öz oluşum karmaşıklık kuramının yönetim ve organizasyon alanında araştırma yaparken kullanılan iki önemli kavramıdır. Öz örgütlenme; bilinçli yönetsel kararlardan ya da amaç ve hedeflerden bağımsız olarak oluşan ve oluştuktan sonra fark edilip incelenen yapıların oluşum süreçlerine verilen isimdir. Öz örgütlenme kavramı; karmaşık sistem içinde aktörlerin herhangi bir örgütlenme amacı gütmeyen sadece kendi kurallarını takip etmesi bunu yaparken de kendilerine özgü niteliklerine göre davranış sergilemesini ve kendiliğinden örgütlü bir yapının meydana çıkmasını ifade etmektedir. Öz oluşum ise; sebep-sonuç ilişkileri gözlemlenemeyecek kadar karmaşık olan süreçler sonucunda kendiliğinden ortaya çıkan fenomenlerdir. Bu fenomenler, öncesinde makro düzeyde tanımlanmamış olmakla birlikte, mikro düzeyde kendi basit davranış kurallarını takip eden nispeten basit denilebilecek birden çok aktörün birbirleriyle ve çevreyle etkileşimlerine bağlı olarak ortaya çıkan makro düzeydeki karmaşık davranış örüntüleridir (Carmichael, Hadzikadic, 2019).

Örgütlerdeki sosyal ağlar öz örgütlenmeye örnek verilebilir. Büyük ve kalabalık bir örgütte, bireyler birbirleriyle sosyal etkileşime girdiklerinde kendi aralarında gayri resmi bağlar (arkadaşlık, iş birliği, gruplaşma gibi) kurulacaktır. Bu sosyal ağ ilişkilerinin yönetsel müdahalelerden ve örgütün amaç ve hedeflerinden bağımsız bir şekilde oluşması ile çeşitli iç ve dış gruplanmalar, merkezde ve çevrede kalan bireyler, bireyler arasında kapı kollayıcılar gibi yapılar gözlemlenebilir. Bu gözlemler için matematiksel bir analiz yöntemi olan ağ-bağ (network) analizi gibi uygulamalardan yararlanılmaktadır (Holland, 2014).

Örgütsel bellekler ise öz oluşumlara örnek verilebilir. Örgütsel belleklerin örgüt içerisindeki farklı ağ-bağ ilişkilerinin karmaşık etkileşimlerinin sonucu olarak kendiliğinden oluştukları söylenebilir. Argote (2013) bu ağ-bağ ilişkilerini transaktif bellek sistemleri olarak tanımlamaktadır. Örgütsel bellek gibi öz oluşumları inceleyebilmek için karmaşıklık kuramında bir matematiksel modelleme olan

simülasyon kullanılabilir. Nitekim, öz oluşum ancak oluşuktan sonra ölçülebilen ve gözlemlenebilen fenomenleri tanımlamaktadır. Deneysel koşullarda öz oluşum için gerekli koşulların sağlanarak simülasyonun vereceği sonuç ile ölçüm yapılabilir.

Karmaşıklık kuramı, örgütler gibi karmaşık sistemlerin davranışlarını ve bileşenlerinin etkileşimlerinden kaynaklanan ortaya çıkan özellikleri anlamaya çalışan disiplinlerarası bir alanı kapsadığı için örgütsel öğrenme, koordinasyon ağları ve örgütsel hafıza arasındaki ilişkiyi anlamak için de uygun bir yaklaşım olarak görülmektedir. Örgütsel öğrenme ve örgütsel bellek bağlamında, karmaşıklık teorisi, bireyler, gruplar ve örgütsel yapı gibi sistemin farklı bileşenleri arasındaki dinamik ve doğrusal olmayan ilişkiler hakkında fikir verebilmektedir. Bununla birlikte, koordinasyon ağlarındaki değişiklikler gibi örgütsel müdahalelerin örgütsel belleğin evriminin ve örgütsel öğrenmenin etkinliği üzerindeki etkilerinin anlaşılmasına da yardımcı olabilmektedir. Dahası; geri bildirim döngülerinin ve doğrusal olmayan dinamiklerin örgütsel öğrenme ve hafızadaki rolünü analiz etmek için bir çerçeve de sağlayabilmektedir. Örneğin, koordinasyon ağlarındaki değişikliklerin örgütsel belleğin yapısına ve içeriğine nasıl geri bildirimde bulunabileceğini ve yeni davranış ve performans kalıplarına yol açabileceğini anlamamıza yardımcı olabilir. Genel olarak, karmaşıklık kuramı, karmaşık ve dinamik ilişkileri analiz etmek için bir çerçeve sağladığı için örgütsel öğrenme, koordinasyon ağları ve örgütsel bellek arasındaki ilişkiyi anlamak için yararlı bir yaklaşım olarak görülmektedir (Stacey, R.D., 2007). Bu noktada çalışmanın kavramsal çerçevesini çizebilmek için örgütün öğrenmesinden ve öğrendiği bilgiyi belleğinde depoladığı karmaşık ağ yapısından bahsetmek gerekmektedir.

2.1.1. Örgütsel Öğrenme

Örgütsel öğrenme, yönetim ve örgüt çalışmaları alanında kapsamlı araştırmaların konusu olmuştur. Sürekli öğrenebilen ve uyum sağlayabilen kuruluşlar, dış ortamdaki değişikliklere cevap vermek ve rekabet üstünlüğünü korumak için daha donanımlıdırlar; bir başka deyişle örgütsel öğrenme örgütün içsel yetenekleriyle yenilikçilik ve rekabetçilik gücü artırmada etkili kilit stratejik unsurlarından biridir. Örgütsel öğrenme, birey, grup ve örgütsel düzeyler de dahil olmak üzere bir örgüt içinde çeşitli ontolojik düzeylerde gerçekleşebilmektedir. Örneğin, bir kuruluştaki bireyler eğitim, iş deneyimleri ve geri bildirim yoluyla yeni beceriler, bilgiler ve

davranışlar öğrenebilir (Grant, 1996). Grup düzeyinde öğrenme, ekip içindeki iş birliği, paylaşılan deneyimler ve sorunların grup olarak çözülmesi yoluyla açık veya örtük olarak gerçekleşebilir (McGrath & Argote, 2000). Örgütsel düzeyde öğrenme ise, yapılardaki, süreçlerdeki, sistemlerdeki ve kültürdeki değişikliklerle gerçekleşebilir (Levitt & March, 1988). Bu üç ontolojik düzeyin etkileşimiyle oluşan örgütsel öğrenme sürecini Crossan vd. (1999) sezgi, yorumlama, bütünleştirme ve kurumsallaştırma olarak dört temel aşamada değerlendirmektedir.

Örgütsel öğrenme konusundaki en eski ve en etkili bakış açılarından biri eylem araştırması perspektifidir (Argyris & Schön, 1978). Bu bakış açısına göre, örgütsel öğrenme, çalışanların devam eden deneme-yanılma, gözlem ve revizyon döngülerine girdikleri bir eylem ve yansıma sürecidir. Geri bildirim, kuruluşlara eylemlerinin etkinliği hakkında bilgi sağladığı ve uygulamalarını sürekli olarak iyileştirmelerini ve geliştirmelerini sağladığı için bu sürecin önemli bir bileşenidir.

Bir diğer önemli bakış açısı bilgi yönetimi perspektifidir (Nonaka & Takeuchi, 1995). Bu bakış açısı, örgütsel öğrenmeyi örtük bilginin (bireysel deneyimler ve beceriler) açık bilgiye (başkaları tarafından paylaşılabilecek ve kullanılabilen kodlanmış bilgiler) dönüştürülmesi olarak görür. Bilgi yönetimi, örgütsel öğrenmeyi ve performansı artırmak için bilginin oluşturulmasını, paylaşılmasını ve uygulanmasını destekleyen bir ortam yaratmayı amaçlamaktadır.

Kültürel perspektif, örgütsel öğrenmeyi anlamak ve kolaylaştırmak için bir başka önemli yaklaşımdır (Schein, 2010). Bu bakış açısı, örgütsel öğrenmeyi, bir örgütün değerlerinin, inançlarının ve normlarının öğrenme ve uyum sağlama biçimini şekillendirdiği kültürel bir süreç olarak görür. Bu bakış açısı, çalışanların sürekli öğrenmeye, bilgiyi paylaşmaya ve organizasyonun gelişimine katkıda bulunmaya teşvik edildiği bir öğrenme kültürü yaratmanın önemini vurgulamaktadır.

Örgütsel öğrenme kavramı alan yazında pek çok şekilde tanımlanmıştır. Balbastre vd. (2003) farklı ekollerce geliştirilen bu tanımlamaların süreç, bilgi, rutinler ve amaçlar olarak dört temel kavram etrafında birleştiğini gözlemlemiştir. Öğrenme kendiliğinden bir süreç barındırdığından ve doğrudan bilgiyle bağlantılı olduğundan örgütsel öğrenmeden bahsederken özellikle süreç ve bilgi kavramları ön plana

çıkılmaktadır. Rutinler ve amaçlar ise konunun ele alınışına göre ortaya atılmış ve kendi perspektifi içinde yaygın olarak kabul görmüştür.

Fiol ve Lyle (1985) örgütsel öğrenme kavramını, örgüt genelinde daha iyi bilgi ve anlayışla eylemlerin gelişmesi süreci olarak ifade etmektedirler. Örgütsel öğrenme konusunu çalışan öncü araştırmacıların (Chandler, 1962; Miles and Snow, 1978; Argyris ve Schön, 1978; Jelinek, 1979; Duncan, 1974; Hedberg, 1981; Martin, 1982; Lawrence and Dyer, 1983) çalışmalarını birlikte analiz eden yazarlar, öğrenme konusunda yaklaşım farklılıkları olmakla birlikte; örgütsel öğrenmenin, iş yerinde çalışan üyelerin öğrenmesinin kümülatif toplamından fazla olduğu ortak kanısında buluşulduğunu ifade etmektedirler. Örgütler, bilişsel sistemleri sayesinde öğrenilen bilgiyi örgüt belleklerinde saklamakta ve kişiler haricince, normlar, rutinler, stratejiler ve örgüt kültürü vasıtasıyla bilginin aktarımını sağlamaktadır. Bu nedenle, örgüt çalışanları ve liderleri yıllar içinde değişse de örgüt içindeki belirli davranış kalıpları, normlar ve değerler örgütsel bellek sayesinde devam ettirilebilmektedir. Örgütün kültürü, stratejileri, örgüt yapısı ve örgütün çevresi örgütsel öğrenmeyi sağlayan faktörlerdir. Örgütsel öğrenme bu faktörler tarafından güçlendirilirken, örgütün öğrenme seviyesi arttıkça bu faktörler de döngüsel olarak öğrenmenin sonucunda yeniden yapılandırılmaktadır.

Easterby-Smith (1997: 1086) örgütsel öğrenmeye dair sorunların ve dinamiklerin farklı ontolojik perspektifi olan farklı disiplinlerde kendi bakış açıları çerçevesinde ele alındığını ve bu nedenle ortak bir kavramsal kuramın geliştirilemeyeceğini iddia etmektedirler. Örgütsel öğrenmeyi irdeleyen her disiplinin kendi gözlüğünden kavrama dair fikrinin ve kendi içindeki sorunsalının ayrıştırılması ve konunun seçilen bir disiplinin özelinde belirli boyutları ele alınarak araştırılması gerektiğini savunmaktadır. Tablo 6'da örgütsel öğrenmeyi ele alan disiplinler gösterilmektedir.

Tablo 6. Örgütsel Öğrenmeyi Araştıran Disiplinler

Disiplin	Ontoloji	Fikirler/Katkılar	Problem
Psikoloji ve Örgütsel Gelişim	İnsan Gelişimi	Hiyerarşik örgüt, bilişsel öğrenme süreçleri, öğrenme şekilleri, bağlamın önemi, değerlere vurgu, iletişim ve diyalog	Gruplar arası savunmacı rutinler, örgütü bütün olarak görmekte zorluklar
Yönetim Bilimi	Bilgi İşlem	Bilgi, bellek, bütünsellik, hata düzeltme, bilgi teknolojileri	Karar vermede rasyonel olmayan ve politik davranışlar, kısa dönemli/ uzun dönemli yaklaşım çatışması, aşırı bilgi yükleme, öğrenmeme
Sosyoloji ve Örgüt Kuramı	Sosyal Yapılar	Güç dengelerinin ve hiyerarşinin etkisi, çatışmalar ve aktörlerin çıkarları, ideoloji ve söylem	Çıkar çatışmaları, örgütlerin politiklığı
Strateji	Rekabet	Örgüt-çevre ilişkisi, örgütler arası ağlar, popülasyon düzeyinde öğrenme	Çevreye göre konumlanma, rekabet baskısı, genel ve teknik öğrenme
Üretim Yönetimi	Verimlilik	Verimlilik, öğrenme eğrileri, iç ve dış kaynaklar, üretim tasarımı	Tek boyutlu ölçüm sorunu, çıktılarının belirsizliği
Kültürel Antropoloji	Anlam Sistemleri	Örgütsel öğrenmenin hem nedeni hem de sonucu olarak kültür, inançlar ve değerler	Fikirlerin aktarılmasında kültürel bariyerler

Kaynak: Easterby-Smith (1997).

Bu çalışma Easterby-Smith'in (1997) örgütsel öğrenmeyi konu alan disiplinlerin ayrıştırılması ve araştırmanın ilgili disiplinin çerçevesinde yapılması önerisine uygun olarak, yönetim bilimi perspektifinden örgütsel öğrenmeyi ele almaktadır. Bu nedenle bütünsellik yaklaşımı çerçevesinde örgüt içi bilginin üretilmesi, örgütsel bellekte saklanması, bilgi aktarımı ve örgütsel unutma konuları incelemektedir. Çalışma bir üretim işletmesi vakası üzerinde yapılsa da ontolojik olarak verimlilik ölçümü amaçlanmamaktadır. Bununla beraber; araştırmanın simülasyon modellemesi sonucu örgüt tasarımının değişimi gözlemlenebilmekte ve bu açıdan üretim yönetiminin de çalışma alanına bir ölçüde girebilmektedir. Ancak; Easterby-Smith'in (1997) tipolojisini çizdiği diğer dört alan bu araştırmanın konusu

dışındadır. Örgüt içi bilgi ağlarının gelişimi anlaşılmaya çalışıldığından, örgütün çevreyle ilişkisini konu alan popülasyon düzeyinde kurulan stratejik ağlar çalışmanın kapsamı dışındadır. Benzer şekilde, örgütsel öğrenme örgütün değerleri ve kültürel yapısı göz önünde bulundurularak değerlendirilmemekte ve aktörlerin çıkar çatışmaları araştırmanın konusunu oluşturmamaktadır. Yönetim bilimi açısından örgütsel öğrenme bilginin işlenmesi mantığına dayanmaktadır. Bu bakımdan Huber (1991); örgütsel öğrenmeyi bilginin edinilmesi, aktarılması, yorumlanması ve örgütsel bellekte depolanması olarak modellemiştir.

Örgütsel öğrenme ve örgütsel bellek yönetim alanında yakından ilişkili kavramlardır. Örgütsel öğrenme, örgütlerin performanslarını sürekli iyileştirmek için yeni bilgi ve deneyimler edindikleri ve uyguladıkları süreci ifade eder. Öte yandan örgütsel bellek, kuruluşların karar verme ve gelecekteki eylemlerini bilgilendirmek için sakladıkları ve kullandıkları bilgi ve deneyimlerin toplanmasını ifade eder. Bu iki kavramı birleştirmek, daha etkili ve verimli bir öğrenme sürecine yol açmaktadır. Bir örgüt kolektif hafızasını koruyarak ve kullanarak, yeni bilgilerin öğrenilmesini daha hızlı ve etkili bir şekilde benimseyebilmekte ve mevcut bilgi ve deneyimlerini geliştirebilmektedir. Böylece, tekrarlanan hatalardan kaçınmak, önceki başarılarından yararlanmak ve genel kurumsal performansı artırmak mümkün olacaktır.

Örgütsel öğrenmeyi ve örgütsel belleği etkili bir şekilde birleştirmek için, örgütler sürekli öğrenme ve bilgi paylaşımı kültürü yaratmalıdır. Bu kültür, çalışanların birbirlerinden ve dış kaynaklardan öğrenmeleri için fırsatlar yaratmanın yanı sıra deneyimlerin ve en iyi uygulamaların paylaşılmasını teşvik etmeyi içerir. Ek olarak, örgütler bilgi yönetim sistemleri, veri tabanları ve arşivler gibi kolektif hafızalarını oluşturmak, depolamak ve kullanmak için sistemler ve süreçler geliştirmelidir.

Örgütteki bir değişimin bilginin depolanmasında yarattığı etkiyi anlamak için çalışmanın bu aşamasında örgütsel belleğin oluşumu irdelenecektir.

2.1.2. Örgütsel Bellek

March ve Simon (1958), davranışın, kişinin içsel durumu ile bulunduğu çevrenin etkisi sonucu geliştiğini; yani, doğuştan gelen özellikler ile sonradan edinilenlerin (nature-nurture) birlikte dinamik bir sistem yaratarak davranışı

oluşturduğunu öne sürmüştür. Burada; içsel durum olarak geçmişin bir fonksiyonu olan bellek kastedilmektedir. March ve Simon'a (1958) göre bellek, çevreden gelen uyarılara tepki vermek üzere geçmiş tecrübelerle dayanan, fakat; öğrenme yoluyla zamanla gelişen ve değişen bilgiler bütünüdür. Geçmiş deneyimlerin hatırlanması davranışı şekillendirebilmektedir. Bununla birlikte, öğrenme sonucu bellekte oluşan değişim sebebiyle söz konusu davranış da değişebilmektedir. Kısacası davranış, belleğin öğrenme ve hatırlama gibi bilgi işleme süreçlerinden etkilenmektedir. Hatırlama ve öğrenme sonucunda çevreyle karşılıklı etkileşimler kurulmaktadır. Bu etkileşimlerin açıklanabilmesi ancak uzun dönemli gözlemler yapıldığında mümkün olabilmektedir (Çeviren: Bozkurt, Onaran, 1975: 10-11).

Bellek olgusu üzerine psikoloji alanında çokça çalışılmış ve uzun yıllar belleğin zihnin tek boyutlu bir birimi olduğu yanlışına düşülmüştür. Gerçekte; bellek birbirinden ayrılabilir ve her biri kendine has özelleşmiş rolleri olan süreçler ve sistemlerden oluşmaktadır. Belleği oluşturan her bir sistem beyinde farklı sinir ağlarının oluşturduğu farklı ağ yapılarına bağlıdır (Schacter, 1997: 13). Bu sebeple bu alt bellek sistemleri farklı bilgileri kaydetmekte ve farklı prensiplerle çalışmaktadır (Tulvic, 1993: 67). Belleğin alt sistemleri üzerine çeşitli sınıflandırmalar yapılmakla birlikte, genel olarak, belleğin bildirimsel (declarative) bellek, anlamsal (semantic) bellek ve işlemsel (procedural) bellek olarak üç kategoride sınıflandırılması uygun görülmüştür. Bildirimsel bellek; bir şeyin ne olduğunun hatırlanmasıdır. O şeyin işlevinden çok kendisinin hatırlanmasıdır. Bisikletin iki tekerli bir cisim olduğunun hatırlanması buna örnek gösterilebilir. Anlamsal bellek; o şeye dair gerçek bilgiler ile kavramsal bilgilerin hatırlanmasını ifade etmektedir. Herhangi bir konuda önermeler oluşturabiliyorsak, o şey orada olmasa bile genel dünya bilgileri ile o konuda fikir yürütebiliyorsak anlamsal belleğimizde depoladığımız bilgileri hatırlayarak yapıyoruz demektir. Bisikletin iki tekeri varsa hareket edebilir, koltuğuna oturulabilir ve pedalları çevirerek seyahat edilebilir olduğunun düşünülmesi, genel bilgilerden hareketle kavramsal çıkarımda bulunmayı sağlayan anlamsal bellek ile gerçekleşmektedir. İşlemsel bellek ise; bir şeyin nasıl yapılacağının hatırlanmasıdır. İşlemsel bellek sayesinde daha önceden kişisel bir tecrübemiz olmasa bile yeni beceriler öğrenebilir ve yeni alışkanlıklar geliştirebiliriz. Yine bisiklet örneğini ele alırsak; bildirimsel bellek sayesinde ne olduğunu hatırladığımız, anlamsal bellek sayesinde işlevini

bildiğimiz bisikleti sürmeyi öğrendiğimizde, bu yeni bilgi motor nöronların ve bilişsel süreçlerin birlikte çalıştığı işlemsel belleğe kaydedilmektedir (Rowlinson vd., 2010: 2-3).

Örgütler, bilgi işleme karakteristiğine sahip olduğu için, insan belleğine benzer bir belleğe sahiptir. Örgüt kuramı alanının ilk örgütsel bellek çalışmalarında örgütün geçmişte edindiği bilgiyi nereye depoladığı üzerinde düşünülmüş ve çeşitli fikirler geliştirmiştir. Bellek kavramını örgütsel alanda ilk kavramsallaştıranlardan March ve Simon'ın (1958) belleğin örgütün standart prosedürlerinde gömülü olduğu iddiası genel olarak kabul görmüş ve sonraki çalışmalarda; prosedürlere ek olarak örgütün yapısı, roller, görevler, geçmiş olaylar, örgütsel hedefler, stratejiler, örgüt kültürü ve örgütsel davranış kalıpları da örgütsel belleği oluşturan bilgi depoları olarak değerlendirilmiştir. Nelson ve Winter (1982: 14), örgütsel rutinler ile bireysel yeteneklerin benzerlikleri olduğunu, örgüt rutinlerinin gelişiminin biyolojik evrimle örtüştüğünü öne sürmüştür. Cohen ve Bacdayan (1994: 557) ise bu benzerliklerin çalışanların bilişsel ve motor becerilerinin depolandığı işlemsel belleklerinden kaynaklandığını iddia etmiştir. Çalışanlar işlemsel bellekleri sayesinde bir şeyleri öğrenirler ancak öğrendiklerinin farkına varmazlar. Kişiler yetenek kazandıkça bu yetenekler işlemsel bellekte depolanır. Bir gruba ait rutinler, kişilerin işlemsel belleklerinde depolanan bilgilerin birbirlerine bağlandığı bütünsel bir bellek yapısı oluşturmaktadır denilebilir. Bir grup insan aynı şeyleri daha iyi yapmaya başlarsa öğrenme eğrisi yükselir. Örgütsel rutinler, öğrenilen bilginin aktarılması esasına dayanır. Bu bakımdan, öğrenmenin bireysel düzeyde aktarılması ile örgüt düzeyinde aktarılması benzerlik göstermektedir. Örgütsel bellekten söz edilirken bu sebeple çoğunlukla örgütsel öğrenme konusuyla birlikte ele alınmaktadır.

Alan yazında çeşitli örgütsel bellek tanımları olduğu gibi örgütsel bir hafızanın olup olmadığını sorgulayan çalışmalar da mevcuttur. Örneğin; Argyris ve Schön (1978: 19), örgütsel bellek kavramının metaforik olduğunu ileri sürmüş ve “öğrenen ajan” kavramını örgüt literatürüne katarak; örgütsel bellek denilen olgunun kişilerin bireysel öğrenme yoluyla keşfettikleri ve kendi zihin süzgecinde yeniden değerlendirdikleri kişisel belleklerden ibaret olduğunu savunmuştur. Farklı görüşlere rağmen, Walsh ve Ungson'un (1991: 61) bellek tanımı halen en yaygın kabul edilen örgütsel bellek tanımıdır. Bu tanıma göre; “*örgütsel bellek bilgi edinme, bilgiyi*

saklama ve geri çağırma süreçlerinden ve bu süreçlerin etkilerinden oluşur. Örgütsel bellek vasıtasıyla örgütün geçmişte kaydedilmiş bilgileri geri çağırılarak bugünün kararlarının alınması sağlanmaktadır”.

Geçmiş bilginin saklandığı depolama birimlerinden olan örgütsel yapı örgütün tarihinden doğan bir güç olarak yönetsel kararların alınmasında önemli bir etkiye sahiptir. Ancak, her örgütün yapısının oluşumu örgüt özelinde farklılaşmaktadır; dolayısıyla, örgütsel yapılar izomorf değildir (Fiedler, Welp, 2010: 384).

Örgütler karmaşık sistemlerdir ve 2000’li yıllarda çeşitlenen bakış açılarının gösterdiği gibi karmaşık sistemlerde bilgiyi saklamanın tek bir boyutu yoktur. Örgütsel bellek örgütsel süreçlerin birçok fonksiyonunda karşılıklı etkileşimli olarak oluşmaktadır. Örgütlerin bilgiyi işleme mekanizmalarının bireylerin bilgi işleme süreciyle örtüştüğü savını kabul edersek, örgütlerin çevrenin belirsizliğini ve karmaşıklığı azaltmak üzere çevresel uyarıları teşhis edip yorumlamasını bekleyebiliriz. Buradan yola çıkarak, örgütlerin bilgi işleyen sistemler oldukları kadar yorumsamacı sistemler olduğu da iddia edilmektedir. Burrell ve Morgen’in (1979) örgütün “*gündelik sosyal etkileşimler vasıtasıyla ortak bir dilin geliştirildiği, ortak bir anlamın paylaşıldığı bir ağ olduğu*” tanımını da beraberinde düşünecek olursak çevreden gelen etkileşimlerin bellekte yorumlanmasıyla ortak bir anlam yaratıldığı savunulabilir (Walsch, Ungson, 1991: 57-61).

Örgütsel bellek araştırmalarının ortak kanısı örgütün geçmiş eylemlerinin örgütün değişiminde, yönetsel kararların alınmasında, örgütsel kimliğin oluşmasında önemli etkisi olduğudur. Örgütsel belleğin bugünkü kararları nasıl etkileyeceği olduğu kadar örgütsel belleğin nelerden oluştuğu, nelerden etkilendiği, ölçülebilirliği araştırılan konulardandır. Temelde, örgütsel bellek çalışmaları da örgüt kuramı çalışmalarının baskın paradigması olan yapısal-işlevselci paradigma perspektifinden incelenmiştir. Yukarıda belirttiğimiz gibi yaygın yaklaşım; Walsh ve Ungson’un (1991) ortaya koyduğu ve pek çok takipçi tarafından benimsenen örgütsel bilginin örgüt içinde belirli saklama alanlarında kaydedilmesiyle örgütsel belleğin oluştuğu görüşüdür. Bu yaklaşım, örgütsel belleğin örgüt içi öğrenme yoluyla bu saklama alanlarına depolandığı iddia etmektedir. Örgütsel bellek çalışmalarının bu erken dönemi bilgiyi edinme, saklama, geri çekme, öğrenme, öğrenmeme, hatırlama, unutma

üzerine fikirlerin geliştirildiği, bildirimsel bellek ve işlemsel bellek ayrımlarının yapıldığı alanın yerleşmeye başladığı dönemdir. Bunlara ek olarak, örgüt içinde grupların kendi iç dinamiklerinde gelişen, grup üyelerinin kimin neyi iyi yapacağına dair bilgisinden doğan ve örgütün stratejik yetkinliğini artıran transaktif bellek de bildirimsel ve işlemsel belleğe ek olarak örgütsel belleğe dahil edilmiştir.

Tablo 7. Örgütsel Belleğin Dört Bakış Açısı

<i>Bakış açısı</i>	<i>Bellek Kavramı</i>	<i>Altyapısı</i>	<i>Temel Kaygılar</i>
<i>İşlevselci</i>	Bilginin depolandığı ve geri çağrıldığı saklama kutuları	Klasik örgüt çalışmaları, Bilgi yönetimi, Psikoloji	Örgütsel öğren(me)me, Bilgi depoları, Bilginin eksilmesi, Bilgi aktarımı, Bilginin eskimesi
<i>Yorumsamacı</i>	Paylaşılan geçmişin zaman içinde odak aktöre bağlı olarak çeşitlenen eşzamanlı ve sıralı anlatımı	Kolektif bellek çalışmaları, Örgütsel yorumsamacılar, Hikaye anlatıcılığı, Anlam verme, Kimlik, Kültür	Paylaşılan geçmiş üzerine uzlaşılar, Belleğin sosyal çerçevesi, Anımsatıcı topluluklar, Anımsatıcı iş
<i>Eleştirel</i>	Paylaşılan geçmişin doğasına dair politik çatışmaların olması durumu	Kolektif bellek çalışmaları, Güç teorileri, Eleştirel teori, Eleştirel yönetim çalışmaları	Bellek siyasetleri, Karşıt bellekler, Geçmişin sorgulanması, Anımsatıcıların çatışmaları
<i>Performatif</i>	Üretken, yapıcı ve canlı performans yoluyla kültürel ve maddi sonuçlar doğuran ve bugünü etkileyen süreçler	Kolektif bellek çalışmaları, Performans teorileri, Aktör ağ teorisi, Bilimin sosyal araştırmaları	Materyal/söylemsel uygulamalar, Performans olarak hatırlama ve unutma, Harekete geçme, Anma

Kaynak: Foroughi vd., (2020).

İlerleyen dönemde hatırlama ve unutma üzerine çalışmalar yeni bakış açıları getirmiş ve örgüt araştırmacılarını örgütlerin sosyal bellek üzerine etkilerini araştırmaya yönlendirmiştir. Rowlinson vd.'nin (2010) çalışması, örgüt içindeki saklama kutularının ötesine geçerek öğrenme ve hatırlamanın sosyal sürecinin incelendiği ve kolektif bellek kavramının öne çıktığı, yönetim ve örgüt çalışmalarında

belleğin sosyal boyutlarının farkındalığını artırmıştır. Kolektif bellek çalışmaları, geçmişin kullanılması, yeniden yazılması, toplumsal belleğin yeniden inşası gibi sorunlar üzerinde düşünülmesini sağlamış, örgüt kuramı ve tarih alanını yaklaştırmış ve giderek örgütsel belleğin yorumsamacı, eleştirel paradigmalara kaymasına sebep olmuştur. Bu bakış açılarından tamamen farklı olarak örgütsel belleğin performansa bağlı olduğunu iddia eden yeni bir görüş de bu yeni dönemde örgütsel bellek çalışmaları arasında kendine yer bulmuştur (Foroughi, Coraiola, Rintamäki, Mena, Foster, 2020). Tablo 7 örgütsel belleğin dört bakış açısının kavramı, altyapısı, temel kaygıları bakımından ayrımlarını göstermektedir.

Son yıllarda örgütsel bellek çalışmaları ana ekseninden kaymış ve farklı bakış açılarıyla genişlemeye ve yeni unsurları ve farklı disiplinleri alanın içine dahil etmeye başlamış olsa da ilk dönemin işlevselci bakış açısı bugün de güncelliğini sürdürmektedir ve bizim araştırmamız da yine bu yaklaşımın içinde sınıflandırılabilir. Walsh ve Ungson'un (1991) örgütsel belleğin saklama kutularında depolanması fikrine eleştiriler, yaklaşımın durağanlığından kaynaklanmadır. Saklanan bilginin yalnızca kullanıldığı zaman hatırlanması ve kullanılmadığı zaman unutmaya maruz kalması durağanlığın sakıncası olarak ifade edilmektedir.

Bu çalışmada McGrath ve Argote'nin (2001) örgütsel belleğin depolandığı saklama alanları arasında bir ağ ilişkisi olduğu ve bu bilgi depolarının etkileşimlerinin öğrenmeyle değiştiği varsayımı ile, örgütsel belleğin dinamik yapısı incelenmektedir. Bu karmaşık ve dinamik sistemi modelleyebilmek için karmaşık sistemin basitleştirilmiş bir benzeri kurgulanarak başlanmıştır. Örgütün karmaşık bellek sistemini basit kurallarla açıklayabilmek için sistemin mikro düzeyde "örgütsel bilgi depolarını" ya da başka bir deyişle "saklama kutularını" analiz edilmiştir. Bu açıdan, çalışma işlevselci örgütsel bellek araştırmaları arasında konumlandırılabilir. Bununla birlikte; bilgi depolarını mikro düzeyde ajanlar olarak ele alarak bu ajanların davranışları ve etkileşimleri sonucu makro örüntülerin öz oluşumlarının gözlemlenmesi hedeflenmiştir.

Örgütsel bilgi depolarının etkileşimler sonucu çevreye göre uyumlu veya tepkisel davranışlar geliştireceğini; yani örgütsel belleğin hatırlama, unutma gibi

fonksiyonlarının da sabit kalmayacağını ve zamanla değişeceği varsayımı benimsenmiştir. Bu noktada, farklı paradigmalardan bakan örgütsel bellek araştırmacılarının yapısal durağanlık eleştirileri dikkate alınarak yeni öneriler getirebilmek amaçlanmıştır. Modelleme ve simülasyonları tümevarım ve tüm dengelimden ayrı konumlanan hepten gitmeli (abduktif) mantığı araştırmanın yöntemi kısmında detaylı olarak açıklanmaktadır.

2.1.3. Örgütsel bilgi depoları ve ağ ilişkileri

Örgütsel bilginin örgüt içinde nerede gömülü (embedded) olduğu birçok araştırmacı tarafından sorgulanmış ve araştırmalar sonucunda bilginin örgütlerde çeşitli bileşenlerde gömülü olduğu gözlemlenmiştir. March ve Simon (1958), örgütsel bilginin, örgütün standart prosedürlerinde gömülü olduğu, Starbuck (1992: 719), bilgi yoğun örgütlerde bireylerde, fiziki sermayede, örgüt kültüründe ve örgütün rutinlerinde gömülü olduğu, March vd. (2000) örgütün kurallarında gömülü olduğu sonucuna varmıştır. Walsh ve Ungson (1991: 58) örgütsel hafızanın gömülü olduğu bileşenleri “saklama kutuları (retention bins)” olarak adlandırmış ve beş başlıkta kavramsallaştırmıştır: Bireysel çalışanlar, örgüt kültürü, standart prosedürler ve uygulamalar, roller ve organizasyon yapısı, işyerinin fiziki yapısı. McGrath, Arrow ve Berdahl’ın (2000) çalışması ile McGrath ve Argote’nin (2001) eş zamanlı bir başka araştırmaları sonucu, “saklama kutuları” yerine “örgütsel bilgi depoları (knowledge repositories)” kavramı geliştirilmiştir. Bu yeni ifade alan yazında yer bulmuş ve kavram karmaşası sonlandırılmıştır. Örgütsel bilgi depoları; örgüt üyeleri, örgütsel görevler ve kullanılan araçlar olarak üç temel bileşene indirgenmiştir (Argote, 2013: 89).

McGrath vd. (2000: 98) örgüt içinde grupların dünden bugüne gelişimini inceledikleri araştırmalarında; grupların geçmişte düşünüldüğü gibi basit yapılar olmadığı, aksine küçük grupların bile işleyişinin karmaşık, dinamik ve değişime uyum gösteren bir yapısının olduğunu vurgulamaktadır. Sistem yaklaşımı, dinamik sistemler teorisi, karmaşıklık kuramı ve kaos teorisinden yola çıkarak; grup dinamiklerinin gelişimlerini, karmaşık sistemlerin işleyişini anlamak için geliştirilmiş olan bilgisayarlı modelleme yöntemiyle incelemektedir. Grupların fonksiyonlarını sürdürebilmeleri için grup üyeleri, görevler ve kullandıkları araçlar arasında bir

koordinasyon ağı yarattıklarını gözlemlemekte ve bu ağ yapısını kendi içinde üye, görev, araç, işgücü, rol ve iş ağları olarak altı alt kategoride sınıflandırmaktadır.

Koordinasyon ağı içinde yer alan her bir ağ yapısının diğer ağ yapılarıyla uyumlu çalışması beklenmektedir. Görev ağı; grubun yöneteceği projenin bütün işlevsel ve araçsal görevlerini kapsamalı, işgücü ağı; tüm görevlerin o görevi yapacak yeteneğe sahip üyelere dağıtılmasını sağlamalı, rol ağı; gerekli yeteneğe ve bilgiye sahip üyelerin kullanmaları gereken araçlara erişimini sağlamalı, iş ağı birbiriyle bağlantılı işler ve işlerin yapılmasında kullanılacak araçlar arası bağı kurmalıdır. Koordinasyon ağının ise, bütünsel olarak tüm görevlerin yeterli yetenek ve bilgiye sahip üyelere dağıtımını, birbiriyle ilişkili görevlerin, görevlerin yapılması için gerekli araçların ve bu araçları kullanacak üyelerin bütün ağ ve bağ ilişkilerini ortaya koyması beklenmektedir (McGrath, Argote, 2001: 612).

Grubun tecrübesi arttıkça, grup üyeleri görevlerini yerine getirirken yeni yetenekler geliştirebilecek ve işlerinde uzmanlaşacaktır. Bu aşamada bilgi, işi yapan insanda depolanmaktadır. Grup üyelerinin bilgisi arttıkça ve kişiler uzmanlaştıkça, görevlerin yapılış şeklini ve kullandıkları araçları da bilgileri dahilinde düzenleyebilecek hale gelebilmektedir. Böylece, örgütsel bilgi, yalnızca o işi yapan kişiye bağımlı kalmayacak, öğrenilen yeni bilgi ve yapılan düzenlemelerin yarattığı değişim sayesinde, görevler ve kullanılan araçlar yani teknoloji de örgütsel bilginin depolandığı unsurlar haline gelecektir. Grup daha çok deneyimledikçe, üyeleri arasında kimin hangi konuda daha iyi olduğu ortaya çıkacak ve görevler grup üyelerinin kabiliyetlerine göre dağıtılacaktır (Üye-Görev ağı). Görevler dağıtılırken yine kimin hangi aracı kullanacağı da belirlenecektir (Üye-Araç ağı). Üyeler arasında iş bölümünün gerçekleşmesiyle kimin hangi işi yapacağı netleşmektedir. İşin nasıl yapılacağı hususu ise; kişilere verilen görevlerin yerine getirilmesinde hangi araçların kullanılmasının daha uygun olduğunun belirlenmesi ile çözülecek, kullanılacak teknoloji işin yapılışına en uygun şekilde tasarlanacaktır (Görev-Araç ağı). Öğrenilen her yeni bilgi, bu koordinasyon ağının bileşenlerinde ve bileşenlerin aralarındaki etkileşimlerde depolanmakta, böylece; örgütsel öğrenme gerçekleşmektedir (McGrath, Argote, 2001: 616-617).

Argote ve Ingram (2000) işletmenin içsel faktörlerle rekabet üstünlüğü yaratmasının temelinde örgütsel bilgi aktarımının olduğunu öne sürmektedir. Bilginin aktarılabilmesi, örgütsel bilginin depolandığı bileşenlerin başka bir bağlama taşınmasıyla mümkün olabilmektedir; ancak işletmelerin insan-Görev-Araç etkileşimini başka bir bağlama taşımak zorlu bir süreçtir. Bilgi aktarımındaki güçlüğü azaltılabilmek ve örgütsel bilgi depoları arasındaki ağ-bağ ilişkilerini daha açık görebilmek için kavramsal bir çerçeve geliştirilmiştir. Bu çerçeveye göre örgütsel bilgi birbirleriyle ilişki yedi ağ yapısında depolanmaktadır ve örgütsel öğrenme bu ağ yapıları üzerinden gerçekleşmektedir:

- Örgütün sosyal ağlarını oluşturan *Üye-Üye ağları*,
- Örgütün rutinlerini, hangi görevin yapılacağını ve görevler arasındaki ilişkileri oluşturan *Görev-Görev ağları*,
- Kullanılan araçların birbirleriyle ilişkisini gösteren *Araç-Araç ağları*,
- Hangi araçla hangi görevlerin yapılacağını gösteren *Görev-Araç ağları*,
- Örgüt içi iş bölümünün temelini oluşturan ve hangi üyenin hangi görevi yapacağını gösteren *Üye-Görev ağları*,
- Hangi üyelerin hangi araçları kullanacağını ve üye ve araç arasındaki etkileşimi gösteren *Üye-Araç ağları*,
- Hangi üyenin hangi görevi hangi araçla yaptığını gösteren *Üye-Görev-Araç ağları* (s.153).

Örgütsel bilginin bireylerde gömülü olması

Örgütsel bilginin koordinasyon ağının bileşenlerinden sadece birinde toplanmasının bilginin aktarılmasında olumlu ve olumsuz sonuçları vardır. Örgütsel bilgi yalnızca işi yapan kişide gömülü olduğunda, kişi kazandığı tecrübelerden doğan örtük bilgiyi kendisine verilen yeni görevleri yerine getirirken veya yeni araçları kullanırken farkına varmadan, kolaylıkla yeni iş senaryolarına aktarabilmektedir. Ne var ki, çalışan işletmeden ayrıldığında edindiği bilgiyi de beraberinde götürecektir (McGrath, Argote, 2001: 618-619). Bununla birlikte; bireylerin kilit pozisyonda bir görev üstlendiklerinde bilgiyi paylaşmamayı tercih ettiklerini (Wittembaum ve Stasser, 1996), kilit pozisyonlarda görev alan kişilerin örgüt içindeki gücünü ve etkisini koruyabilmek adına politik sebeplerle bilgi saklı tutabildiklerini (Engeström

vd., 1990) gözlemlemektedir. Bu durum işletmeyi bireylere bağımlı hale getirebilmektedir (McGrath, Argote, 2001: 618-619).

Örgütsel bilginin görevlerde gömülü olması

1800'lerin başında örgütsel hafızayı oluşturan bilginin örgüt üyelerinde; yani bireylerde depolandığını savunulmaktaydı. Tren yollarının inşasıyla, örgütsel hafızanın yalnızca bireylerde olması koordinasyon sorunlarına yol açmış ve 1800'lerin sonu ve 1900'lerin başında birinci sanayi devriminin örgütsel bilginin depolanmasında yarattığı fark belirginleşmiş ve örgütsel bellek bireylerle birlikte, bireylerden bağımsız olarak kayıtlar, kurallar ve prosedürler içinde depolanmaya başlamıştır (Yates, 1990). Sonraki yıllarda örgüt içinde tekrarlanan eylemlerin örüntülerinden oluşan rutinlerin örgütsel öğrenme üzerindeki etkisi araştırmacılar tarafından sıklıkla incelenmiş ve örgütsel öğrenmede simülasyon programları kullanarak, rutin programların karar vermeye etkisi araştırılmıştır.

Örgütsel bilginin kişilerden ziyade, iş rutinleri, programlar, tekrar eden örüntüler olarak da bilinen örgütsel görevlerde gömülü olması, işgücü devrinden kaynaklanan kırılganlığı azaltmakta ve bilgi aktarımında daha istikrarlı bir zemin oluşturmaktadır. Cyert ve March (1963), örgütsel rutinlerin ve standardize edilmiş prosedürlerin davranışsal örgüt teorisinde bir dönüm noktası yarattığını iddia etmiştir. Cohen ve Bacdayan (1994: 555), örgütsel rutinleri “birbirlerine iletişim ve otorite yoluyla bağlanmış birçok anlamda birbirlerinden farklı aktörün öğrenilmiş davranışlarından oluşan örüntüler” olarak tanımlamıştır. Örgütsel rutinler değiştirilmek ya da yeniden tasarlanmak istenirse, öncelikle örgüt üyelerinin kendilerine düşen kısımları nasıl öğrendiklerini anlamak ve sistematik iş rutinlerinin geliştirilmesi için öğrenilmiş bilgiyi kodlamak gerekir. Kodlanmış bilgi, bireylerin örtük bilgisine nazaran açıkça ulaşılabilir ve aktarılabilir bir bilgidir. Sağlam bir görev ağı kurulmuş bir sosyal sistemde yaşanan aksaklıklar performansı etkilememektedir. Bununla birlikte, örgütün rutinlerini oluşturan sistem doğru anlaşılmazsa, sistemi iyileştirmek üzere bilgi teknolojileri ile geliştirilen yenilikler verimlilik artışı sağlamakta başarısız olacaktırlar.

Bilgi yönetiminde görevlere odaklanmak, tekrarlanan görevler için optimal çözüm yollarının bulunmasını, ortaya çıkan yeni görevlerde farklı çalışanlar tarafından

farklı çözüm yollarının geliştirilmesini; dolayısıyla yeniliğe uyumlu bir yapının oluşmasını sağlamaktadır (Schütt, 2003: 458). Walsh ve Ungson, (1991) örgütsel belleklerin oluşması için bilginin kalıcı hale gelmesini, tekrarlanan görevlerin içerdiği bilginin örgüt üyelerince benimsenmesine ve yeni koşullarda yeniden türetilmesiyle sağlanacağını ifade etmektedir.

Örgütsel öğrenmenin gerçekleşmesi için bilginin yalnızca görev ağında depolanmasının da sakıncaları mevcuttur. Görev ağı belirli bir durum için geliştirilmiş ise karşılaşılan yeni durumlara adaptasyonda zorlukların yaşanması kaçınılmazdır. Örgütsel öğrenmenin sekteye uğramaması için, işletmelerin olası yeni şartları da gözetenek, hızla dönüştürülebilecek birkaç görev ağı senaryosu kurgulaması gerekecektir (McGrath, Argote, 2001: 620-621).

Örgütsel bilginin araçlarda (teknolojide) gömülü olması

Örgütsel bilginin teknolojide gömülü olması, diğer bilgi depolarına nazaran bilginin aktarılmasında daha kalıcı bir etki yaratmaktadır. Bilgi kişilerde veya görevlerde saklandığında, işgücünün devir oranı ve değişen prosedür ve iş süreçleri, öğrenilen bilginin kaybedilmesine ve dolayısıyla örgütsel unutmaya neden olabilirken, teknoloji yoğun örgütlerde bilgi kaybı en aza indirilmekte, bilgi sorunsuz aktarılmakta ve örgütsel öğrenme en etkili şekilde gerçekleşmektedir (Argote 2013: 619).

Argote'ye (2013: 620) göre; örgütsel bilginin ağırlıklı olarak teknolojide gömülü olmasındaki sorun Abernathy ve Wayne'nin (1974) de değindiği Ford'un T Model araba üretim teknolojisinde olduğu gibi, yeni bir ürün için kolay değıştirilememesidir. Teknoloji, bireyler ve görevler kadar esnek değildir. Teknoloji bilgi deposu olarak örgütsel öğrenmenin ve bilgi aktarımının en yüksek olduğu bileşen olmasına rağmen, diğer bileşenler kadar değışime hızlı uyum sağlayamamaktadır. Ne var ki Jaffe'ye (2001: 194) göre; Fordist teknoloji krizi, 1980 sonrası ortaya çıkan ve günümüze kadar artımsal ilerleyen bilgi teknolojisi devrimiyle çözülmüştür. Bilgi teknolojinin temel paradigması "esneklik"tir. Bileşenlerin yeniden programlanabilir olması artık yalnızca süreçlerin değil örgütlerin ve kurumların da zarara uğramadan değıştirilebilmesini olanaklı kılmaktadır. Dördüncü sanayi devrimi ile siber-fiziksel sistemlerin geliştirilmesi ve endüstrinin dijitalleşmesiyle teknolojinin katılığı

tamamen esnetilmiştir. Teknolojide depolanan bilgi şimdiye kadar hiç olmadığı kadar hızlı aktarılabilmekte ve örgütün öğrenme kapasitesi artımsal olarak gelişmektedir.

2.1 Koordinasyon ağlarında örgütsel öğrenme

Linda Argote (1999), "Örgütsel Öğrenme: Bilgi Yaratmak, Bilgiyi Elde Tutmak ve Aktarmak" adlı kitabında, örgütsel öğrenme ve koordinasyon ağları arasındaki ilişkinin örgütsel öğrenmenin etkinliğinde kritik bir rol oynayabileceğini öne sürmektedir. Argote'ye göre, koordinasyon ağları bilgi ve bilgi aktarımını kolaylaştırabilir ve örgütlerin karmaşık sorunları çözmek ve performansı artırmak için kaynaklarını ve uzmanlıklarını bir araya getirmelerini sağlayabilir. Argote, koordinasyon ağlarının yapısının ve bileşiminin bilgi aktarımının hızını ve kalitesini ve dolayısıyla örgütsel öğrenmenin etkinliğini etkileyebileceğini savunmaktadır. Daha yoğun, çeşitli ve merkezi olan koordinasyon ağları, bilgi aktarımını kolaylaştırmada ve örgütlerin birbirlerinden öğrenmelerini sağlamada daha etkilidir. Ayrıca, koordinasyon ağları örgütsel hedeflerin uyumunu ve kaynakların etkin bir şekilde tahsis edilmesini de etkileyebilmektedir. Koordinasyon ağları örgütsel hedeflerle uyumlu hale getirildiğinde, kuruluşların öğrenme çabalarını ve kaynaklarını en kritik alanlara odaklamalarına yardımcı olarak daha verimli ve etkili öğrenmeye yol açabilirler. Sonuç olarak, Argote'ye göre, örgütsel öğrenme ve koordinasyon ağları arasındaki ilişki, bilgi aktarımını kolaylaştırmada, örgütsel performansı artırmada ve kuruluşların birbirlerinden öğrenmelerini sağlamada kritik bir rol oynayabilir.

Çalışmanın kavramsal çerçevesi uyarınca yapılan yazın taramasının sonucu olarak örgütsel öğrenmenin gözlemlenebilmesi için örgütsel belleklerin kullanılması yaklaşımı benimsenmektedir. Örgütsel bellekler ile ilgili yazın taraması sonucunda tanımları ile ilişkili kavramsal ayrılıklar yukarıda tartışılmıştır. Çalışmanın temel varsayımı ise örgütsel belleklerin bilgi depoları (Walsh ve Ungson, 1991) olduklarıdır. Bu bilgi depoları örgütlerin somut kayıtlı belgelerinde ya da geçmişlerine dair çeşitli hikâye ve sembollerinde gözlemlenebildiği gibi örgütlerin işleyişlerinde gerçekleşen rutin ve rutin olmayan süreçlerindeki öz oluşumlar (emergence) da incelenebilmektedir. Argote (2012) örgütsel rutinlerin birbirleriyle etkileşimlerini koordinasyon ağları olarak tanımlamaktadır. İnsan hafızası olarak tanımladığımız belleklerin nöronlar arası elektrik sinyallerinin iletilmesi sonucu öz oluşan ağ ilişkilerinden ibaret oluşu bu yaklaşımda da benzer bir şekilde birey, görev ve araçlar

arası enformasyon iletimi sonucu olan ağ ilişkilerinin örgütsel belleklerin öz oluşumu olarak açıklanabilmesi fikri ile örtüşmektedir.

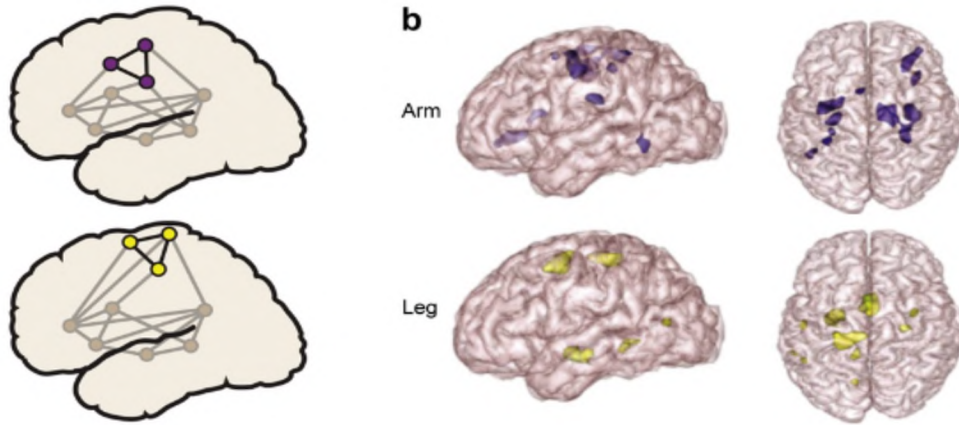
Örgütsel öğrenme ve örgütsel belleğin birleşimini teşvik etmede liderler kritik bir rol oynamaktadır. Net bir öğrenme gündemi belirleyerek ve bilgi paylaşımı kültürünü teşvik ederek, liderler sürekli öğrenmeyi ve örgütsel hafızanın korunmasını destekleyen bir ortam yaratmaya yardımcı olabilirler. Örgütsel öğrenme ve örgütsel hafızayı birleştirmek, daha etkili ve verimli bir öğrenme sürecine yol açabilir. Kolektif bilgi ve deneyimlerinden yararlanarak, kuruluşlar performanslarını ve rekabet güçlerini artırabilirler. Bu kavramları etkili bir şekilde birleştirmek için, kuruluşlar sürekli öğrenme ve bilgi paylaşımı kültürü oluşturmali ve örgütsel hafızayı yakalamak, depolamak ve kullanmak için sistemler ve süreçler geliştirmelidir. Bunun sonucunda örgütler öğrenen organizasyonlara dönüşmektedir.

Huysman (1999) öğrenen organizasyonu 'inovasyon, verimlilik, çevre ile daha iyi uyum ve rekabet avantajı gibi pozitif değerli sonuçlar yaratacak şekilde tüm üyelerinin öğrenmesini sağlayan yapılar ve stratejilerden oluşan bir organizasyon şekli' olarak tanımlamaktadır. Ayrıca Huysman, öğrenmenin sadece bir sonuç değil, aynı zamanda organizasyon içindeki bir süreç olduğunu vurgulamaktadır. Dodgson (1993) benzer bir yaklaşımla öğrenen organizasyonların "örgütsel öğrenmeyi geliştirmek ve maksimize etmek için yapıları ve stratejileri kasıtlı olarak inşa eden şirketler" olduğunu öne sürmektedir. Bununla birlikte, öğrenen organizasyonu "doğal öğrenmenin ötesine geçen ve salt adaptasyonun ötesinde ilerlemek için öğrenmesini sistematik olarak kullanarak gelişen bir yapı" olarak örgütsel öğrenmeden ayıştırmaktadır. Dodgson'ın (1993) işaret ettiği şey, aslında, öğrenen organizasyonun en önemli özelliklerinden biridir: Uyarlanabilirlik. Öğrenen organizasyonlar, uyarlanabilir olma yeteneklerine sahip oldukları için genellikle doğaları gereği daha uyumlu ve esnek olarak görülmektedir. Ancak Huber'in (1991) işaret ettiği gibi, uyum ve uyum sağlama arasındaki ayrım önemlidir; adaptasyon, kısa vadede sadece uygun ve iyileştirici bir eylem olarak görülürken, uyarlanabilirlik, uzun vadede bir kuruluşa gelişmiş performans ve başarı sağlar (Ege vd., 2017).

Sinir bilimsel çalışmaların temeli insan belleği ve düşüncesinin beyindeki sinir ağlarının incelenmesi sonucu ortaya çıkarılabileceği varsayımına dayanmaktadır.

İnsan belleğinde nöronlar arası bağlantılar ilk defa elektrik iletilerek oluştuklarında unutulması kolay bilgilerden bahsedebiliriz. Ancak bir dil konuşmak için gerekli kelimeleri sürekli hatırlamaya çalışarak aynı semantik ağ ilişkilerini kuran elektron transferleri sürekli biçimde gerçekleştiğinde bellekler daha yerleşik hale gelebilirler. Bir bebek beyninden yetişkin birey beynine geçişte beyin hücreleri ve nöronlar arası ilişkiler artacağından beyin daha yoğun ve kıvrımlı bir yapıya bürünmektedir. Bazı belleklerin oluşumunda genetik faktörler baskın olduğu gibi dil öğrenme gibi bazılarında ise daha dış kaynaklı bilgileri belleklere depolamak gerekmektedir. Aşağıda Şekil 5’te Shebani ve Pulvermüller (2013: 225) semantik bellekler üzerinde yaptıkları çalışmada “kol” ve “bacak” kelimeleri ile ilişkili kelimelerin beynin hangi bölgesinde ağ ilişkileri oluşturdıkları gösterilmektedir.

Şekil 5. İnsan Beyni Sinir Ağları



Kaynak: Shebani ve Pulvermüller (2013)’in İngilizce dilinde kol ve bacak kelimeleri ile ilişkili kelimelerin hatırlanması sırasında oluşan ağ ilişkilerini betimledikleri görseller.

Sinirbilim ya da örgütsel bellekler çalışırken faydalanılan karmaşıklık kuramının önem kazandığı nokta ise bu ağ ilişkilerindeki öz oluşumun aslında sadece süreç üzerinde gözlemlenebildiğidir. Shebani ve Pulvermüller’in örneğindeki ağ ilişkileri beyin dalgalarını ölçen cihazlar tarafından deneklere bu kelimeler söylenirken ölçülebilmektedir. Yani bellekler aslında oluşması beklenen ağ ilişkilerinin anlık olarak öz oluşumlarıdır. Her ihtiyaç duyduğumuzda bellekleri yeniden oluşturmamız gerekmektedir. Bu sebeple belli bir zaman sonra aynı olayı iki farklı insanın farklı şekilde hatırlaması ya da bir fotoğrafa baktığımızda belleğimizdeki bir bilginin daha farklı olduğu örnekler gözlemlenebilmektedir. Benzer şekilde ileri

yaşlarda unutkanlığa dayalı ortaya çıkan hastalıkları ve travmalara dayalı kişilik bozukluklarını açıklamak da mümkün olabilmektedir.

Bu çalışmada koordinasyon ağlarında kullanılan bilginin de benzer şekilde depolandığı varsayımı esas alınmıştır. Bu varsayımın benimsenmesi örgütsel öğrenme ve rutinler üzerinde yapılan çalışmaların Taylorist bilimsel yönetim ilkelerine dayanıyor olması, insan bilgisine dayalı faaliyetlerin standart işlem prosedürleri ile ifade edilerek iş bölümlerinin gerçekleştirilmesi esasına dayanmaktadır. Bir işin yapılması için gereken prosedürlerin tümünün öğrenilmesiyle oluşan örgütsel bellekler rutinlere dönüştürüldüğünde insan belleklerinden bağımsız hale gelerek örgütlerde depolanabilmektedir. Böylece örgütteki tüm aktörler ya da bireyler değiştirilse bile örgüt bir şekilde işleyebilmektedir. Standart işlem prosedürlerinin yoğun kullanıldığı örgütlerde bunu gözlemleyebilmek kolaydır. Örneğin Türkiye'deki bir havayolu firmasının tüm çalışanları ile Japonya'daki bir havayolu firmasını bütün çalışanlarını değiştirseydik her iki firmada da uçaklar yolcu taşımaya devam edebilirlerdi. Bunun sebebi uçakların hareket edebilmesi için gerekli tüm prosedürlerin evrensel bir eş biçimlilik esasıyla yoruma dayalı olmadan uygulanması gerekliliği olarak söylenebilir. Ancak örgütlerin kendi tecrübeleri ile öğrenerek birbirlerinden farklılaştıkları belleklerden de söz etmek mümkündür. Alan yazında bazı rutinlerin örgütün zaman içerisinde işleri yaparak öğrenmesi sonucu farklılaşabilmesinden ya da uygulanan kararlar doğrultusunda değişime uğrayabilmesinden bahsedilmektedir. Üstelik zamanla örgütlerin sahip oldukları bazı güçlü yönlerini ya da avantajlarını unutabilmektedirler. Örgütsel unutma ve Örgütsel Öğrenmeme gibi Örgütsel öğrenme kaynaklı yan araştırma dallarında bu gibi durumlar nitel araştırmalar ile ortaya konmaktadır.

Yukarıdaki tartışma bağlamında koordinasyon ağları örgütlerin gerek rutinler ile belirlediği işlemsel bilgileri gerekse de tecrübe ve kararlar ile değişen bilgilerin depolandıkları ağ ilişkileri olarak ele alınmaktadır. Bu ağ ilişkilerinin ise örgüt faaliyetlerine devam ettiği sürece mütemadiyen öz oluşum ile ortaya çıktıkları varsayılmaktadır. Nitekim faaliyetleri duran bir örgütün prosedürleri, o prosedürlerin işleyebilmesi için gerekli teknolojik altyapı ve tüm bu bilgiler ile donanmış çalışanların bir araya gelememesi ile bilgi paylaşım ağları yeniden oluşmayacaktır. Sürekli kendini yenileyen süreçlerin bilgiyi kullanması örgütsel belleklerin oluşumu

için bir gereklilik olarak görülmektedir. Örgütsel belleklerin koordinasyon ağlarında sürekli yeniden oluşması sürecinin sekteye uğramasının başka sebepleri de olabilir. Örneğin yaşanacak bir örgütsel değişim de koordinasyon ağlarını etkileyecektir. Bu bağlamda E4.0'a geçiş yapan örgütler, bu örgütsel değişim ile örgütsel belleklerin öz oluşumlarındaki farklılaşmaları gözlemleyebilmek için iyi bir örnek oluşturmaktadır.

Bu çalışma koordinasyon ağlarında endüstri 4.0'a geçiş ile beraber koordinasyon ağları üzerindeki değişimi bir vaka üzerinden incelemektedir. Mevcut durumda bireyler, görevler ve araçlar arası ağ ilişkileri bu bağlamda tespit edilerek bu ağ ilişkilerinin özellikleri incelenmektedir. Koordinasyon ağlarını ağ-bağ (network) analizi ile incelemek matematiksel ölçümler geliştirilebilen bir model geliştirmek için kullanılmaktadır. İncelenen vaka üzerinde yapılan ağ-bağ analizlerinin grafikleri yöntem bölümünde modelin kurgulanması aşamasında yer almaktadır.

Ağ-bağ analizinde düğüm noktaları (nodlar) ve bunlar arası bağlantılar (linkler) (Katz, Lazer, Arrow ve Contractor, 2004:319) şekil ile görselleştirilmiştir. Koordinasyon ağları bireyler arası düzeyde ele alındığında sosyal ağ analizini ifade etmektedir. Örneğin herhangi bir sosyal medya platformunda kullanıcıların birbirleri ile “takipleşerek”, iletişimde olmaları sonucu ortaya bir ağ haritası çıkacaktır. Bu ağ haritası incelendiğinde bireyleri ifade eden düğümler arası bağlantılar analiz edilerek hangi bireyin ağ içerisinde daha merkezi konumda olduğu gözlemlenebilir. Örneğin bir kullanıcının takipçi sayısı çok olduğunda az takipçisi olan pek çok kullanıcının arasında merkezi konumda olduğu gözlemlenebilmektedir.

Sosyal bilimlerde çok önemli iki kuramın arkasında bu merkezîyet durumu yer almaktadır. Bunlardan ilki Küçük Dünyalar Kuramı olarak da ifade edilen Ayrımın 6 derecesi kavramıdır. Barabási'nin (2003) bu kuramın işletme anabilim dalı için ne anlama geldiğini de içeren kitaplarında da anlatıldığı üzere sadece 6 kişinin birbiriyle bağlantısının sağlanması dünyada istediğimiz insana ulaşmamıza yetmektedir. Örneğin bir akademisyen çalıştığı çok önemli konuyu ABD başkanına ulaştırmak isterse Rektörü ile mevcut bağlantısını kullanabilir. Rektörün YÖK başkanı ile yapacağı 2. Bağlantı, YÖK başkanının Milli Eğitim bakanı ile kuracağı 3. Bağlantı, Bakanın Cumhurbaşkanı ile kuracağı 4. Bağlantı nihayetinde 5. Bağlantı ile ABD başkanına ulaşabilecektir. Herhangi bir birey bu 5 bağlantıyı kullanarak etrafındaki bir

akademisyene ulaştığında 6 bağlantı ile ABD başkanına ulaşabilir. Benzer bir yol pek çok şekilde düşünülebilir. Yapılan pek çok simülasyon ve deney ağ-bağ ilişkilerinde 6 bağlantılık bir yolun yeterliliğini göstermiştir. Bir diğer önemli yaklaşım ise Granovetter'in (1973) sosyal bilimlerde tüm zamanların en çok atıf alan makaleleri arasında yer alan "Zayıf bağların gücü" başlıklı çalışmasıdır. Ağ ilişkilerinde merkezi konumda olmayan bireylerin kurdukları zayıf bağlar aracılığı ile kendileri için önemli olan bilgilere daha rahat ulaşmalarının mümkün olduğundan bahseden bu çalışmaya göre zayıf bağlar ile kastedilen, iş, evlilik ya da akrabalık gibi doğrudan insan ilişkileri dışında kalan, bir hobi ya da tatil sürecinde ya da bunlara benzer süreçlerde gerçekleşebilecek tanışmalardır. Bu zayıf bağlar ile ağ ilişkilerinde merkezi konumda bulunan bireylere ulaşım kolaylaşmakta bilgi ihtiyacı daha kolay karşılanmaktadır.

Yukarıda örnek verilen sosyal ağlarda görüldüğü üzere ağ-bağ ilişkilerinde merkezi konumlar bilginin iletimini doğrudan etkilemektedir. Bu çalışmada ise bilginin iletildiği ağların sadece bireyler ile sınırlı kalmadığı Argote'nin (2012) tanımladığı koordinasyon ağları kapsamında bireylerin, görevlerin ve araçların her birinin birer düğüm olarak tanımlandığı bir vaka incelenmektedir. Dolayısıyla bilginin dolaşımı tüm bu üç düğüm çeşidi arasında gerçekleşmekte ve her birinin merkeziyet derecesi önem kazanmaktadır. Şekilde görülen ağ-bağ analizi üzerinden yapılan bir merkeziyet analizi ile mevcut durumdaki bilgi akışının gözlemlenmesi sağlanmıştır.

Ağ ilişkilerinde merkeziyet kavramı pek çok farklı şekilde ele alınabilmektedir. Seçkin Codal ve Coşkun (2016) tarafından detaylı anlatılan bazı merkeziyet türleri arasında iç ya da dış merkeziyet, arasındalık, öz vektör, derece, yakınlık merkeziyeti gibi kavramlardan bahsedilebilmektedir. Özet olarak ifade etmek gerekirse merkeziyet değerlerini ağ analizi ile matematiksel olarak hesaplamak düğümlerin bilgi paylaşım ağlarında önemlilik düzeylerine göre konumlarını belirtmektedir. Başka bir deyişle bir merkeziyet hesaplaması ile değeri bir a düğümüne kıyasla daha yüksek olan bir b düğümünden bahsederek, b düğümü ağ ilişkilerinde a düğümünden daha merkezi konumdadır şeklinde ifade edilmektedir. Bu değer aynı zamanda bilginin ağ içerisinde aktarımında söz konusu düğümün önem derecesini de belirtmektedir.

Çalışmada E4.0'a geçildikten sonra oluşacak yeni ağ-bağ ilişkilerinin mevcut durum ile kıyaslaması gerçekleştirilmektedir. Mevcut ağ ilişkilerinde merkeziyet

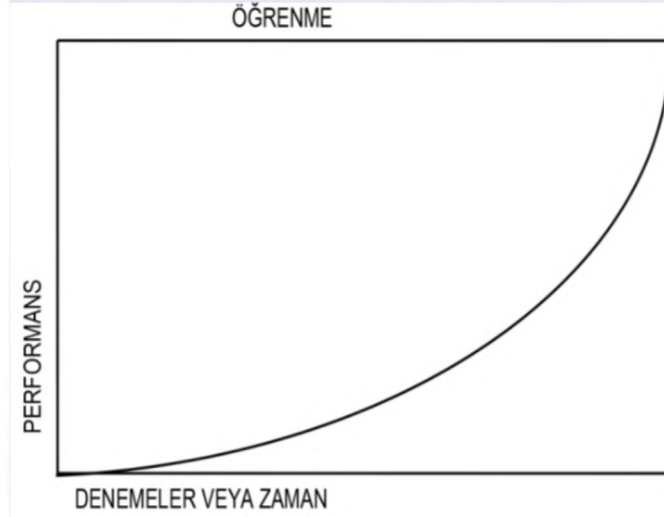
düzeyi yüksek düğümlerin konumları E4.0'a geçilmiş iş akışında yeniden gözlemlendiğinde merkeziyet değerlerindeki değişimi yorumlamak mümkün olacaktır. Bu bağlamda önceki durumda merkeziyet düzeyi yüksek düğümlerin yeni durumda merkeziyet derecelerinin düşmesi örgütsel hafızanın sürekli bilgi akışı ile yeniden öz oluşumunu azaltacağı sonucu değerlendirilebilecektir. Aksi durumda, daha önce merkeziyet derecesi düşük düğümlerin yeni durumda yüksek olduğu gözlemlenir ise bilgi akışının yeni yolları oluşmuş dolayısıyla yeni örgütsel bellekler ortaya çıkmış anlamına gelebilecektir. Simülasyonda koordinasyon ağlarının ajanlar olarak modellenmesi ile modelin belli bir tekrar sayısı ile çalıştırılması sonucu gözlemlenebilen bu merkeziyet derecesi değişimleri ile aşağıdaki önermeler doğrultusunda gözlemlenebilecektir.

Öneri 1 Endüstri 4.0'a geçiş ile koordinasyon ağlarında örgütsel belleklerde bilgi depolama artar.

Öte yandan simülasyon iki model için de çalıştırıldığında E4.0'a geçiş sonrası düğümler arası bağlantıların tekrarlanma sayılarına göre yoğunlukları arasındaki farklar tespit edilebilecektir. Eğer ağ düzeneği üzerinde düğümler arası bağların yoğun olarak tekrarlandığı durumların sayısında artış gözlemlenir ise buradan çıkarılacak sonuç bilgilerin yoğun tekrar ile örgütsel belleğe daha çok dönüştüğü başka bir deyişle daha çok bilginin öğrenilmesine ihtiyaç duyulduğu anlamına gelecektir. Aşağıdaki şekilde beyin taramasındaki ağ-bağ ilişkilerinin gösterilmektedir. Çizgilerin kalınlığı ile ifade edilmek istenen bağlantının tekrar sayısının artmasıdır. Dolayısıyla Şekil 6'da öğrenme ile belleğin oluştuğu bölgeler gösterilmektedir.

belleğe kaydedilmesi ile ilgili süreç farklılaşabileceği öngörülerek aşağıdaki öneri sunulmaktadır.

Şekil 7. Öğrenme Eğrisi



Kaynak:

https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/56123/mod_resource/content/0/13_%C3%B6%C4%9Fre nme.pdf, (Görüntüleme: 18.09.2021)

Öneri 3: *Endüstri 4.0'a geçiş ile örgütsel belleklerin oluşması için gereken süre değişir.*

Yukarıdaki önerilerin bilgisayar ortamında simülasyonu ile yinelemeli deneylerle örgütsel öğrenme, örgütsel belleklerin öz oluşumu ve öz örgütlenme gibi kavramlar üzerinden Endüstri 4.0'a geçmenin avantajlı ve dezavantajlı yönlerinin tartışılmasına olanak sağlayabilecek bilgilerin elde edilmesi amaçlanmaktadır. Bunun için araştırmaya uygun bir KOBİ vaka olarak seçilmiş ve ortaya atılan öneriler simülasyon ortamında kurgulanan model üzerinden gözlemlenmiştir. Seçilen vaka ve araştırma için uygun görülen model üçüncü bölümde anlatılmaktadır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

Araştırmanın üçüncü bölümünde araştırma evrenini oluşturan KOBİ'lere dair bilgi verilmekte, vaka olarak seçilen KOBİ'nin neden araştırmaya uygun bir örnek teşkil ettiği açıklanmaktadır. Ayrıca bu çalışmanın neden modelleme mantığıyla yapıldığı anlatılmakta ve yöntem olarak modelleme ve simülasyon analizinin alan yazında nasıl kullanıldığı, simülasyon analizi tekniklerinin zamanla ne yönde değiştiğinden bahsedilmektedir. Bu çalışmada kullanılan ajan temelli modellemenin ayırıcı özellikleri vurgulanmakta ve kullanılan NETLOGO yazılım programının temel çalışma prensibi anlatılmaktadır.

3 YÖNTEM ve ANALİZ

Ajan temelli modelleme, bireysel araçların davranışlarını ve etkileşimlerini modelleyerek örgütler gibi karmaşık sistemlerin simülasyonuna izin veren hesaplamalı bir yaklaşımdır. Örgütsel öğrenme ve örgütsel bellek bağlamında, ajan tabanlı modelleme, koordinasyon ağlarının oluşumu ve evrimi ve örgütsel öğrenmenin örgütsel bellek üzerindeki etkisi gibi sistemin dinamik ve ortaya çıkan özellikleri hakkında bilgi sağlayabilmektedir. Çalışanlar, gruplar ve departmanlar gibi bireysel araçların davranışları modellenerek, koordinasyon ağlarının oluşumunu ve evrimini yönlendiren mikro düzeydeki süreçler ve bu ağların örgütsel bellek ve öğrenme üzerindeki etkisi gözlemlenebilmektedir. Ek olarak, ajan temelli modelleme ile örgütsel yapı veya kültürdeki değişiklikler gibi çeşitli müdahalelerin örgütsel öğrenme, koordinasyon ağları ve örgütsel bellek arasındaki ilişki üzerindeki etkilerini araştırmak da mümkündür.

Genel olarak, ajan temelli modelleme, örgütsel öğrenme, koordinasyon ağları ve örgütsel bellek arasındaki ilişkiyi modellemek için yararlı bir yaklaşım görülmektedir, çünkü sistemin dinamik ve kendiliğinden oluşan özelliklerini

yakalamak ve çeşitli müdahalelerin sistem üzerindeki etkisini keşfetmeyi sağlayan bir araçtır. Araştırmanın yönteminin anlaşılması için modelleme mantığının olguları nasıl ele aldığı, neden simülasyon modellemeyle bu çalışmanın yürütüldüğü bu kısımda anlatılmaktadır.

Kullanılan yöntemin etraflıca ele alınmasının ardından örneklem üzerinden seçilen iki hatta iş akışları ve hattın işleyişi görselleştirilmiştir. Bunun üzerine her iki hat için hem mevcut Endüstri 3.0 için hem de Endüstri 4.0'a geçiş için koordinasyon ağlarında durum analizleri yapılarak kavramsal model geliştirilmiştir. Kavramsal modelin ardından seçilen vakadan elde edilen veriler üzerinden bilgisayar kodlaması yapılarak farklı senaryolar üzerinden bilgisayarlı simülasyon modelleri kurgulanmıştır. Simülasyon modelleri hem mevcut durum için hem de E4.0'a geçiş sonrası için tekrarlanmış ve karmaşık örgüt yapısının oluşum süreci her iki durum için de gözlemlenmiştir. E4.0'a geçişte öz örgütlenmelerin ve öz oluşumların nasıl farklılaştığı süreç üzerinden görselleştirilerek bulgular analiz edilmiştir. İlk olarak araştırma evreni çizilmiş ve örnek olarak seçilen vaka anlatılmıştır.

3.1 Araştırma Evreni

Araştırma evrenini, Türkiye'de imalat sektöründe faaliyet gösteren ve Endüstri 4.0'a geçiş yapması devlet tarafından teşvik edilen teknoloji yoğun KOBİ'ler oluşturmaktadır. 2003 Stratejik Eylem Planı'ndan beri KOBİ'lerin sanayideki verimliliğini artırarak yurtiçindeki KOBİ'leri AB'de faaliyet gösteren KOBİ'lerle yakın seviyelere getirmeyi hedefleyen Türkiye, teşviklerde önceliği gerek yurtiçinde gerek yurtdışında hayatta kalma şansı yüksek olan ve sanayinin gelişmiş olduğu bölgelerde faaliyet gösteren işletmelere vermeyi uygun görmüştür (OECD, 2004). Bu nedenle araştırmanın sanayinin lokomotif konumundaki İstanbul'da yapılmasına karar verilmiştir.

Endüstri 4.0'ın gelişimiyle birlikte, üretim yapan teknoloji yoğun sektörlerdeki KOBİ'ler, çizilen yol haritasının odağı haline gelmiştir. Avrupa İstatistik Ofisi (EUROSTAT)'ın 2019 yılında güncellenen NACE REV 2 raporunda Avrupa'daki bütün ekonomik aktiviteler sınıflandırılmış, imalat sanayi sektörleri de teknoloji yoğunluğuna göre kategorize edilmiştir. Rapora göre imalat sanayi sektörleri; yüksek, orta-ileri, orta-düşük ve düşük teknoloji olarak dört sınıfa ayrılmıştır.

Hava ve uzay sanayi ile ecza sektörünün yanında elektronik ve optik ürünlerin imalatı, teknolojinin en yoğun olduğu sektörler olarak belirlenmiştir. Araştırmaya konu olacak sektörün seçilmesinde EUROSTAT'ın raporu dikkate alınmıştır. TÜİK 2019 verilerine göre, KOBİ'lerin, imalat sanayide, ileri teknoloji sınıfında yer alan sektörlerle göre dağılımı Tablo 8'deki gibidir. Tabloda görüldüğü gibi, havacılık ve elektronik endüstrilerinde istihdam oranı eşittir. Ancak Havacılık endüstrisi toplam verileri tam olarak tespit edilememiştir. Bu durum daha önceki yıllar için de söz konusudur.

Tablo 8. KOBİ'lerin İmalat Sanayinde İleri Teknoloji Sektörlerine Göre Dağılımı

Ekonomik faaliyet (NACE Rev.2)	Büyük­lük grubu	Ciro	Yüzde	Ücretli Çalışan Sayısı	Yüzde
TÜRKİYE	Toplam	8 940 593 564 475	100%	12 989 551	100%
	KOBİ	4 506 756 941 846	50%	8 662 465	67%
İMALAT SANAYİ (İLERİ TEKNOLOJİ)	Toplam	2 523 560 478 980		3 786 144	
	KOBİ	906 269 053 397	36%	2 274 494	60%
Temel Eczacılık ürünlerinin ve eczacılığa ait malzemelerin imalatı	Toplam	32 428 784 238		38 975	
	KOBİ	4 079 007 050	13%	8 162	21%
Bilgisayarların, elektronik ve optik ürünlerin imalatı	Toplam	38 625 412 421		42 546	
	KOBİ	7 540 064 257	20%	16 299	38%
Hava ve uzay araçları ile ilgili makinelerin imalatı	Toplam	c		44 873	
	KOBİ	5 661 298 249		17 190	38%

Kaynak: TÜİK, Küçük ve Orta Büyüklükteki Girişimler, 2019,

<https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=sanayi-114&dil=1> verilerinden düzenlenmiştir.

Birinci aşamada, verilere ulaşma sorunu sebebiyle havacılık endüstrisi araştırmaya konu sektörler arasından elenmiştir. İkinci aşamada, eczacılık endüstrisinde KOBİ'lerin payının elektronik sektörüne göre daha düşük olması ve aynı zamanda, küresel ölçekte ileri teknoloji endüstrileri içinde en büyük sektör olması sebebiyle; E.4.0'a geçişte TÜBİTAK ile Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın ileri teknoloji gerektiren odak sektörler arasında sınıflandırdığı elektronik ve optik

sektörünün, Türkiye’deki KOBİ’ler bağlamında araştırmaya konu edilmesi daha uygun görülmüştür.

Türkiye’de imalat sektöründe faaliyet gösteren KOBİ’lerin teknoloji düzeylerine göre dağılımı ise TABLO 5’teki gibidir. Tablo 9’a göre, imalat sanayide faaliyet gösteren işletmelerin %99’u KOBİ’lerden oluşmaktadır. Sektörde çalışan kayıtlı işçilerin de %60’ı KOBİ’ler bünyesinde çalışmaktadır. Bu bakımdan Türkiye’nin sanayisini KOBİ’lerin şekillendirdiği söylenebilir. Ancak teknoloji sınıflandırmasına bakıldığında, KOBİ’lerin ağırlıklı olarak, düşük ve orta-düşük teknoloji kullanan işletmelerden oluştuğu gözlemlenmektedir (<https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=sanayi-114&dil=1>, Görüntülenme: 10.01.2021).

Tablo 9: KOBİ’lerin İmalat Sanayinde Teknoloji Düzeylerine Göre Dağılımı

İmalat Sanayinde Büyüklük Grubu ve Teknoloji Düzeyine Göre Temel Göstergeler (TL)					
Yıl	Büyüklük grubu	Teknoloji Düzeyi	Girişim Sayısı	Ciro	Ücretli Çalışan Sayısı
2019	Türkiye	Toplam	403 018	2 523 560 478 980	3 786 144
		İleri teknoloji	2 234	85 578 241 468	98 439
		Orta-ileri teknoloji	42 952	646 192 529 707	725 453
		Orta-düşük teknoloji	128 615	820 997 674 501	1 017 792
		Düşük teknoloji	229 217	970 792 033 304	1 944 460
	KOBİ	Toplam	400 352	906 269 053 397	2 274 494
		İleri teknoloji	2 153	12 230 776 468	26 244
		Orta-ileri teknoloji	42 393	177 266 696 782	367 733
		Orta-düşük teknoloji	127 895	273 491 287 592	655 390
		Düşük teknoloji	227 911	443 280 292 555	1 225 127

Kaynak: TÜİK, küçük ve orta büyüklükteki girişimler, 2019, <https://data.tuik.gov.tr/kategori/getkategori?p=sanayi-114&dil=1> verilerinden düzenlenmiştir.

Kalkınma Bakanlığı’nca 2019-2023 yılları için hazırlanan 11. Kalkınma Planında Elektronik Sanayii Çalışma Grubu’nun hazırladığı raporda (2018), elektronik sanayi içinde hali hazırda E4.0’a geçiş yapmış olan işletmelerin oranı %44’tür. 2023’e kadar bu oranın %77’ye çıkması planlanmaktadır. Elektronik sanayii, ileri teknoloji endüstrisinde ihracatın da en yüksek olduğu sektördür. Türkiye’nin ihracattaki payı

%3,5 civarındadır. Elektronik sektöründe E4.0'a hızla geçilmesi ve ihracat oranının artması için devlet teşviklerinin artması ve kapsamlarının genişletilmesi kalkınma planının ana hedefi olarak belirtilmiştir. Endüstri 4.0'a geçiş maliyetleri çok yüksektir. KOBİ'lerin bu maliyetleri karşılamaları oldukça zordur. Ancak, Türkiye'deki girişimlerin ve imalat sanayideki işletmelerin büyük çoğunluğunu KOBİ'ler oluşturmaktadır. Bu nedenle, dijital dönüşümde dünyanın gerisinde kalmamak için KOBİ'lere kredi olanakları sağlanması gerekmektedir. Elektronik sektöründe Türkiye'deki işletmelerin çoğu ürünleri dışardan temin edip yurt içinde tasarım yaparak, yurtiçi pazarda satış yapmaktadır. Bu döngüyü kırabilmek için elektronik ürünlerin Türkiye'de üretilmesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle, elektronikte yerli üretim yapan KOBİ'lerin Eximbank'tan kredi kullanabilmesi olanağı yaratılmıştır (11. Kalkınma Planı, 2018).

Araştırmanın örneklemini olarak, 11. Kalkınma Planı kapsamında devletin E4.0'a geçişe doğrudan teşvik ettiği ve desteklediği işletmelere model teşkil edecek, elektronik sektörü içinde E4.0'a henüz geçmemiş olan KOBİ'ler arasından seçim yapılmıştır. Seçim, dijital dönüşüm için katlanacağı maliyete rağmen yüksek avantaj sağlayabilecek ve 2004 OECD raporunda belirtildiği gibi, herhangi bir teşvik almadan da yurt içinde ve yurt dışında faaliyetlerini sürdürebilecek finansal ve teknolojik altyapısı bulunan işletmeler arasından yapılarak, teşviklerden yararlanabilmesi için de kendi üretimini ve tasarımını yapabilen bir KOBİ'nin seçilmesine karar verilmiştir. Bu amaçla, elektronik sektöründe İstanbul ilinde İkitelli Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyet gösteren bir KOBİ ile pilot çalışma yapılmıştır. Elektronik sektörde faaliyet gösteren, 45 çalışanı bulunan ve nispeten küçük ölçekli olan KOBİ'nin dünya genelinde yaşanan çip krizinden etkilenmesi ve üretiminin uzun süre durma noktasına gelmesi sonucu, araştırmanın bu gibi krizlerde kapasite sorunu nedeniyle darboğaza girmeyecek ölçek genişliğinde ancak yine de seri üretimin standardizasyon tuzağına da düşmeyecek esnekliğe sahip orta ölçekli bir KOBİ üzerinden sürdürülmesinin daha uygun olduğu anlaşılmıştır. Beylikdüzü Organize Sanayi Bölgesi'nde yine elektronik sektöründe faaliyet gösteren bir KOBİ aranan özellikleri taşıması sebebiyle araştırmanın örneklemini olarak belirlenmiştir.

3.2 Araştırma Sorusu

Araştırma iki temel soru etrafında şekillenmiştir. E4.0'a geçişte bilgi depolarının oluşturduğu "koordinasyon ağı"nın (McGrath vd., 2000) yapısı nasıl değişir? Teknoloji yoğun KOBİ'ler E4.0'a geçiş sürecinde örgütsel bilginin daha etkili aktarımı için örgüt tasarımlarında hangi değişiklikleri yapabilir? E4.0 bileşenlerinin işletmeye uygulandığında örgütsel bilgi depolarında depolanan ve aktarılan bilginin nasıl bir ağ yapısı oluşturduğunu anlamak için, öncelikle E4.0 bileşenleri uygulanmadan önceki ağ yapısının bilinmesi gerekmektedir. Bu sebeple araştırma henüz E4.0'a geçmemiş bir işletme üzerinden sürdürülmelidir. İşletmenin mevcut koordinasyon ağının tespiti ile mevcut örgüt tasarımı belirlendikten sonra, E4.0'a geçerse nasıl bir tasarım yapması gerektiğini önceden görebilmesine olanak tanıyan bir model geliştirilecektir. İmalat sanayide ileri teknoloji üreten işletmeler, bu modele göre örgüt yapılarının E4.0'a geçişte değişimini gözlemleyerek yatırımlarını ona göre şekillendirebilir ve oluşabilecek yeni model senaryolarının önceden maliyetlerini hesaplayabilirler. Aynı zamanda Endüstri 4.0 ile işletme en etkin çalışma düzenine geçeceğinden örgüt tasarımlarının etkinliğini kıyas yoluyla ölçme şansı elde edebilirler.

3.3 Neden Model – Neden Simülasyon?

Sosyal bilimciler çoğunlukla gerçekliği açıklamak yerine anlamaya çalışırlar. Bu yüzden, bir şeyin "neden" o şekilde olduğunu ya da o şekilde olmasının nelere bağlı olduğunu anlamak için uğraşırlar. Ancak; "neden" yerine "nasıl" diye sormaya başladığımızda, olayları tamamen farklı bir paradigmadan görürüz. Bu, artık önceden belirlenmiş bir fenomenin nedenlerini veya fenomenin bundan veya şundan etkilenip etkilenmediğini araştırmadığımız anlamına gelir. Sıralı lineer ilişkileri de takip etmiyoruz demektir. "Nasıl" diye sorduğumuzda, gözlemlediğimiz gerçekliği olduğu gibi kabul etmiş ve bunun nasıl geliştiğini merak etmiş olmalıyız. "Nasıl" olduğunu keşfedebilmek, fenomenin uzun süre gözlemlenmesini ya da gözlemi tekrar tekrar yapmayı gerektirir. Böylece bir örüntü varsa yakalamayı başarabiliriz. Ki eğer bir örüntü varsa, bunu basit kurallarla açıklayabilir miyiz? Bu kuralları diğer örüntüleri anlamaya yardımcı olmak için kullanabilir miyiz? Hepimiz çoğu bilimsel araştırmada basitleştirme ve genelleme yapmanın yollarını aramıyor muyuz?

Modeller sayesinde karmaşık sistemlerdeki gereksiz ayrıntıları dışarda bırakarak doğrudan araştırdığımız konuya odaklanabilmek, basitleştirme ve genelleme yapmak

mümkündür. Tıpkı haritalar gibi modeller de karmaşık dünyanın basitleştirilmiş yansımalarıdır. Bu sebeple, yol haritalarına benzer şekilde, modeller kalabalık insan gruplarının karmaşık gerçekliği kolayca anlayabilmesine yardımcı olmaktadır (Miller ve Page: 36-37).

Modelleme yapanlar tümdengelim mantığı yürütüyor gibi görünseler de gözlemlenen olgudan yola çıkarak, gerçekliğin basitleştirilmiş bir temsili ile olası en makul sonuca ulaşmaya çalışırlar. Gözlemlenen olgu sınırlı bir rasyonellik (bounded rationality) barındırmaktadır. Buradan hareketle üretilecek varsayımlar genel geçer doğrulara ulaşmak yerine olası en iyi sonucun çıkarımında bulunmayı sağlar. Bu akıl yürütme mantığına abdüksiyon (dışaçekim, heptengitmeli) denilmektedir. Ancak gözlemlenen sosyal gerçeklik üzerine yeni varsayımlar üretildiği için üretici sosyal bilim adıyla sosyal bilimlerde yer bulmuştur (Epstein, 2006: 10-12). Bu mantık iki sebeple tümdengelimden farklılaşmaktadır. Birincisi bir dizi varsayımından çıkarımda bulunma işini bilgisayar programının yetkinliğine güvenmekten dolayıdır. İkincisi de sorunun mantık yapısındaki rastlantısal olduğu düşünülen unsurlardan kaynaklanmaktadır (Miller, 2015: 180-181). Modellemeyi özellikli kılan başlangıcından itibaren, modelin araçlarının kullanılmasının, modelle ilgili kuramın ya da fenomenin bağdaştırılmasının biz dizi permütasyon sayesinde çok sayıda deney yaparak deneme yanılma yoluyla süreç üzerinde öğrenilmesidir. Modellemeyi yapan çıktıları yorumlayarak başa döner ve kod yazılımını yineler. Makul bir sonuç alınana kadar süreç yinelemeli olarak deneylerle devam eder (Mäki, 2011).

Alman Federal Hükümeti'nin Eğitim ve Araştırma Bakanlığı sponsorluğunda bir araya gelen Endüstri 4.0 Çalışma Grubu'nun, Kagermann, Wahlster ve Helbig önderliğinde kaleme alınan 2013 yılı final raporu, stratejik girişimler için E4.0'a geçiş önerilerinden oluşan bir yol haritası sunmaktadır. Eyleme geçmek için öncelikli alanlar olarak belirlenmiş konular arasında karmaşık sistemleri yönetmek başlığı da yer almaktadır. Ürünlerin giderek kişiye özel hale gelmesi, dinamik teslimat ağlarının oluşması ve farklı teknik disiplinlerin bütünleşmesi ile farklı iş kollarında hızla gelişen stratejik iş birliklerinin, üretim sistemlerini giderek daha karmaşık yapılara dönüştürdüğü ifade edilmiş; artan karmaşıklığın, gerçek ve varsayıma dayalı senaryoların modellenmesi ile daha kolay çözümleneceği belirtilmiştir. Mühendislik hesaplamalarını ve tekrar gerektiren rutinleri, bilgisayar programıyla modellemenin

bir yandan araştırmayı hızlandırırken, diğer yandan fiziki dünyada gerçekleşmesi beklenen olayların dijital ortama aktarılmasına da olanak sağladığı vurgulanmıştır.

Raporda ayrıca riskin önceden belirlenmesi, sistemin taleplerinin ve bu taleplere olası çözüm yollarının erken teşhis edilmesi bakımından modellerin büyük potansiyele sahip olduğu dile getirilmiş ve modellemenin E4.0 için merkezi önem arz ettiğine değinilmiştir (Kagermann vd., 2013: 42-43). Bu sonuç raporundan anlaşılacağı üzere, girişimcilere E4.0 yol haritası çizebilmek için modellemelerden faydalanmak büyük avantaj sağlamaktadır.

Dördüncü sanayi devriminin en belirgin iki bileşeni siber-fiziksel sistemler ile akıllı fabrikalardır; ki akıllı fabrikalar da fiziki ve sanal dünyayı bağlayabilen fabrikalar olduğu için, siber-fiziksel sistemlerin doğal bir sonucudur. Fabrika içindeki fiziki süreçlerin işleyişi hakkında verilerin toplanması, analiz edilmesi, sentezlenmesi ve bilginin sayısal hale getirilmesi fiziksel dünyanın sanal aleme aktarılabilmesini sağlar. Bu aşamada, fabrikanın fiziki süreçleri dijitalleşerek siber dünyanın algoritmaları içinde kullanılabilir veriler haline gelmektedir. Böylece, siber alemde kurulan algoritmalar sayesinde fiziksel dünya yönetilebilmektedir. Bu süreç birçok teknolojinin iç içe geçtiği oldukça karmaşık bir süreçtir. Bu sebeple, bu karmaşık sürecin her aşamasında değer yaratmak adına; siber-fiziksel sistemler geliştirilirken tasarım, deney, değerlendirme ve eğitim aşamalarının her birinde simülasyon kullanılmaktadır. Dijital ikiz (digital twin) oluşturma, artırılmış gerçeklik (augmented reality -AR) / sanal gerçeklik (virtual reality -VR) yaratma, eklemeli imalat gibi teknolojilerde açık bir şekilde simülasyon kullanılırken; robotik, nesnelerin interneti (internet of things- IoT) ve analizlerde örtük olarak simülasyon kullanılmaktadır. Simülasyon E4.0'a geçişte kullanılan bağlantılı teknolojilerin çoğunda itici bir güçtür.

Simülasyon için geliştirilen birçok araç vardır. İlk kez 70 yıl önce bir sistemin simülasyonuna imkân sağlayan Ayrık Olay Simülasyon metodu (discrete event simulation-DES) bugün de hala kullanılmaktadır. 1960'larda geliştirilen sistem dinamikleri metodu (system dynamics-SD) da sanayide halen uygulanmaktadır. Farklı sistemlerin farklı düzeylerinde karmaşıklığı azaltmak için birden çok simülasyon tekniğini hibrid olarak uygulamak da mümkündür. Operasyonel yönetim seviyesinde E4.0 uygulamalarında gerçek zamanlı karar vermeye yardımcı olmak amacıyla

simbiyotik simülasyon metodu (symbiotic simulation system-S3) kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra, yeni bir simülasyon tekniği olan nesneye odaklı bir yazılım olarak; kendi kendine hareket edebilen ajanların sanal ortamda programlanarak, birbirleriyle olan ilişkileri sonucunda gerçek hayattakine benzer davranışların ortaya çıkışını gözlemleyen ajan temelli modelleme de üretim işletmelerinde uygulanmaya başlanmıştır. Özellikle E4.0 uygulamaları gibi kendi kendini yönetebilen sistemler için kullanışlı bir model olduğu düşünülmektedir (Günel, 2019: 282-283).

Kagermann vd. (2013: 42-43) mühendislik gerektiren *şematik planlama modelleri* ile sistem hakkında bilgi edinmeyi sağlayan *açıklayıcı modeller* olarak iki tip modelin uygulanabileceğinden bahsetmiştir. Genellikle tasarım tercihlerini değerlendirmek için kurgulanan simülasyon modellemeleri de kapsayan açıklayıcı modellerin, gerçek dünyadaki davranışlardan ve etkileşimlerden yola çıkarak kurgulandığını ve bu modelleme vasıtasıyla gerek tasarım ve geliştirme aşamasında gerek üretim aşamasında faydalı tahminler geliştirilebileceğini savunmuştur. KOBİ'ler için modelleme yapmanın güçlüğünü de göz ardı etmeyerek, E4.0'a geçiş aşamasında, olası senaryoları öngörebilmek adına bilgisayarlı modellemelerin kullanılmasını öncelikli eylemler arasında tavsiye etmiştir. Bu tavsiyeler ışığında, bilgisayar temelli simülasyon programı kullanılarak E4.0 uygulamaları sonrasında, bilginin depolandığı ve aktarıldığı faktörler olan örgüt üyeleri, örgütsel görevler ve kullanılan araçlar arasında kurulan ağ ilişkilerinin nasıl değişebileceğini olası senaryolarla göstermek, E4.0 araçları arasındaki etkileşimle bilginin nasıl depolandığını anlatarak, KOBİ'lerin bilgiyi öğrenme, öğrenmeme, hatırlama, unutma tercihlerinde kullanmaları için yol haritası oluşturmak, simülasyonlar sonucu ortaya çıkan değişimler ışığında, KOBİ'lerin E4.0'a geçerken örgüt yapılarını nasıl tasarlayabileceklerine dair model önerisi sunmak amaçlanmıştır.

Türkçe işletme alan yazınında karmaşık sistemlerin modellemeleri konu alan araştırmalar açısından bir boşluk olduğu bu çalışma kapsamında yapılan kavramsal çerçeve incelemesi ile ortaya konmaktadır. Çalışma, karmaşık sistemlerde simülasyon yöntemi ile modelleme gerçekleştirme ve bu modelleme ile örgütlerde bilgi aktarım süreçlerini gözlemleyebilme amaçlarını gerçekleştirerek söz konusu alan yazın boşluğunu kapatmaya yönelik katkı sağlamayı hedeflemektedir.

3.4 Neden Ajan Temelli Modelleme (ATM)?

2010 yılında Birleşik Krallık Yöneyim Araştırmaları Topluluğu tarafından bir panel düzenlenmiştir. Panelde; yöneyim araştırmalarında uzun yıllardır yaygın olarak kullanılan ayırık olay simülasyonu yerine 90larda yaygınlaşan ajan temelli modellemenin kullanılmasının pozitif ve negatif yönleriyle tartışılmıştır. Hangi disiplinlerde, hangi sorulara cevap ararken bu yöntemlerden birini ya da diğerini seçmenin araştırılan olgunun açıklayıcılığını artıracak yönündeki fikirler ortaya konmuştur.

Tablo 10. Niteliklerine Göre Model Tipleri

Ayrık Olay Simülasyonu Modeli	Ajan Temelli Simülasyon Modeli
Süreç odaklı (yukarıdan aşağıya); birimlerin değil sistem detaylarının modellenmesi	Birey temelli (aşağıdan yukarıya); birimlerin ve aralarındaki etkileşimin modellenmesi
Yukarıdan aşağıya modelleme yaklaşımı	Aşağıdan yukarıya modelleme yaklaşımı
Tek bağlı kontrol (merkezi)	Her ajanın kendi kontrol bağı (ademi-merkezi)
Pasif birimler; birimler sistemden etkilenen ve sistem tarafından şekillenen sistemin bir parçası olarak modellenir. Örneğin; “Zeka karar vermede sistemin bir parçasıdır.”	Aktif birimler, herhangi bir şeyi yaparken birimler kendileri girişimlerde bulunurlar. Örneğin; “Birimler bireysel olarak zekaya sahiptir.”
Sıralama; modelin temel konsepti belli bir sıranın takip edilmesi	Sıralama yok; belli bir sıra takip edilmez.
Birimlerin sistem doğrultusunda akışı; makro davranışlar modellenir.	Akış konsepti yok; makro davranışlar bireysel ajanların mikro kararları sonucu kendiliğinden ortaya çıkar.
Girdilerin dağılımları genellikle nesnel verilere dayanır.	Girdilerin dağılımları genellikle kuramlara ve öznel verilere dayanır.

Kaynak: Siebers, vd., (2010; 207).

Panelistlerin fikirlerinin yanı sıra katılımcıların fikir ve eleştirileri de değerlendirmeye alınmıştır. Panelde ayrıca tüm panelistlerin mutabakatıyla ajan temelli modellemenin ayırık olay simülasyonundan temel farklılıkları ve yöntemlerin ontolojik olarak ayrıldığı hususlar belirlenmiştir (Siebers, Macal, Garnett, Buxton, Pidd, 2010). Tablo 10 iki model arasındaki farkları göstermektedir.

Panel konuşmacılarından Charles Macal ajan temelli modelleme yöntemi ile çalışılan 20 makaleyi incelemesi sonucunda, bu yöntemin belirli sorulara yanıt ararken

ayrık olaylar simülasyonu ya da sistem dinamiklerinin kullanılmasından daha açıklayıcı olacağını iddia etmiştir. Macal'a göre;

- çok çeşitli bir popülasyon içinde bireysel davranışlarının modellenmesi amaçlandığında,
- ajanların birbirleriyle dinamik etkileşimler kurduğu yapılandırılmış ilişkilerde veya sosyal ağların olduğu durumlarda,
- bireysel ajanlarının davranışlarının ve hareketlerinin içinde bulundukları mekana bağlı olduğu durumlarda,
- ajanların veya popülasyonların öğrenmeleri ve uyum sağlamaları söz konusu olduğunda,
- ajanlar karar verirken diğer ajanların tepkilerine göre stratejik davranışlar geliştirdiğinde,
- ajanların işbirlikleri, anlaşmalar ve örgütsel yapılar geliştirmesinin modellenmesinin önem arz ettiği durumlarda,
- önceden var olamayan yeni pazarların ortaya çıkması gibi geçmişe bakılarak geleceğin tahmin edilemediği durumlarda,
- süreçte oluşacak bir yapısal değişikliğin modelin değişkenlerinden biri olmasından ziyade yapısal değişimin modelin sonunda ortaya çıkması beklendiğinde

araştırılan fenomen ajan temelli modelleme vasıtasıyla daha iyi açıklanabilmektedir (s.205). Macal'ın yöntem olarak ATM kullanılmasını tavsiye ettiği araştırma soruları değerlendirildiğinde; bu çalışmada örgüt içi öğrenme yoluyla etkileşimler doğmasından ve bu etkileşimlerden bilginin aktarıldığı sosyal bir ağ örüntüsünün oluşmasından, oluşan sosyal ağın yeni sanayi devriminin getirdiği yeniliklerle değişip yeni bir örgütsel yapı oluşması olasılığının bulunmasından söz edebiliriz. Araştırmamız, önerilen alanlara birden fazla boyutta uymaktadır ve yöntem olarak ATM kullanmaya uygundur diyebiliriz.

Macal (2016), ilerleyen yıllarda da alan yazında farklı disiplinlerden ATM kullanılarak yapılan araştırmaları incelemeye devam etmiş ve araştırmalardaki ATM simülasyonlarını artan karmaşıklık düzeylerine göre dört kategoride tanımlamıştır. Birinci kategoride; ajanların her birinin çeşitli karakteristiklere sahip olduğu ayrı ayrı

temsil edildiği temel bireysel simülasyonlar yer alır. İkinci kategoride; herhangi bir zamanda model içinde oluşan durumları algılayabilen ve kendilerine özgü davranış kalıplarına göre değişen durumlara uygun davranışı sergileyen otonom ajanların bulunduğu simülasyon modellemeler söz konusudur. Üçüncü kategoride; diğer ajanlarla ve çevresiyle karşılıklı etkileşimlere giren otonom ajanların simüle edildiği modeller gelmektedir. Dördüncü ve karmaşıklık düzeyi en yüksek olan son kategoriye ise, diğer ajanlarla ve çevreyle etkileşimi sırasında öğrenen ve dolayısıyla karşılaşabileceği yeni durumlara göre davranışını değiştiren uyumcu otonom ajanların simüle edildiği modeller oluşturmaktadır. Bu çalışmanın konusunu teşkil eden örgütsel bilginin belleğe depolanması ve aktarılması süreci, örgütsel öğrenmeye bağlı olarak her defasında yeniden şekillendiğinden, karmaşık uyumcu bir sistemden bahsettiğimizi söylemek mümkündür. Macal'ın sınıflandırması göz önüne alınarak; bu çalışmadaki model dördüncü kategoride ele alınmış ve simülasyon kodlaması bu doğrultuda yapılmaya çalışılmıştır.

Ajan temelli modelleme (ATM) bilgisayarlı simülasyon yapma özelliğine sahip bir araç olarak gerek sosyal fenomenlerin gerek doğadaki fenomenlerin karmaşık yapısının temelinde yatan basit kuralların ve bu fenomenlerin zaman içinde değişimlerinin anlaşılmasında kullanılmaya başlanmıştır. ATM, karmaşıklık ve değişimi anlamlandırmak üzere geliştirilmiş, bilgisayarlı hesaplama araçlarını kullanarak, bilinen konuların erken dönemde daha iyi anlaşılmasına ve henüz deneyimlenmemiş konuların da önceden analiz edilmesine olanak sağlayan bir teknolojidir. Fioretti (2012: 227) ajan temelli simülasyon modelini kendi başına karar verebilen araçların örgüt içinde ve örgüt dışındaki üyelerle olan ilişkilerinin ve etkileşimlerinin yapay bir ortamda yeniden üretilmesi olarak tanımlamıştır. Epstein (1999, 2006) bilgisayar ortamında kurulan bu yapay ortamı, içinde kendilerine ait karakteristikleri, davranış biçimleri olan ve kendi kararlarını verebilen otonom ve heterojen ajanların bulunduğu karmaşık yapay bir toplum olarak ele almaktadır. Bu ajanlar davranışlarıyla çevreyi etkileyebildikleri gibi, çevrenin etkisiyle davranışlarını değiştirebilmektedir.

İncelenen durumun analitik olarak ele alınamayacak kadar karmaşık olduğu bir durumda, gerçek dünyaya benzeyen, ancak laboratuvar ortamında bütün parametrelerin tek tek kontrol edilebildiği daha az karmaşık yapay bir evren

yaratmakla sosyal gerçekliği sadeleştirerek açıklamak mümkün olabilmektedir. Burada; ajanların mikro davranışlarının simülasyonu ile makro fenomenler açıklanmaya çalışılmaktadır. Makro örüntüleri açıklayabilmek için sosyal gerçeklik içinde var olan kendine has özellikleri olan ve farklı davranışlar sergileyen ajanların her biri bilgisayar ortamında ayrı ayrı temsil edilmekte, karakterleri ve uzun süreli gözlemlerde sergiledikleri davranışları modellenmektedir (Drogul ve Ferber, 1994: 49-51). Her ajanın karakteristik yapısı oluşturulurken; algısına, öğrenme, uyum sağlama kabiliyetine, girişkenliğine, vereceği tepkilere, kuracağı iletişime vb. özelliklerine göre kendine has bir özellikler seti modellenebilir. Kendi kararlarını veren ajanların aynı zamanda bilişsel yetenekleri de olasılık modelleriyle, karar ağacı yöntemiyle, eğer fonksiyonlarıyla, yapay zekanın akıl yürütmesiyle ve sezgisel yöntemlerle modellemeye dahil edilebilmektedir. Ajanların birbirleriyle ve bulundukları çevreyle doğrudan veya dolaylı etkileşimlerini modelleyebilmek için kimin kiminle bağlı olduğunun bir topoğrafyası çıkarılmakta ve bu bağlantıların hangi yönlü olduğunun mekanizması oluşturulmaktadır. Ajanlar, karmaşık örgüt sistemlerinde olduğu gibi, sistemin etkileşimde oldukları birimleri ile bilgi alışverişi yaptığından sınırlı rasyonelliğe sahiptir ve sistemin bütünü bilememektedir. Burdurum karmaşık sistemin yapay ortamda gerçekçi bir temsilini modellenmesini olanaklı kılmaktadır (Gomez-Cruz, Saa, Ortega-Hurtado, 2017: 314-315). Gerçekliğin bir tasavvurunun yapay bir ortamda yeniden üretilmesi mantığı bilinen tündengelim ve tümevarım mantıklarından ayrılmaktadır. Etkileşimlerin her defasında yeniden üretileceğini iddia eden Epstein (1999, 2006) bu akıl yürütme yöntemine üretken (generative) mantık adını vermektedir.

Siebers vd.'nin (2010) bir panel düzenleyerek belirlediği yukarıda bahsedilen niteliklerden yola çıkarak, ATM, sosyal bilimlerde kavramsal olarak benzer özelliklere sahip olan sosyal ağ analizi ve oyun teorisiyle karşılaştırılarak çerçevelenebilir. Sosyal ağ analizi, ilişkilere odaklanmaktadır. 1979 yılında Tichy, Tushman ve Fombrun tarafından ilk ortaya konulduğunda sosyal ağ analizi, sosyal ilişkilerin yukarıdan aşağıya, yapıdan aktöre doğru açıklandığı yapısalcı mantıkla ele alınmıştır. ATM ise karmaşık sistemlerde oluşan networkun sosyal ağ analizinin bu ilk yaklaşımının tam tersine aşağıdan yukarıya, aktörden yapıya doğru şekillendiği varsayımından hareketle kurgulanan bir modellemedir. Ne var ki, 2000li yıllarda yapılan boylamsal sosyal ağ

analizi çalışmalarında, ağ oluşumunun aşağıdan yukarıya evrildiği dinamiklerin gözlemlendiği ve giderek ATM'ye yaklaşıldığı bilinmektedir. (Burk, Steglich ve Snijders, 2007; Snijders, van de Bunt ve Steglich, 2010). Boylamsal sosyal ağ analizinde klasik yapısalcı bakışın biraz dışına çıkılarak ağ analizi içine yerleştirilen aktörlerin davranışları açıkça belirtilmekte; ancak, odak noktası ağ içinde gelişen ilişkiler olarak korunmaktadır. ATM'nin boylamsal sosyal ağ analizinden tek farkı, ne kadar karmaşık olursa olsun aktörlerin bağımsız davranışlarının hesaba katılmasıdır. Yine de oluşan etkileşim ağlarının anlamlandırılması her iki yaklaşımın da konusudur. Bu açıdan, geleneksel, yapıdan aktöre yaklaşımını benimseyen sosyal ağ analizi, ajan temelli modelleme tarafından sunulan aktörden yapıya bakışa tamamlayıcı bir yaklaşım olarak görülebilir. Özellikle, yukarıdan aşağıya ağ ölçümlerini aşağıdan yukarıya ajan temelli ağ dinamikleriyle birleştiren boylamsal sosyal ağ analizi, yapı-aktör yaklaşımların verimli bir kombinasyonunu başlatabilir.

Öte yandan 1991 yılında Camerer tarafından temelleri atılan oyun teorisi, sosyal aktörlerin aşağıdan yukarıya etkileşimiyle ilgili ATM ile benzer bir perspektife sahiptir. Özellikle evrimsel oyunlar, çok sayıda aktör gerektirdiğinden ajan temelli modellemeye benzemektedir. Bununla birlikte, kapalı formda matematiksel açıklamalar arayan oyun teorisi, neredeyse her zaman dengeleri analiz etmekle sınırlıdır- bunun aksine, ATM, denge noktalarına ulaşmak kaygısı taşımamakta ve dengenin olduğu ve olmadığı bağlamları ayırt etmeksizin etkileşimlerin dinamiklerini araştırmaktadır. Ajan temelli modelleme ve oyun teorisi bu açıdan birbirlerinden uzaklaşmaktadır. Ajan temelli modelleme, örgüt kuramcılarının olası dengeler için herhangi bir endişe duymadan aşağıdan yukarıya, aktörler arası etkileşimleri yeniden üretmek için benzersiz bir araç sağlamaktadır. Oyun teorisinin aksine, sosyal ağ analizi, muhtemelen denge konfigürasyonlarına odaklanmak yerine ağ evriminin arkasındaki nedenleri vurguladığı için örgüt kuramcıları tarafından daha çok benimsenmiştir. Bundan yola çıkarak; yapısal dinamiklere odaklanma görüşünü paylaşan, aynı zamanda, mikro etkileşimleri ve makro davranışları içeren karmaşık problemlerin yapay dünyalarda yeniden üretilebildiği bir simülasyon felsefesi içeren ajan temelli modellemelerin de standart bir kurumsal araştırma aracı olarak kabul edilebileceği yargısına varılabilir (Fioretti, 2012).

Bir fenomen, ajan temelli modelleme ile matematiksel denklemlerle gösteriminden daha kolay anlaşılabilir şekilde resmedilmektedir. ATM, fenomeni, diferansiyel denklemlerle ve karmaşık matematiksel semboller kullanılarak göstermek yerine; ajan ismi verilen gözlemlenen olguların davranışlarını ve bu davranışların oluşmasındaki basit kuralları takip ederek doğal bir dille anlatmaktadır (Wilensky ve Rand, 2015, s.1-2). Daha genel bir ifadeyle, basit kuralların karmaşık davranışlara neden olabileceği ve bütünün parçaların toplamından daha büyük olabileceği mantığından hareketle, ATM, basit davranışları ve etkileşimleri benzeştirmekte (simülasyon), bireysel düzeyde ve grup düzeyinde olası karmaşık fenomenleri tahmin etmekte ve incelenen sosyal sistemin gelişimini bilgisayar ortamında göstermektedir (Smaldino, Calanchini, Pickett, 2015: 302).

Bir fenomenin veya fenomen grubunun davranışlarındaki değişimin çevreye etkisinin semboller ve şekillerle görsel bir model olarak kurgulanması, modelin herkes tarafından kolaylıkla anlaşılabilir ve kullanılabilir olmasına olanak vermektedir. Burada amaçlanan, ajan temelli modelleme ile matematiksel modellemelerin yerini almak değil, daha çok matematiksel modellerin tamamlayıcısı olmaktır. Çözülebilir bir denklemde doğrudan matematiksel sonuca gitmek mantıklıdır. Ancak; gözlemlenen olgu sayısı arttıkça ve olgular homojen özellikler sergilemiyorsa; varsayımlar da artacak ve hızlı hesap yapabilmek için varsayımları basite indirgemek gerekecektir. Nihayetinde; formülü hesaplamak, ajan temelli model geliştirme ile aynı zamana denk gelebilecektir. ATM kullanım kolaylığı sağlamakla birlikte, diferansiyel hesapların görsel bir modelle aktarılması düşüncesi, matematiksel modellemenin daha geçerli olduğu gerekçesiyle birçok eleştiriye de maruz kalmaktadır. Unutulmamalıdır ki; matematiksel modellemeler de gerçekliğin sembollerle ifade edilerek anlaşılmasını sağlamaya çalışan birer modeldir. Her zaman modellerin gerçekliği birebir yansıtamama ihtimali bulunmaktadır (Wilensky ve Rand, 2015, s.15-18).

ATM örgüt teorisine katkı sağlayabilme potansiyeline sahiptir. Ne var ki; yönetim ve örgüt araştırmacıları tarafından pek rağbet görmemiştir. Bununla beraber; örgüt kuramının geliştirildiği ilk yıllarda Cohen, March ve Olsen (1972) karar vermede çoğunluk tarafından kabul gören çöp sepeti modelini ATM sayesinde geliştirmiştir. Takip eden yıllar içinde modelleme yaparak kurama katkı yapan çalışma oldukça azdır. 1990ların başında March'ın (1991) ATM ile keşif-sömürü modelini

geliştirilmesinin ardından sosyal gerçekliğin nasıl çalıştığını modelleme yoluyla anlama gayreti yeniden örgüt çalışmalarında görülmeye başlanmıştır. March'ın örgüt çalışanlarının öğrenme hızının çevreye adaptasyonunu incelediği çalışmasında, öğrenme-adaptasyon sürecinin kısa ve uzun dönemde nasıl farklılaştığını simülasyonla ortaya koyması 1990lardan günümüze kadar birçok araştırmacıya ilham kaynağı olmuştur. ATM'nin kullanıldığı ve örgüt teorisinde kuram geliştirme ve sınama hususunda en yaygın etkiyi yaratan bir diğer öncü araştırma da Levinthal'in (1997) peyzaja uygunluk modeli olarak bilinen çalışmasıdır. Bu çalışmada Levinthal örgütü, birçok boyuttan ve bu boyutların çoklu etkileşimlerinden oluşan karmaşık sistem olarak ele almakta ve bu karmaşıklığın örgütsel performansı nasıl etkilediğini anlamaya çalışmaktadır. Sözü geçen üç çalışma da sezgisel anlamlandırma (heuristic) yöntemini örgüt çalışmalarına katması bakımından da önemlidir (Miller, 201; 175-176).

Tablo 11. Yönetim ve Örgüt Çalışmalarında Ajan Temelli Modelleme

Konu	Alan							
	Örgütsel Davranış	Stratejik Yönetim ve Karar	AR-GE	Operasyon ve Lojistik	Pazarlama	İK	Eğitim	Diğer Alanlar
	Örgütsel değişim	Genel	Genel	Operasyon	Geleneksel pazarlama	Genel	Genel	Proje yönetimi
	Örgütsel öğrenme			Sağlık lojistiği	Dijital pazarlama			Kamu yönetimi
	Örgüt tasarımı			Üretim	Sosyal pazarlama			Sosyal sorumluluk
	Örgüt psikolojisi			Tedarik zinciri	Yeniliklerin yayılması			Girişimcilik
				Taşımacılık	Genel konular			
Pay	14%	7%	8%	37%	17%	2%	3%	12%

Kaynak: Gomez-Cruz vd., 2017: 316.

Epstein'in (2006) Üretken Sosyal Bilim (Generative Social Science) kitabının ardından "bilgisayar" ve "sosyal bilim" kavramları daha çok yan yana kullanılmış bilgisayarlı örgüt kuramı, bilgisayarlı yönetim gibi tabirler de yazında geçmeye başlamıştır. Yönetim ve örgüt çalışmalarında bilgisayar ortamında simüle edilmiş ajan temelli modeller 2000'li yıllarda artış göstermiştir (Gomez-Cruz vd., 2017: 315). 2000-2016 arasında Academy of Management'ın kategorizasyonuna göre Scopus'da

endekslenmiş çalışmalar ile seçilmiş kitaplar ve konferans bildirileri de değerlendirildiğinde, yönetim ve örgüt alanında ajan temelli modelleme ile simülasyon çalışması yapılan 181 araştırmanın alanlarına ve konularına göre dağılımı aşağıdaki Tablo 11'deki gibidir:

Gomez-Cruz vd.'nin (2017) yaptıkları kapsamlı taramadan anlaşılacağı üzere ATM ile bilgisayarlı simülasyon 2000'lerde yönetim ve örgüt çalışmalarında yöntem olarak kullanılmaya başlanmıştır. Çalışmaların büyük çoğunluğu %37 payla operasyon ve lojistik alanında yapılmıştır. Pazarlama ve örgütsel davranış alanlarında da bu yöntem az da olsa kullanılmaya başlanmıştır. E4.0'ın getirdiği dijital dönüşüm sebebiyle dijital pazarlama ve yeniliklerin yayılması konularını açıklayabilmek için ATM'ye daha çok başvurulacağını söylemek yanlış olmaz. Yine E4.0'ın dijital, fiziksel ve biyolojik dönüşüm boyutlarının örgütlerin tasarımlarını, öğrenmelerini etkileyerek örgütsel yapıları değişime zorlayacağı da bir gerçektir. Dönüşümün tamamen otomasyon ağırlıklı mı yoksa insan odaklı mı olacağı ikilemi (Raisch, Krakowski, 2020) de örgüt psikolojisini ilerleyen dönemlerde oldukça etkileyecektir. Bu açıdan, ATM ile bilgisayar ortamında yapılacak simülasyon modellerin özellikle örgütsel davranış alanına büyük katkısı olabileceğini yadsıyamayız.

Bu aşama, ATM'nin nasıl kurgulanacağını, hangi bileşenlerden oluştuğunu, bilgisayarlı simülasyonun teknik kısımlarını anlatalım.

3.4.1 Ajan temelli modellemenin bileşenleri

Ajan temelli modellemede ana fikir, ajan olarak adlandırılan dünyadaki çeşitli fenomenlerin birbirleriyle ve bulundukları çevreyle etkileşimlerinin açıklanarak modellenebileceği görüşüdür. Modelin üç ana unsuru vardır: Ajan, çevre ve etkileşim. Burada etkileşimlerden kastedilen bilgi alışverişleridir. Ana unsurlara ek olarak modeli gözlemleyen ve ajanların görevlerini belirleyen gözlemci ara yüzü (observer interface) ile modelin ne yapması gerektiği belirleyen kullanıcı ara yüzü (user interface) de birlikte ele alınarak ATM'nin bir diğer unsuru olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca, modellemenin beşinci unsuru olarak da modellemenin takvimini içeren zaman çizelgesi (schedule) kabul edilmektedir. Ajan, belirli özellikleri, hareketleri ve hedefleri olan özerk bir birey ya da nesnedir. Ajanın özellikleri; araştırılan olgunun mevcut durumunu yansıtan veriler ve tanımlamalardır. Çevre ise, araçların

etkileşimde bulunduğu ve geometrik, ağ tabanlı veya gerçek verilerden elde edilebilen ortamdır. Ajanların gerek kendi aralarındaki gerek içinde bulundukları çevre ile etkileşimleri oldukça karmaşık olabilir. Ajanların davranışları etkileşimler sebebiyle değişebildiği gibi, değişim ajanın kendi içinde içsel olarak da tezahür edebilmektedir. Ajanlar mevcut durumlarını güncelleyerek davranış stratejilerini değiştirebilmektedir. Bununla birlikte, çevre de her zaman edilgen bir rol sergilemeyerek özerk bir ajan gibi davranabilmektedir. Bütün bu olasılıklar ajan-çevre etkileşimini karmaşık bir hale getirmektedir (Wilensky ve Rand, 2015, s.32, 203-205).

3.4.1.1 Ajan (Agent)

Ajan temelli modelleme; isminden anlaşılacağı gibi kendine has özellikleri, durum değişkenleri ve değerleri olan ajanlardan oluşmaktadır. ATM ile sistemde incelenmek istenen “ontolojik birimler” ajanlar olarak kodlanır ve basit kurallar koyularak hedef davranışın oluşumu izlenir. Bir sosyal sistemde, herhangi bir element, davranış örüntüsünü takip etmek istediğiniz ajan olabilir. Her bir ajanın tanımlanan kendine has özellikleriyle birlikte bir de davranış kuralı belirlenmektedir. Ajanlar temel olarak bulundukları çevre içinde hareket edebilen hareketli ajanlar, hiçbir şekilde hareket edemeyen sabit ajanlar ve iki ya da daha ajanı birbirine bağlayan bağlantı ajanları olarak üç kategoride ele alınmaktadır (Wilensky ve Rand, 2015, 204-212). Evrensel bir saat varmışçasına, simülasyonu çalıştırdığınızda her ajan kendi karakteristiği dahilinde önceden belirlenmiş davranışı eş zamanlı olarak yerine getirmektedir. Ajanların davranışlarının seyrini izleyebilmek için her ajanın bir grafik sembolü vardır (Wilensky ve Rand, 2015, s.14).

ATM’yi gerçeğe yaklaştıran bir özelliği de ajanların geçmişte yaşananlardan öğrenerek sadece davranışlarını değil, stratejilerini de değiştirerek ortama uyum sağlayabilmelerini modelleyebilmesidir. Adaptive agents (uyumcu ajanlar) olarak tanımlanan bu ajanlar, simülasyon içinde deneyimledikleri bilgileri öğrenerek davranışlarını değiştirebilmektedir.

3.4.1.2 Çevre (Environment)

Ajan temelli modelleme alınacak bir diğer önemli karar, ajanların içinde hareket ettiği ve birbirleriyle etkileşime girdiği çevrenin nasıl tasarlanacağıdır. Çevrenin durumu ajanların kararlarını etkileyebilmekte, ajanlar da çevreyi

etkileyebilmektedir. Tasarlanacak olan çevre birçok sabit ajandan oluşan ajan setleri olarak tanımlanabilir, böylece çevredeki farklı bölümler farklı özellikler sergileyebilecektir. Bununla beraber, çevre genel özellikleri ve eylemleri olan büyük tek bir ajan olarak da ele alınabilir ya da çevre tamamen ATM dışında kullanılacak bir farklı bir araç olarak da tanımlanabilir.

Mekansal Çevre (Spatial Environment) ayrık kafesler ve sürekli mekanlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Sürekli mekanlar arada boşluk olmadan devam eden birimlerden oluşurken, ayrık mekanlarda birimler arası boşluklar bulunmaktadır. NetLOGO diğer programlardan farklı olarak sürekli bir uzamsal zemin üzerine ayrık kafeslerin yerleştirebilmektedir. Bu özellik sayesinde; NetLOGO’da araştırmacının mekânın çeşidine karar vermesi gerekmediği için, her iki uzamsal düzlem için kodlama yapılabilen ve birçok model bu iki düzlemi birlikte kullanmaktadır. Bunların ötesinde sosyal bağlamlarda her zaman fiziki bir mekândan söz edilemez, bu gibi bağlamlarda çevre, arada kurulan ağ-bağ (network) ilişkilerinden oluşmaktadır. Ağ tabanlı bir çevrede kurulan bağlar, daha önce sözü edilen bağlantı ajanları (link) olarak kodlanan ajanların hareketleriyle ve davranışlarıyla gözlemlenebilmektedir. Ağ analizinde en çok kullanılan tesadüfi ağlar, ölçeksiz ağlar ve yoğun ve sık ilişkilerden oluşan küçük dünyalar olarak bilinen ağ tipolojileri NetLOGO üzerinde tanımlanmıştır.

3.4.1.3 Etkileşim (Interactions)

Ajan temelli modellemede etkileşim ajan kendi içindeki etkileşimi, çevrenin kendisiyle etkileşimi, ajanların birbirleriyle, çevrelerinin kendi aralarında ve ajanların çevreleriyle etkileşimi olmak üzere beş kategoride ele alınmaktadır. ATM’deki temel etkileşim ajanlar arasında olan etkileşim olmakla birlikte, modelin gerçeğe yakınlığını artırabilmek için ajanın kendi içindeki değişimi ile daha az rastlansa da farklı çevre parçalarının etkileşimi de simülasyona eklenmiştir. Bunların ötesinde, ajanın çevre üzerindeki etkisi ve çevrenin ajanın davranışlarına etkisi de gerçek dünyaya benzer şekilde modellenebilmektedir.

3.4.1.4 Gözlemci/Kullanıcı arayüzü (Observer/User interface)

Ajanlar, çevre ve etkileşim ATM’nin üç temel bileşenini oluşturmaktadır. Bunların dışında modelin kurgulanması ve geliştirilmesini kontrol gözlemci de özel bir ajan olarak simülasyonda tanımlanmaktadır. Gözlemci doğrudan yeni bir ajan

yaratma komutu verebildiği gibi (CREATE TURTLE), belirli bir ajanı veya ajan setini takip etme, gözlemleme, sürme gibi (FOLLOW, WATCH, RIDE) komutlar da verebilmektedir. Aynı zamanda ajanların yönünü çevirme, görüntüyü bir ajanın gözünden gösterme ya da üç boyutlu olarak görselleştirme komutları da gözlemci için tanımlı komutlardır. Gözlemci belli bir ajanın belirli davranışları sergilemesi için manipüle etmek istiyorsa bunu ajana sorma komutuyla (ASK TURTLE) gerçekleştirebilmektedir.

Kullanıcıların farklı parametreleri kurgulayabilmeleri için sistemde bir kontrol ara yüzü bulunmaktadır. Kontrol genellikle bir tuşa (button) basmakla sağlanmaktadır. Eylem odaklı tuşların yanı sıra; kullanıcının sisteme giriş kontrollerini sağlayabileceği kaydırma, değiştirme, seçme gibi kutular ile monitörlerin, çizimlerin ve notların olduğu çıkış kontrollerini mümkün kılan ara yüzler tanımlanmıştır.

3.4.1.5 Zaman çizelgesi (Schedule)

Modelin çalışma sırası zaman çizelgesiyle ifade edilmektedir. ATM'nin kullanıldığı başka yazılımlarda zaman çizelgesi ayrıca tanımlanmış olmakla beraber NetLOGO'da bunun için özel bir nesne tanımlanmamıştır. NetLOGO'da kullanıcının bastığı tuşların ve bu tuşların çalıştırdığı kodların sırasına bağlı olarak model içinde gerçekleşen olayların sırası zaman çizelgesi olarak kabul edilmektedir (Wilensky ve Rand, 2015, 203-282).

Bu noktada, araştırmada kullanılan NetLOGO programında ajan, ajanların özellikleri ve davranışları ile çevrenin bilgisayar ortamında nasıl tanımlanacağı ve etkileşimlerin nasıl gösterileceğinin detaylandırılmasında fayda vardır.

3.5 NetLOGO Programı ile Ajan Temelli Modelleme Geliştirme

NetLOGO yazılımı ajan temelli modellemede kullanılan dili daha kolay anlaşılabilir hale getirmek için 1999 yılında Wilensky tarafından geliştirilmiş bir programdır. Geliştirildiği tarihten itibaren birçok disiplinde araştırmalarda model geliştirmek için kullanılmaktadır. Bahsedildiği üzere program karmaşık matematiksel formüller kullanmak yerine incelenen birimleri belirli sembollerle kodlamakta, “turtle (kaplumbağa)” ismi verilen bu ajanların özelliklerini de doğal bir dil kullanarak sisteme kodlamaktadır. Kare bir pano üzerine yerleştirilen ajanların birbirleriyle etkileşimleri dikkate alınarak basit davranış komutları verilmekte ve bu komutlar

neticesinde değişimin pano üzerindeki etkisi defalarca tekrarlanarak görselleştirilmektedir.

Simölasyonda mevcut durumu betimleyebilmek için her bir ajanın (turtle), ajanlar arası ağların (link) ve içinde bulundukları ortamın özellikleri tanımlanmaktadır. NetLOGO programında önceden verilmiş standart özellikler mevcuttur. Kullanıcı ajanları ve ortamı tanımlarken bu standart özellikleri kullanabileceği gibi kendisi de gözlemlediği birime uygun yeni özellikler de tanımlayabilmektedir. Ajanlara ve ortama benzer özellikler atfedilirse kodlamada ayrımı yapılmaktadır. NetLOGO’da standart olarak tanımlı bazı özellikler şöyledir:

- WHO (kim), her bir ajanın zaman içindeki hareketi takip edebilmek için kendilerine bir kişi numarası verilir.
- XCOR-YCOR, ajanların ortam içindeki koordinatları ve diğer ajanlarla nasıl bağlandıklarını gösteren özellikleri bu kodlarla tanımlanır.
- HEADING, ajanların yönünün tanımlandığı özelliktir.
- COLOR, ajanların ekran üzerinde takibini kolaylaştırmak için onlara renkler tanımlanır. Ajanlara ve bağlantılara COLOR, bulundukları ortamları ayırtmak istiyorsak PCOLOR özelliğini kullanırız.

Her bir ajanın, ajanların birbirleriyle etkileşimlerinin ve etkileşimin gerçekleştiği ortamın her birinin özelliğinin tanımlandığı mevcut durum anlık olarak resmedilebilmektedir. İşleyişin görselleştirilebilmesi için ajanların bulundukları ortamı, diğer ajanları ya da kendileri değiştirebildikleri eylemler veya davranışlar da kodlanmalıdır. Bunun için de NetLOGO üzerinde hazırlanmış standart bir davranış listesi mevcuttur. Oldukça özelleştirilmiş uzun bir davranış listesi bulunmakla birlikte yine kullanıcı kendi davranış kalıplarını da oluşturabilmektedir. Ajanın ileri, geri, sağa, sola hareket etmesini sağlayan temel davranışlar örneğın FORWARD, RIGHT, LEFT, MOVE-TO gibi basit komutlarla kodlanmaktadır.

ATM’de ajanların tipolojisinden bahsetmiştik. Sözü geçen hareketli ajanlar NetLOGO’da turtle, sabit ajanlar patch ve bağlantı ajanları link olarak isimlendirilmektedir. Bu tiplerin dışında ajanların dahil olduğu grubu kategorize etmek için ajan ırkları (breeds of agent) da oluşturulabilmektedir. Grup halinde birlikte

hareket eden ajanlar için bir ajan seti (agent set) tanımlanabilmekte ve bu ajan setine tek bir ajanmış gibi özellikler ve davranışlar atfedilebilmektedir.

3.6 Araştırmanın Tasarımı

Saha çalışmasının birinci aşamasında Argote ve Ingram'ın (2000) kavramsal çerçevesini çizdiği, bilginin depolandığı ve bilgi aktarımının gerçekleştiği;

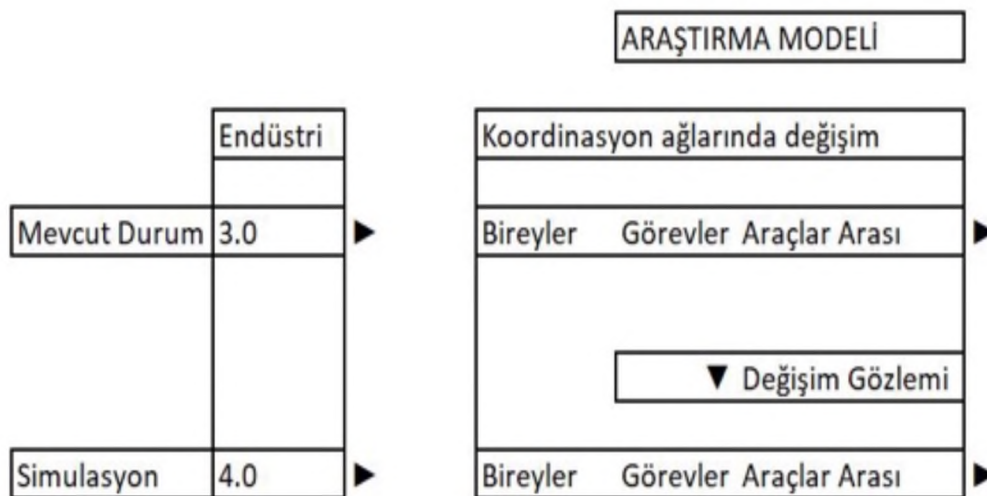
- Örgütün sosyal ağlarını oluşturan Üye-Üye ağları,
- Örgütün rutinlerini, hangi görevin yapılacağını ve görevler arasındaki ilişkileri oluşturan Görev-Görev ağları,
- Kullanılan araçların birbirleriyle ilişkisini gösteren Araç-Araç ağları,
- Hangi araçla hangi görevlerin yapılacağını gösteren Görev-Araç ağları,
- Örgüt içi iş bölümünün temelini oluşturan ve hangi üyenin hangi görevi yapacağını gösteren Üye-Görev ağları,
- Hangi üyelerin hangi araçları kullanacağını ve üye ve araç arasındaki etkileşimi gösteren Üye-Araç ağları
- Hangi üyenin hangi görevi hangi araçla yaptığını gösteren Üye-Görev-Araç ağları

arasındaki ağ-bağ ilişkilerinin mevcut durumu belirlenerek koordinasyon ağının tam haritası çıkarılmaya çalışılmıştır. Örgüt çalışanları, görevler ve araçlar ile bunların etkileşimleri NetLOGO yazılımı üzerinden ajan temelli modelleme programında kodlanmak üzere ajan olarak belirlenmiştir. Bu ajanların her birinin karakteri ve kimliği tanımlanarak kodlaması yapılacaktır. Kodlama sırasında her bir ajanın hareketini bilgisayar üzerinde takip edebilmek için ajanlara grafik semboller verilerek birbirlerinden ayrıştırılacaktır.

İkinci aşamada E4.0 araçlarından Türkiye Yol Haritası'nda önceliklendirilenler arasından işletmede uygulanabilecek olanların tam listesi yapılacaktır. E4.0 araçlarının, daha önce tanımlayıp kodladığımız ajanlarda ne gibi değişikliklere yol açacağı belirlenecektir. Böylece; her ajanın kendi karakteristiği ile nasıl bir davranış sergileyeceği de model üzerinde tanımlanacaktır. Ajanların karakteristiklerinin ve davranış kalıplarının tanımlanması simülasyonun yapılabilmesi için temel koşuldur. Ajanların sergileyeceği davranışlar basit cümlelerle, doğal bir dil kullanılarak kodlanacaktır. Burada amaç gözlemlenen olguların basit davranış

kurallarını takip ederek karmaşık düzlemde nasıl bir örüntü oluşturduğunu anlayabilmektir. Ajanların davranış kalıpları da bütünüyle sistemde kodlandıktan sonra simülasyon programı çalıştırılacak ve gerek ajanların bireysel karmaşık düzeyinde hareketleri özelinde ortaya çıkan öz oluşumlar, gerek birbirleriyle etkileşim halinde oldukları grup karmaşık düzeyinde ortaya çıkan öz örgütlenmeler gözlemlenerek simülasyon tekrarlanacak ve olası senaryolarda oluşacak koordinasyon ağları; yani, insan-makine ve görev ağları ile bilginin depolandığı bu ağlarda E4.0'a geçildiği takdirde etkileşimin nasıl değişeceği modellenenecektir.

Şekil 8. Araştırma Tasarımı Modeli



3.6.1 Vaka Analizi

Türkiye'nin Dijital Türkiye Yol Haritası'nda E4.0'a geçiş için öncelikli teşvik kapsamında gösterilen yüksek teknoloji üreten KOBİ'ler arasından İstanbul ilinde 1983 yılından beri Beylikdüzü Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyet gösteren bir işletme araştırmaya konu olarak seçilmiştir. Avrupa Birliği NACE sınıflandırmasına göre ileri teknoloji olarak kategorize edilen elektronik sektöründe yer alan firma LCD

& LED televizyonlar, uydu alıcıları, yazar kasalar, cep telefonları, haberleşme sistemleri ve benzeri modüller için anakart üretimi yapmaktadır. 150 çalışanı bulunan işletme üretimde kısmen manuel montaj, kısmen tam otomasyon ve kısmen hibrit çalışma sistemini benimsediği farklılaştırılmış bölümlerde faaliyetini yürütmektedir. Üretilen ürünler, savunma sanayiinden medikal sektöre, ulaşımdan haberleşmeye kadar birçok sektörde kullanılmaktadır. Bu sebeple, elektronik sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin E4.0'a geçişinin beraberinde birçok disiplinin çalışmasını da etkileyerek yeni sanayi devriminde tasarlanan değer zincirini yaratacağı düşünülmektedir.

Anakartın dizgisi çoğunlukla müşterinin talebine göre değişmektedir. Ürünün müşteri talebine göre farklılaşması üretimde esnekliğin olmasıyla mümkündür. Bu açıdan, seçilen işletme KOBİ olmanın avantajlarından faydalananarak proje bazlı çalışabilmekte ve 300'e yakın farklı ürün üretebilme becerisiyle ürün çeşitliliği yaratabilmektedir. Bu bakımdan seçilen vaka, gerek E4.0'ın müşterinin üretim sürecine doğrudan dahil olabildiği değer zincirini yaratabilecek potansiyeli olması bakımından, gerek kullanılan teknoloji ve esnek üretim kabiliyeti ile sürekli yeni süreç ve yöntemlerin öğrenildiği bilgi yoğun bir işletme olarak örgütsel öğrenmenin gözlemlenebileceği bir örnek olması bakımından araştırma için uygun görülmüştür. Bununla beraber, işletmede tam otomasyona geçilmiş bölümler ile insan eliyle üretilen bölümler ayrı ayrı bulunmaktadır. Kontrol ve test aşamasında ise makineler ve insanlar birlikte görev almaktadır. E4.0 bileşenlerinin manuel çalışan sistemlere ve otomasyona geçmiş bir sisteme entegre edilmesi halinde örgütsel belleğin nasıl değişeceği, örgütsel bilginin aktarımında koordinasyon ağlarının nasıl değişeceğini her durum için ayrı ayrı gözlemlene imkânı sunması açısından seçilen vaka ayrıca önem arz etmektedir.

Saha çalışmasının ilk aşamasında kendisi makine mühendisi olan işletmenin baş mühendisi ile görüşüldü, E4.0'ın getireceği yenilikler, Türkiye'de ve çalışılan kurumda E4.0'ın bileşenlerinin uygulanabilirliği konularında görüşleri alındı. Tezin amacı ve araştırma sorusu kendisine bildirildi ve örgütsel bellek, örgütsel bilgi depoları ve koordinasyon ağları hakkında bilgi verildi. Tez araştırmasında mutabık kalındıktan sonra fabrikanın yerleşkesi gezildi.

İkinci aşamada, baş mühendis ile iki kalite kontrol mühendisi ve bir üretim mühendisinin de katılımıyla işletmenin araştırmaya konu olabilecek birimleri üzerinde

tartışıldı. Endüstri 4.0 bileşenlerinin uygulanabileceği iki birim üzerinde ortak karar kılındı. İlki, SMD olarak tanımlanan tamamen otomasyona geçilmiş otomatik dizgi bölümü, ikincisi ise elle montaj yapılan montajın insan-makine etkileşiminde bir konveyör üzerinde gerçekleştiği ve sonrasında test ve kontrollerin yapıldığı manuel dizgi bölümüdür.

Fabrikada bu bölümlerin işleyişi genel olarak şu şekildedir:

Otomatik Dizgi Bölümü

Fotoğraf 1. Otomatik Dizgi Hattı



Otomatik dizgi hattı boyunca 2 bölüm şefi vardiyalı olarak tüm hattın kontrolünden sorumludur.

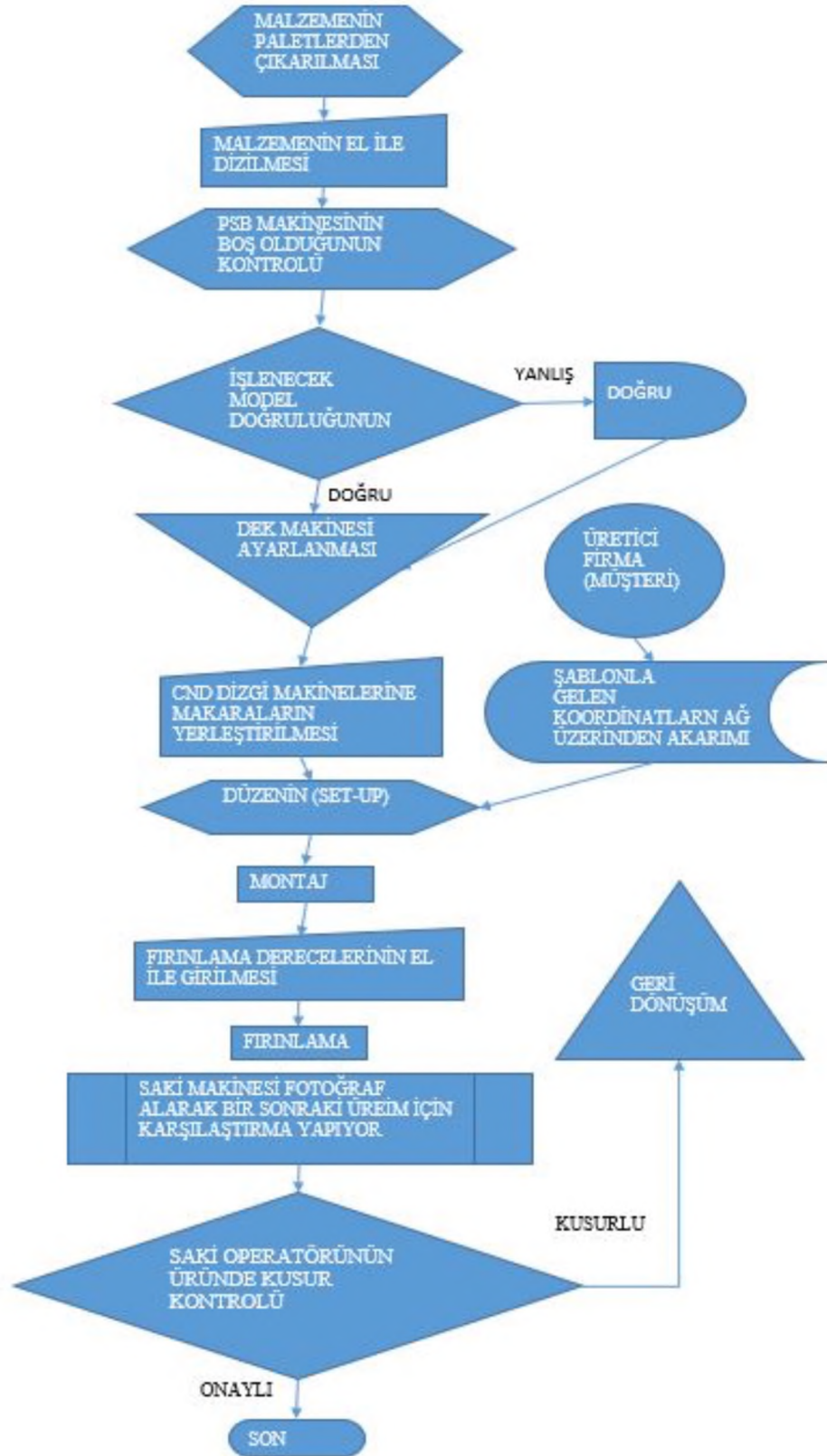
1. Anakart malzemesi (PSB) boş olarak geliyor. Bir operatör ve bir kalite kontrol mühendisi modelin uygun olup olmadığını kontrol ediyor. Malzeme manuel olarak paletten çıkarılarak elle diziliyor.
2. Krem Lehim Makinesi (sensörlü) PSB üzerinde gerekli yükseklik ayarlamaları yapılıyor.

3. Dizgi Makineleri – Her makine de 8 adet makara bulunuyor. Makaralar QR kodları okutularak tek tek elle takılıyor. Bir makara bittiğinde yenisi yeniden elle takılıyor. Her makineyi vardiyalı çalışan iki kalite kontrol mühendisi günde 3 kez kontrol ediyor. Malzemeler diziliyor. Üretici firma şablonunu gösteriyor, şablona göre bilgisayar üzerinden kurulum yapılıyor (Set-up). Koordinatlar düzenlenerek ağ üzerinden makineye aktarılıyor. Burada E4.0'dan faydalanılıyor.
4. Montaj – Malzemelerin montajı koordinatlar doğrultusunda otomatik olarak yapılıyor.
5. Fırınlama – 4 Fırın, 8 zone ve 1 cooling alanı bulunan bir makinede lehim krem eriyerek malzemeye yapışıyor. Fırınlamadan bir kişi sorumlu, ısı ölçüm cihazı var. Isı dereceleri elle giriliyor.
6. Saki Makinesi – 4 makine 4 Saki operatörü. Her operatör bir makineden sorumludur. Bu makine anakartın alttan ve üstten kontrolünü yapıyor. Fotoğrafını çekiyor ve bir sonraki üretimin fotoğraf üzerinden kıyaslanmasını sağlıyor.
7. Saki makinesi üzerinde bir monitör var. Saki operatörü bu monitör üzerinden kartın kusurlu veya kusursuz olduğuna karar vererek ret ya da onayını veriyor. Reddedilenleri ret alanına ayırıyor.

Özetle; bu hat üzerinde 1 operatör, 1 fırın operatörü, 4 SAKİ makinesi operatörü (mühendis), 2 bölüm şefi (kalite kontrol mühendisi) ve tüm örgütün eğitiminden sorumlu baş mühendis olmak üzere 9 çalışan görev yapmaktadır. Hat üzerinde bir PSB makinesi, Bir Lehim makinesi, 4 dizgi makinesi, 4 fırın, 4 SAKİ makinesi, SAKİ makinesine bağlı 4 monitör bulunmaktadır.

Otomatik dizgi bölümünün akış şeması genel hatlarıyla şekildeki gibidir:

Şekil 9. Otomatik Dizgi İş Akış Şeması



Manuel Montaj Bölümü

Fotoğraf 2. Manuel Montaj Hattı Bölümleri



1. Kart bant başına geliyor. 4 istasyon 7 dizgi operatörü var. Her istasyonun görevi farklı. Her çalışanın görevi farklı. Ortalama 300 farklı ürün üretiliyor. Görevler üretilen ürüne göre farklılaşıyor. Temel olarak bu 7 operatör boş gelen anakartın üzerine müşteri talebine göre çizilen şablona göre belirli parçaları yerleştiriyor. Son operatör anakart hareketli bantla birlikte Flux makinesine girmeden bütün parçaların takılıp takılmadığını kontrol ediyor. Çalışanlar 10-15 yıllık çalışanlar. Her biri tek bir görev yapmasına rağmen hepsi diğerinin yokluğunda onun görevini yapabilecek eğitimden geçmiş ve tecrübeliler.
2. Flux makinesi kartın alt yüzeyine flux püskürtüyor.

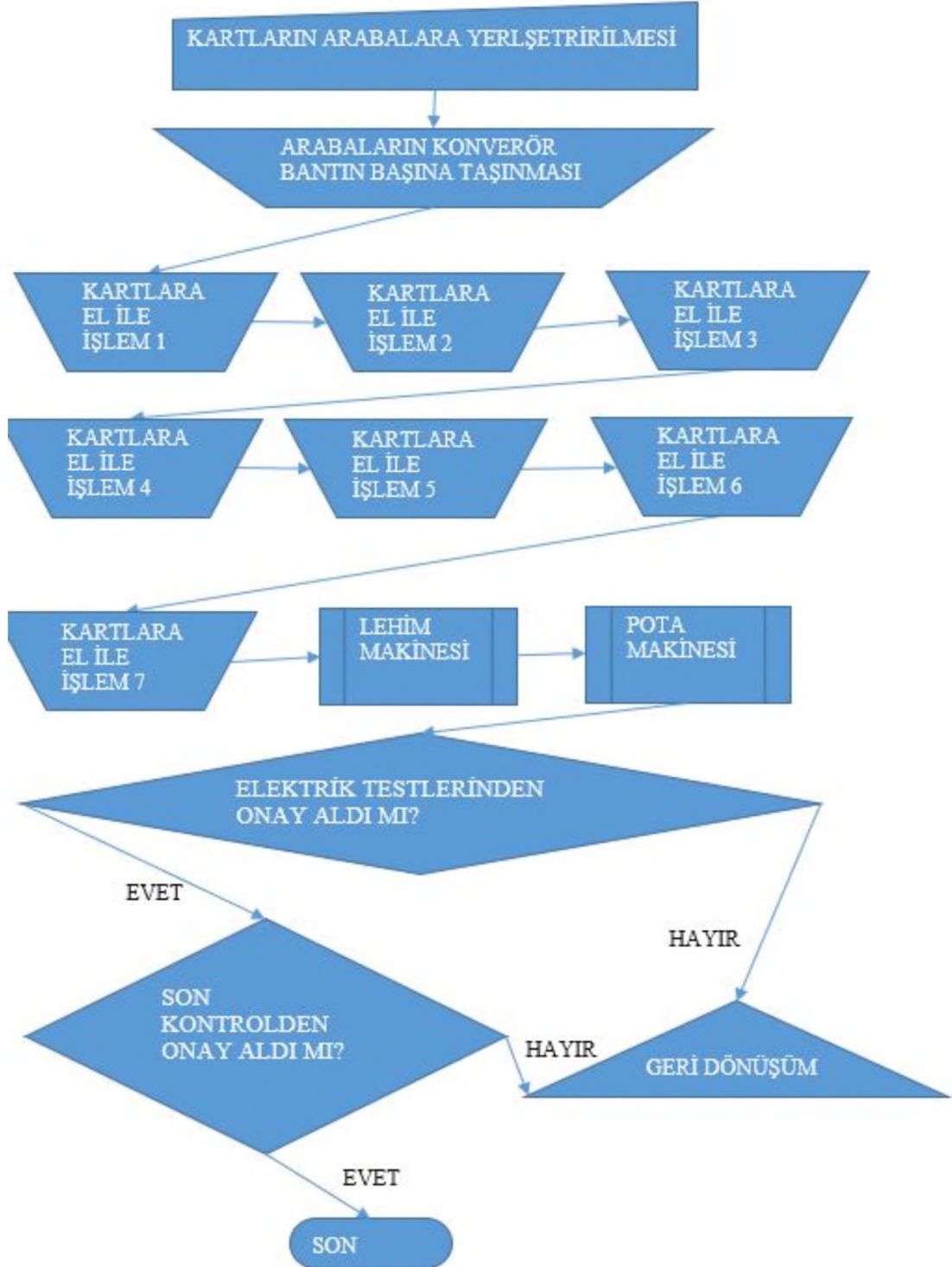
3. Lehim/Pota Makinesi lehimleme yapıyor. Montaj hattının hızı pota makinesinin lehimleme hızına göre ayarlanmış.
4. Lehimlenmiş kartları ayakta duran bir çalışan kartların konveyörün üzerinde gitmesini sağlayan metal arabalara yerleştiriyor, arabaları da bandın başına götürüyor.
5. Kontrol – İki aşamadan oluşuyor. Birinci aşamada anakartların elektrik akımına dayanıklılığı kontrol operatörleri tarafından ölçülüyor. Elektrik testleri dayanıklılık testleri ve kablo kontrolü yapan iki farklı kontrol operatör grubu bulunmaktadır. 5 operatör dayanıklılık testi yaparken 8 operatör kablo kontrolü yapmaktadır. İkinci aşamada bilgisayar yazılımlı bir makine sayesinde anakart üzerine bütün parçaların doğru yerleşip yerleşmediği monitörden kontrol ediliyor. Bu görev iki kontrol operatörünün sorumluluğundadır.
6. Tüm hattın kontrolü – Bütün hattın işleyişinin denetim ve kontrolünden bir bölüm şefi sorumludur. Her yeni ürün için ürün tanıtım kitapçıklarının operatörlere verilmesi, flux ve lehim makinelerinin işleyişi, kontrollerin tam ve hatasız yapılmasının sağlanması bölüm şefinin görevleridir.
7. Bütün fabrikada olduğu gibi burada da düzenli olarak uzmanlık eğitimleri verilmektedir. Bu eğitimler IPC Sertifikası olan başmühendis tarafından periyodik olarak verilmektedir. Her çalışan kendi göreviyle ilgili uzmanlık eğitimi alırken aynı zamanda bulunduğu istasyonun gerektirdiği diğer görevleri de öğrenmektedir. Böylece her görevi yapabilecek yedek çalışan bulunmakta ve bir çalışanın eksikliği halinde istasyondaki diğer çalışanlar o sorumluluğu da üstlenmekte ve iş akışı yavaşlarsa da durmamaktadır.

Özetle; bu hat üzerinde 7 operatör, 1 arabacı, 15 kontrol operatörü, 1 bölüm şefi ve eğitimden sorumlu başmühendisten oluşan 25 kişilik bir ekip görev almaktadır. Flux ve lehim makinesi hattın iki büyük makinesidir. Bununla birlikte kontrol mühendislerinin elektrik dayanıklılığını ölçmek için kullandıkları el ölçüm cihazları ve anakartın farklı noktalarındaki elektrik akımını kontrol ettikleri uçları jaklı kablolar ve hattın sonunda anakartta bütün parçaların doğru yerleştirilip yerleştirilmediğinin

kontrol edildiği bilgisayar yazılımlı ve monitöre bağlı kontrol makineleri hatta kullanılan araçlardır.

Manuel dizgi bölümünün genel hatlarıyla iş akış şeması Şekil 10'daki gibidir:

Şekil 10. Manuel Dizgi İş Akış Şeması



3.7 Kavramsal Model

Modelin kurgusu Nikolic ve Ghorbani (2011)'nin sosyoteknik sistemlerde ATM uygulamasının geliştirilmesi için önerdikleri metot dikkate alınmış, çizdikleri çerçeve doğrultusunda model kurgusu tasarlanmıştır. Modellemenin ilk aşaması öncelikle sistemin iyi bir analizinin çıkarılması safhasıdır. Bunun için araştırılan problemin doğru tanımlanması, neden bu problemin ele alındığının detaylı olarak anlatılması gerekmektedir. Araştırma sorusuyla ilgili belirsizlikler ortadan kalktıktan sonra, araştırmaya konu olan sistemin bütün özelliklerinin ve sınırlarının ayrıntılı olarak tanımlanması yapılmalıdır. Sistemde zaman içinde nelerin değişebileceğinin ve bunların hangi hızda değişebileceğinin de araştırmanın bu safhasında ifade edilmesi gerekmektedir. Bu bilgilerin eksiksiz elde edilebilmesi için yazın taramasının yanı sıra uzmanlarla birlikte derinlemesine hem teknik hem kavramsal boyutlar hakkında fikirler geliştirilmelidir. Model için temelde üç ölçüm önemlidir: Zamanla değişen bireysel özellikler, zamanla değişen etkileşimler ve zaman içinde gözlemlenebilecek öz oluşumlar. Bu ölçümleri gözlemleyebilmek için ilk olarak ajanların ve ajanların davranışlarının bir listesi yapılmış, ajanlar arası ilişkilerin listesi çıkarılmış ajanların kendilerine has eylemleri belirtilmiş ve ajanların içinde bulunduğu ortam tarif edilmiştir.

Modelin tasarımının yapıldığı ikinci aşamada, birinci aşamada gerçekteki durumu tanımlanan sosyal sistem, kullanılan programın sınırları dahilinde bilgisayar ortamında yapay ajanlara ve onların etkileşimlerine aktarılmıştır. Yapay ortama aktarırken ajanlar arasındaki hiyerarşiye dikkat edilmiştir. Dinamik etkileşimler kuran ajanlarla birlikte içinde bulundukları çevre de ajanların davranışlarını etkileyen bir ajan olarak simülasyonda kodlanmıştır. İnsanlar dışında yapay elementlerin de davranışları ajan davranışı olarak yapay ortamın yapısını oluşturmaktadır³.

Üçüncü aşama model tasarımının detaylandırıldığı aşamadır. Bu aşamada artık gerçek dünyadaki sosyal sisteme dair bilgilerin soyut bir temsili olan yapay ajan tabanlı bir modelimiz vardır ve artık model üzerinde deneyler yaparak etkileşimlerin zaman içindeki değişimlerini gözlemleyebilmek mümkündür. Zaman içindeki

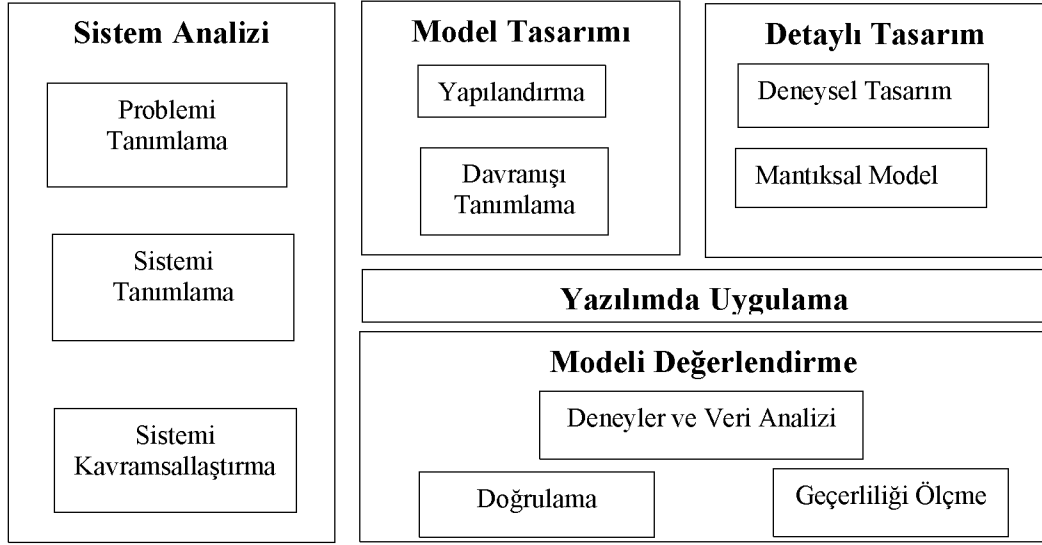
³ Bruno Latour'un çalışmaları ile ön plana çıkan aktör ve ağ kuramı temel varsayım olarak ağ düzeneklerinde karmaşık sistemleri anlayabilmek için sadece insanların değil, tüm nesnelerin aktör olarak kabul edilmesini esas almaktadır. Detaylı okuma için Latour (2005)'a başvurulabilir.

değişimin gözlemlenebilmesi için modelin uzun süreli bir gözlemi kapsaması gerekmektedir. Uzun süreli de olsa program bir kez çalıştırıldığında doğrudan geçerli bir bilgiye ulaşılabileceği söylenemez bu nedenle her bir parametre için tekrar tekrar modelin çalıştırılabilmesi, farklı varyasyonları denenebilmesi için bir belirli skalaların oluşturulması gerekir.

Dördüncü aşama olan uygulama aşaması modelin bütün ayrıntıları tasarlandıktan sonra kodların çalıştırıldığı aşamadır. Ancak, süreç burada son bulmaz. Çünkü çıkan sonuçlar, modelin kurgusunda nerede hata yapıldığının anlaşılmasını sağlar ve baştan ya da belli bir noktadan itibaren yeniden modelin kurgusunun düzenlenmesini gerektirir. Bu süreç, daha önce bahsedildiği gibi Epstein'ın (1999, 2006) üretken sosyal bilim olarak tanımladığı yinelemeli bir süreçtir.

Modeli değerlendirme aşaması modelin her aşamasında devam eden bir süreçtir. Modelin gerçekten yapılmak istenenin yapıp yapmadığının, gerçek dünyadaki bilgilerin bilgisayar ortamına doğru aktarılıp aktarılmadığının sorgulaması devamlı olarak yapılır, çünkü karmaşık sistemler çok fazla element, etkileşim ve davranış barındırır. Hata yapma ihtimali hep vardır. Bu yüzden her aşamada sürekli olarak doğrulama yapılmalıdır. Fiziksel, nesnel gerçeklerin ve bilgilerin doğrulaması daha kolay iken, sosyal gerçeklik ve sosyal bilgiler öznel ve doğrulama yapmak zordur. Gerçekler ile bilgilerin ayrı ele alınması önemlidir. Nesnel gerçeklerin modellenmesi, örtük bilgilerin veya sistem çalışırken ajanların öğrenmesinin tespit edilmesine nazaran daha kolaydır. Bilginin doğrulanması için ajanların tek tek test edilmesi, kurulan bağların test edilmesi ve ajanların birlikte test edilmesi şeklinde aşamalı bir simülasyon uygulanabilir. Modelin geçerliliğinin ölçümü analitik istatistiksel araştırmalardan farklıdır. Modeller, bir öngörü sunması bakımından istatistiksel geçerlilik düzeyi düşük olacaktır. Ancak model, gözlemlenen gerçekliğe uygun sonuçlar veriyorsa geçerli kabul edilmektedir. Burada uygulayıcıların uzman görüşleri de modelin geçerli kabul edilmesinde etkindir. Geçerlilik ölçümü modellerin bilinen bir kısıtıdır. Ne var ki; parametrelerin skalasının gerçek hayatta denenemeyecek kadar geniş tutulabilmesi, yıllarca sürebilecek ve tekrarlarının çok büyük maliyetlere sebep olacağı deneylerin dakikalar içinde bir temsilini oluşturabilmeyi sağlaması modelleri yine de vazgeçilemez araçlar kılmaktadır. Bu aşamaların görselleştirildiği ATM için çizilen metodolojik çerçevenin görseli Şekil 11'deki gibidir:

Şekil 11. Ajan Temelli Modelleme için Metodolojik Çerçeve



Kaynak: Niholic, Ghorbani'den (2011: 46) uyarlanmıştır.

Modelin kurgusu oluşturulurken seçilen vakanın mevcut durum analizi işletmenin mühendisleriyle birlikte çizilmiş ve E4.0'ın hangi bileşenlerinin eklenebileceği tartışılmış ve bu özellikler eklendiğinde oluşacak iş akışına göre yeniden bir durum analizi yapılmıştır. Ancak; modelin kurgusunda yalnızca pratikteki uygulama bilgisi ile hareket edilmemektedir. Alan yazında, örgütleri karmaşık sistemler olarak ele alan ve modelleme yoluyla teori geliştirmeye çalışan; dolayısıyla, örgüt çalışmalarında bir modelleme kültürünün oluşmasını sağlayan öncü araştırmalar incelenmiştir. Modelin teorik altyapısı oluşturulurken bu araştırmalarda geliştirilen modellerin önerileri seçilen vaka özelinde değerlendirilerek benzer bir model kurgusu oluşturmaya çalışılmıştır. Bu araştırmaların önerileri içinde bu çalışmaya doğrudan adapte edilen öneriler olduğu gibi, vakanın öznelliğine, seçilen modelleme yönteminin paradigmasına ve kullanılan simülasyon tekniğinin sınırlarına göre farklılaşan kısımlar bulunmaktadır. Modellemeye geçmeden önce, modelleme ve bilgisayarlı simülasyon modellemesi ile gerçekliğin açıklanmaya çalışıldığı önemli araştırmaların model kurgularından bahsetmek, esinlenilen ve ayrışılan hususları ifade etmek yerinde olacaktır.

Carley (1992) personel devir hızının ve örgüt yapısının örgütsel öğrenmeye etkisini simülasyon modelleme yoluyla göstermeye çalışmıştır. Modeli kurgularken örgütsel öğrenmenin bir boyutu olarak çalışanların tecrübelerini almıştır. Çalışanlar

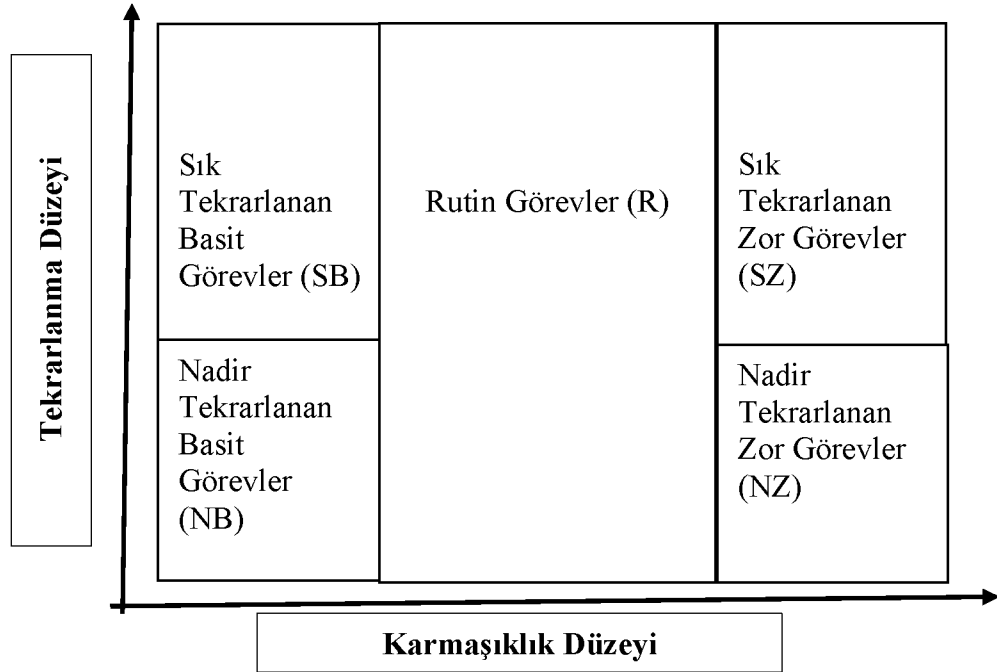
geçmişte öğrendikleri ve belleklerine kaydettikleri bilgileri tekrarlayan görevlerde çağırabilmekte ve örgütsel karar mekanizmasına dahil olmaktadır. Çalışanların tecrübelerini hatırlayabilmeleri görevlerin tekrarlanmasıyla kuvvetlenmektedir. Örgütlerde görevlerin hiyerarşik bir dağılımı olduğu göz önünde bulundurulduğunda, farklı hiyerarşik seviyelerde farklı görevlerin olduğundan söz edilmektedir. Buna bağlı olarak, görevlerin karmaşıklık seviyesi de farklılaşmaktadır. Modelin diğer yapıtaşlarını da hiyerarşik yapı, görev tipi ve görevin karmaşıklığı oluşturmaktadır. Görevlerin karmaşıklığı çok düşükten yükseğe doğru dördümlü Likert skalası ile sınıflandırılmış, ayrıca ayrıştırılabilir görevler ve ayrıştırılmaz görevler olarak ikiye ayrılmıştır.

Sandoe ve Olfman (1994) örgütlerin hatırlama ve unutmaları üzerinde bilgi teknolojilerinin etkisini araştırmıştır. Simülasyonlarını örgütlerin kolektif belleği üzerine kurgulayan yazarlar Carley'nin (1992) hiyerarşi, personel devir hızı ve görevlerin karmaşıklığı ayrımını esas almıştır. Örgüt yapıları; hiyerarşik yapı, network organizasyon ve bilgi merkezleri (hub) gibi farklı örgüt formları özelinde ayrıştırılmıştır. Farklı örgütsel formlarda örgütsel unutmaya sebep olan etkenlerin farklılaştığı gözlemlenmiştir.

Bu araştırmayla benzerlik içeren Carley'nin (1992) alanın öncü çalışmasına benzer olarak örgütsel belleğin oluşmasında *kişilerin tecrübeleri* ajanların özellikleri olarak kodlamada yer almaktadır. Bunun yanı sıra, *işyerinde verilen eğitimler* de örgütsel öğrenmeye etki edeceğinden ve ajanların davranışlarını değiştireceğinden verilen eğitimler de araştırmamıza konu edilmiştir. Yine *tekrar eden görevlerin* örgütsel belleğin önemli bir boyutu olması bakımından araştırma kapsamında görev tiplerinin ayrıştırılması ve bellekte ne derece önem arz ettiğinin, koordinasyon ağındaki merkeziyet derecesinin bilinmesi açısından gereklidir. Görevlerin *karmaşıklık düzeylerine göre ayrılması* örgütsel öğrenme ve unutma süreçlerini doğrudan etkileyeceği için bu çalışmada Carley'nin (1992) mantığını örnek alınmıştır. Ancak, Carley'nin (1992) modelinde öğrenmeyi etkileyen en önemli faktör görevlerin tekrarlanması iken, bu çalışmada öğrenilen bilginin çağırılmasında tekrarlanma sıklığının da etkili olacağı düşünülmüş ve görevlerin kategorizasyonunda Carley'nin modeline ek bir kriter olarak tekrarlanma sıklığı da bu araştırmanın modeline

eklenmiştir. Görevler tekrarlanma sıklığına ve karmaşıklık düzeyine göre sınıflandırılmıştır.

Şekil 12. Görevlerin Yapısına Göre Ayrımı



Hat üzerinde tanımlanan görevler ise üye ve araçların davranışını etkileyen özellikler olarak değerlendirilmektedir. Üretilen ürünler üzerinde bulunan komponentlerin sayısına ve karmaşıklığına göre basit ve zor modeller olarak ayrıştırılmaktadır. Dolayısıyla; üretilen modelin özelliğine göre görevler de basit görevler, rutin görevler ve zor görevler olarak üç kategoride sınıflandırılmıştır. Benzer şekilde tekrarlanma sıklığına göre; nadir yapılan işler, rutin işler ve sık tekrarlanan işler de görevlerin özelliklerini oluşturan faktörler olarak ele alınmıştır.

Bu sınıflandırmanın yapılabilmesi için gerek saha gözlemlerinden gerek kontrol mühendisleriyle görüşmelerden edinilen bilgiler doğrultusunda şu soruların yanıtları aranmış ve sayısal verilere ulaşılmaya çalışılmıştır:

- 1) Basit ve zor ürün modelleri için örgütün en düşük ve en yüksek üretim kapasitesi nedir?

Tablo 12. Görevlerin Tekrarlanma Sıklığı ve Karmaşıklığına Göre Gerçekleşen Üretime İlişkin Veriler

	Nadir Tekrarlanan Basit Görevler (NB)	Sık Tekrarlanan Basit Görevler (SB)	Rutin Görevler (R)	Sık Tekrarlanan Zor Görevler (SZ)	Nadir Tekrarlanan Zor Görevler (NZ)
Komponent sayısı	5	250	500	1500	3500
Saatlik üretim adedi	625	450	350	200	71
Olasılık yüzdesi	%5	%15	%60	%15	%5

Örgüt KOBİ olmanın avantajıyla seri üretim yapabildiği gibi esnek üretim de yapabilmektedir. Havacılık, sağlık, savunma sanayi gibi sektörlerle hizmet verdiği için müşteri talebi bazen sınırlı sayıda prototiple sınırlı kalabilmektedir. Bu gibi özel üretimlerde; mesela 5 adet prototip üretimi için fabrikanın bütünü çalışacağı için müşterinin maliyeti yüklenmesi talep edilmektedir. Yalnızca seri üretim yapan büyük işletmeler prototip üretimini kabul etmediği için, alternatifin olmaması sebebiyle savunma sanayi gibi sektörlerde maliyet müşteri tarafından karşılanmaktadır. Hatalı üretimden kaçınmak için yedekli çalışmak gerektiğinden işletmenin en az üretim miktarı 5 adet olarak kabul edildi. Tam kapasite kullanımında saatte ortalama 350 adet rutin ürün üretilmektedir. Günlük 8 saat çalışma düzeninde tatiller hariç bir yılda maksimum üretim kapasitesi 840.000 adettir. Ek kapasite kullanımıyla, bir milyon adede kadar ulaşabilecek kapasiteleri olmasına rağmen şu ana kadar gerçekleştirdikleri en yüksek üretim adedi 250.000'dir. İşletmenin mevcut kapasitesi ile görevlerin karmaşıklığına ve tekrarlanma düzeylerine göre oransal dağılımı Tablo 12'de gösterilmektedir:

- 2) Basit, rutin ve zor olarak tanımlanan ürünlerin üretilmesi ne kadar zaman alıyor?

İşletmenin maksimum üretimi üzerinden hesaplarsak (250.000 adet), üzerinde 5 komponenti bulunan en basit anakarttan saatte 625 adet üretilmektedir. Günde 8 saatlik vardiya sonucu 400 saatte üretimi tamamlanmaktadır. Üzerinde 3500 adet komponent bulunan oldukça karmaşık bir anakarttan ise tam kapasiteyle günde 71 adet üretilmektedir. Böyle bir ürünün tamamlanması 440 gün; yani 3520 saat sürmektedir. Üretimin tamamlanma süresi ürün modelinin özelliğine göre 400 saat ile 3520 saat skalası arasında değişmektedir.

3) Yılda ortalama kaç farklı ürün üretiliyor?

Yıllık ortalama 300'e yakın farklı ürün üretilmektedir.

4) Çalışanlara ne sıklıkta eğitim veriliyor?

Bütün çalışanlar işe başlarken ilk olarak işbaşı eğitimi almaktadır. Her bölüm kendi görev tanımına göre malzemelerin takılışı, dokümantasyonların okunabilmesi, iş akış şemalarının öğrenilmesi, kullanılan araç ve gereçlerin nasıl kullanılacağı gibi bölüm eğitimleri almaktadır. Yeni ürün modelleri geldikçe bu eğitim tekrarlanmaktadır. Nadiren de olsa yeni bir teknoloji kullanıldığında da bölüm eğitimleri yapılmaktadır.

5) Bir çalışan aynı işi en az kaç kez yaptığında öğrenmiş sayılır?

Montaj operatörlerinin anakart üzerine parça takmayı öğrenmesi hızlıdır. Bir kez hata yapabilirler ikinci seferde öğrenmiş kabul edilirler. Üçüncü kez hata yapmamaları beklenir. Bölüm şefleri eğitimlerin uygulanıp uygulanmadığını günlük olarak kontrol etmektedirler. Kalite kontrol bölümünde ise işin öğrenilmesi 3 aylık bir süre olarak kabul edilmekte, 3 ayın sonunda başarısız olanlarla birlikte çalışılmamaktadır. Günde 8 saatten 90 gün üzerinden öğrenme 720 saatte gerçekleşmektedir.

Bu sorulara aldığımız yanıtlar ışığında karmaşıklık yapısına ve tekrarlanma düzeyine göre görevleri sınıflandırıp modelde üye ve araçları, görevlerine göre istasyonlarına yerleştirdiğimizde üye ve araçların etkileşim seviyeleri doğrultusunda bağlantı ajanları (linkler) oluşmaktadır. Araştırma sorusu üzerine önceki bölümlerde tartışılmıştır. Modeli kurgularken, örnekleme oluşturan örgüt yapısı ve mevcut koordinasyon ağı (Üye-Görev-Araç) iki farklı hat üzerinden aşağıda mevcut durum

analizi başlığının altında kodlamaya uygun olacak şekilde tablolaştırılmıştır. Görevler ve görevlerin bağlı olduğu istasyonlar (çevre ajanı) belirtilmiş, üye, görev ve araçları birbirine bağlayan bağların bir listesi yapılmıştır. Bu işletmede bilgi büyük oranda örgütsel prosedürler ve görevlerde depolanmakta ve bilgi görevler vasıtasıyla örgüt üyelerine ve kullanılan araçlara aktarılmaktadır. Buna istinaden, örgütsel bilginin dağılımı görevler üzerinden modellenmiştir. Örgütsel bilginin depolandığı ve aktarıldığı Görev-Üye (GÜ), Görev-Araç (GA) ve Görev-Üye-Araç (GÜA), Görev-Araç-Üye (GAÜ), Görev-Üye-Üye (GÜÜ), Görev-Araç-Araç (GAA) ağları ile Üye-Araç (ÜA), Araç-Üye (AÜ), Üye-Üye (ÜÜ), Araç-Araç (AA), Görev-Görev (GG) ağları belirlenmiştir. Örneğin; Tablo 13'te görüldüğü üzere; manuel montaj hattında kontrol bölümünde tanımlanmış görevler hem o görevi yerine getiren kontrol operatörlerine hem de görevi yerine getirebilmek için kullandıkları cihazlara tanımlanmaktadır. Bu durumda kontrol grubu üyeleri ile kontrol araçları arasında da linkler bulunmaktadır. Tanımlanan her iki link grubu için de linklerin tekrarlanma yoğunluğu ve karmaşıklık düzeyine bakılarak örgütsel bilginin üretilmesi ve örgütsel belleğin oluşması modellenmektedir. Oluşan ağ bize örgütsel koordinasyon ağının mevcut durumunu model üzerinden yansıtmaktadır.

3.7.1 Mevcut durum analizi

İşletmenin mevcut Endüstri 3.0 durumunun analizini yapabilmek için seçilen iki hat üzerinde görevlerin ve makinelerin bağlı bulunduğu istasyonlar belirlenmiştir. İstasyonlara bağlı olarak çalışan örgüt üyeleri, hatta tanımlanmış görevler ve bu görevlerin yapılmasını sağlayan teknolojiler tanımlanmıştır. Kavramsal modelde sınıflandırılan görevlere göre koordinasyon ağlarındaki etkileşimler belirlenerek ağ-bağ analizleri yapılmıştır.

3.7.1.1 Manuel montaj hattı

Manuel Montaj Bölümü'nün mevcut durumunun koordinasyon ağlarına göre modellenenebilmesi için hat üzerindeki çalışanlar, makineler ve görevler ayrıştırılmış ve sınıflandırılmıştır. Bununla birlikte hat üzerinde var olan 4 istasyona ek olarak hattın devamını farklı görevlerin gerçekleştiği diğer 3 kısım da kodlamada kolaylık sağlaması açısından istasyon olarak adlandırılmış ve istasyon sayısı 7'ye çıkmıştır.

Üyeler, görevler ve araçlar bağlı bulundukları istasyonla eşleştirilmiştir. Tablo 13 manuel montaj bölümünün gözleme dayalı mevcut durumunu özetlemektedir.

Tablo 13. Manuel Montaj Hattı Mevcut Durum Analizi

Lokasyon	Üye	Araç	Görev	Görev Tanımı
(Hareketli)	Arabacı (1)	Kart arabası	Görev 1 ve 11	Boş kartları arabayla hattın başına getirme, Lehimlenmiş kartları metal arabalara yerleştirme
İstasyon 1-4	Operatörler (7)		Görev 2-8	Elle montaj
İstasyon 5		Flux makinesi	Görev 9	Flux püskürtme
İstasyon 6		Lehim makinesi	Görev 10	Lehimleme
İstasyon 7	Kontrol operatörleri 1. grup (5)	Elektrik dayanıklılık ölçüm cihazları	Görev 12	Elektrik dayanıklılık kontrolü
İstasyon 8	Kontrol operatörleri 2. grup (8)	Elektrik kontrol kabloları	Görev 13	Elektrik akımı kablo kontrolü
İstasyon 9	Kontrol operatörleri 3. grup (2)	Bilgisayar yazılımlı kontrol makinesi	Görev 14	Monitörden son kontrol
(Hareketli)	Bölüm şefi (1)		Görev 15	Tüm hattın kontrolü
(Hareketli)	Başmühendis (1)		Görev 16	Çalışanların periyodik eğitimi
(Hareketli)	Başmühendis (1)		Görev 17	Bölüm şefinin denetimi

Manuel montaj hattındaki istasyonları, çalışanları, makineleri ve görevleri bağlayan koordinasyon ağını oluşturan bağlantıların her birinin modele dahil edilmesi bilginin nerede saklandığı ve hangi etkileşimlerle ne yönde bilgi aktarımı yapıldığını anlayabilmek için model kurgusunun önemli aşamalarından biridir. Manuel montaj hattının etkileşim ağları tam listesi aşağıda EK 1’de gösterilmektedir.

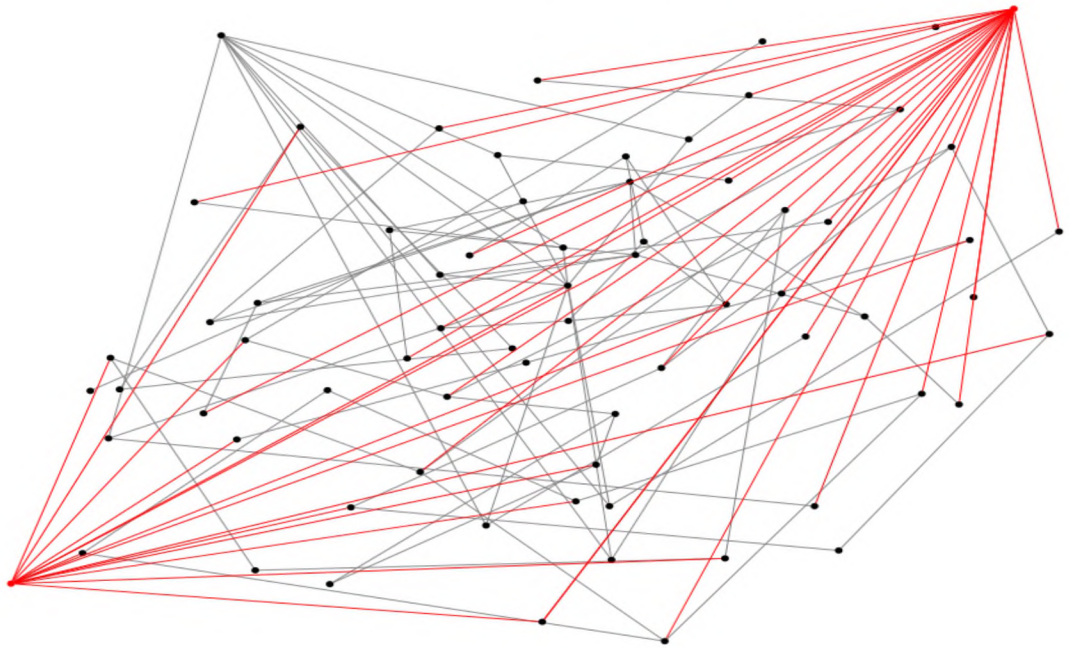
Bu bilgiler ışığında manuel montaj hattında tanımlı ve birbirini takip eden görevler üzerinden örgütsel bilginin depolandığı ve aktarıldığı teorik bir koordinasyon ağ modeli geliştirilmiştir. Model kurgusu, yapılan işin karmaşıklığına ve tekrarlanma sıklığına göre sık basit, sık zor, rutin, nadir basit ve nadir zor görevler olarak ayrıştırılarak tasarlanmıştır. Manuel montaj hattında örgütsel bilginin üye-görev-arac ağlarında aktarımının mevcut durumu aşağıda Tablo 14’te modellenmiştir:

Tablo 14. Manuel Montaj Hattı Mevcut Koordinasyon Ağı

Görev 1	SBÜ	SZÜ	RÜ	NBÜ	NZÜ
Görev (2-7)	SBÜÜ	SZÜÜ	RÜÜ	NBÜÜ	NZÜÜ
Görev 8	SBÜA	SZÜA	RÜA	NBÜA	NZÜA
Görev 9	SBA	SZA	RA	NBA	NZA
Görev 10	SBA	SZA	RA	NBA	NZA
Görev 11	SBÜ	SZÜ	RÜ	NBÜ	NZÜ
Görev 12	SBAÜ	SZAÜ	RAÜ	NBAÜ	NZAÜ
Görev 13	SBAÜ	SZAÜ	RAÜ	NBAÜ	NZAÜ
Görev 14	SBAÜ	SZAÜ	RAÜ	NBAÜ	NZAÜ
Görev 15	SBÜÜ SBÜA	SZÜÜ SZÜA	RÜÜ RÜA	NBÜÜ NBÜA	NZÜÜ NZÜA
Görev 16	SBÜÜ	SZÜÜ	RÜÜ	NBÜÜ	NZÜÜ
Görev 17	SBÜÜ	SZÜÜ	RÜÜ	NBÜÜ	NZÜÜ

Manual montaj hattının mevcut analizi üzerinden NodeXL programından hattın ağ-bağ analizi yapılmıştır. Mevcut network Şekil 12’de ayrıntılı olarak gösterilmektedir.

Şekil 13. Manuel Montaj Hattı Ağ-Bağ Analizi



Ajan temelli modelleme yaparken üyeler, araçlar yaptıkları işlere göre ajan ırkları olarak (breed) tanımlanmakta, istasyonlar ortam ajanı olarak ele alınmaktadır. Bölüm şefi ve eğitim mühendisi sistemde belirli periyodik aralıklarla hat üzerindeki ajanlarla etkileşim kuran hareketli ajanlar (walker agents) olarak ele alınmaktadır.

3.7.1.2 Otomatik dizgi hattı

Benzer bir modelleme otomatik dizgi hattı için de planlanmıştır. Hattı oluşturan makineler ile hatta görev yapan çalışanlar ve hattın tanımlı görevleri ajanlar olarak kabul edilmektedir. Üyelerin görevler aracılığıyla araçlarla etkileşimi ve araçların görevler vasıtasıyla konveyör üzerinde birbirleriyle etkileşimi hattın bağlantı ajanları olarak tanımlanmaktadır. Burada da örgütsel bilginin görevler vasıtasıyla depolandığı ve aktarıldığı kabulünden yola çıkarak bilginin görevler vasıtasıyla üyeden araca, üyeden üyeye, araçtan üyeye, araçtan araca aktarım yönü incelenmiştir. Bununla birlikte makinelerin bulundukları konumda sabit olması sebebiyle üyelerin ve araçların bulundukları ortamla etkileşimleri de dikkate alınmaktadır.

Böylece çevreyle etkileşime bağlı olarak, bu hattın sabit ajanları ve hareketli ajanları tanımlanmış, ajanların etkileşimleri ve etkileşimlerin yönü belirlenmiştir. Onuncu istasyonu ele alırsak örneğin; SAKİ makineleri anakartın kontrolü görevini yerine getirmektedir. Bununla birlikte makinelere bağlı monitörler aracılığıyla SAKİ operatörleri hata tespiti görevini ifşa etmektedirler. Burada üyeler ve araçlar modelin ajanları, görev-arac ve görev-arac-üye etkileşim ağları da modelin bağlantı ajanları olan link'ler olarak ifade edilmektedir. İşlemin gerçekleştiği onuncu istasyon ise modelde sabit çevre ajanı olan patch'leri oluşturmaktadır.

Bütün istasyonlara bağlı görevler ve bu görevlerden sorumlu olan üye ve araçlar tespit edilip tüm bağlantılar ortaya konduğunda; karmaşık sistemi oluşturan mikro bileşenlerin rutin işlerini tekrarlaması ile karmaşık sistemi nasıl oluşturduğunu gözlemlemek mümkün olabilmektedir. Otomatik dizgi hattının lokasyonlar bazında dağıtılan ajanlarının mevcut durum analizi Tablo 15'te gösterilmektedir. Otomatik dizgi hattında örgütsel bilginin depolandığı ve aktarıldığı koordinasyon ağlarının görevlerin tekrarlanma sıklığı (nadir, rutin, sık) göre ve karmaşıklığına (basit, rutin, zor) göre dağılımı ise Tablo 16'da gösterildiği gibi modellenmiştir.

Tablo 15. Otomatik Dizgi Hattı Mevcut Durum Analizi

Lokasyon			Görev	Görev Tanımı
İstasyon 1	Operatör (1)		Görev 1	Malzemenin dizilmesi
İstasyon 1	Bölüm Şefi (2) vardiyalı		Görev 1	Malzemenin dizilmesi
İstasyon 2		Lehim makinesi (1)	Görev 2	Anakart üzerinde gerekli yüksekliklerin ayarlanması
İstasyon 2	Sensör	Lehim Makinesi	Görev 2	Anakart üzerinde gerekli yüksekliklerin ayarlanması
İstasyon 3	Bölüm Şefi (2) vardiyalı	Makaralar (16)	Görev 3	Makaraların elle takılması
	Bulut		Görev 4	Üretici firmanın ürün şablonunun ağ üzerinden bilgisayara aktarılması
İstasyon 3	Bölüm Şefi (2) vardiyalı	Dizgi makineleri- Bilgisayarlar (2)	Görev 4	Ürün şablonunun kurulumu
İstasyon 3	Dizgi makineleri- Bilgisayarlar (2)	Dizgi makineleri (2)	Görev 4	Bilgisayardaki ürün şablonunun makineye aktarılması
İstasyon 3		Dizgi makineleri (2)	Görev 5	Dizgi
İstasyon 3	Bölüm Şefi (2)	Makaralar (16)	Görev 6	Makaralar bitip bitmediğinin kontrolü ve bittiyse yenisinin elle takılması
İstasyon 8		Montaj makinesi (1)	Görev 7	Koordinatlar doğrultusunda otomatik montaj
İstasyon 9	Fırın operatörü (1)	Fırın (4)	Görev 8	Isı ölçüm derecesinin girilmesi
İstasyon 9		Fırın (4)	Görev 9	Fırınlama
İstasyon 10	SAKİ makinesi (4)	Bilgisayar (4)	Görev 10	Anakartın fotoğraflanması ve fotoğrafın bilgisayara aktarılması
İstasyon 10	SAKİ operatörü (4)	SAKİ makinesi, Bilgisayarlar (4)	Görev 11	Bilgisayarda kayıtlı ürünün önceki modeli ile yeni fotoğrafın kıyaslanması, hata tespiti, red-onay
İstasyon 10	SAKİ operatörü (4)		Görev 12	Reddedilenleri ayırma
(Hareketli)	Bölüm Şefi (2) (vardiyalı)	Görev 1-12	Görev 13	Bütün hattın kalite kontrolü
(Hareketli)	Başmühendis (1)	Görev 13	Görev 14	Hattın işleyişinin denetimi
(Hareketli)	Başmühendis (1)	Bölüm Şefi (2)	Görev 15	Kalite mühendislerinin IPC eğitimi

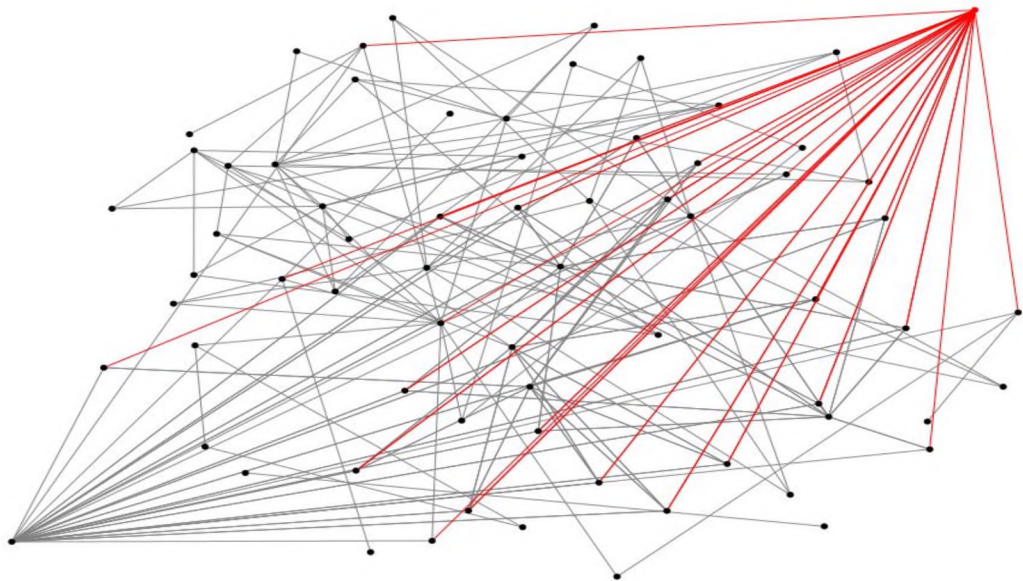
Yukarıda belirlenen on beş göreve göre; otomatik dizgi hattındaki istasyonları, çalışanları, makineleri ve görevleri bağlayan koordinasyon ağını oluşturan bağlantıların tam listesi ise aşağıda Ek 2’de gösterilmektedir.

Tablo 16. Otomatik Dizgi Hattı E3.0 Koordinasyon Ağı

Görev 1	SBÜ	SZÜ	RÜ	NBÜ	NZÜ
Görev 2	SBAA	SZAA	RAA	NBAA	NZAA
Görev 3	SBÜA	SZÜA	RÜA	NBÜA	NZÜA
	SBAA	SZAA	RAA	NBAA	NZAA
Görev 4	ASBÜ	ASZÜ	ARÜ	ANBÜ	ANZÜ
	SBÜA	SZÜA	RÜA	NBÜA	NZÜA
	SBAA	SZAA	RAA	NBAA	NZAA
Görev 5	SBA	SZA	RA	NBA	NZA
Görev 6	SBÜA	SZÜA	RÜA	NBÜA	NZÜA
	SBAA	SZAA	RAA	NBAA	NZAA
Görev 7	SBA	SZA	RA	NBA	NZA
Görev 8	SBÜA	SZÜA	RÜA	NBÜA	NZÜA
Görev 9	SBA	SZA	RA	NBA	NZA
Görev 10	SBAA	SZAA	RAA	NBAA	NZAA
Görev 11	SBAÜ	SZAÜ	RAÜ	NBAÜ	NZAÜ
Görev 12	SBÜ	SZÜ	RÜ	NBÜ	NZÜ
Görev 13	SBÜSB	SZÜSZ	RÜR	NBÜNB	NZÜNZ
Görev 14	SBÜSB	SZÜSZ	RÜR	NBÜNB	NZÜNZ
Görev 15	SBÜÜ	SZÜÜ	RÜÜ	NBÜÜ	NZÜÜ

Otomatik dizgi hattının mevcut durumunun ağ-bağ ilişkilerinin detaylı olarak gösterildiği network analizi ise Şekil 14’te gösterilmektedir.

Şekil 14. Otomatik Dizgi Hattı Ağ-Bağ Analizi



3.7.2 Endüstri 4.0'a geçiş süreci

Vaka olarak seçilen işletme 1983 yılında kurulmuş olup teknolojik yatırımlarını büyük oranda 90lı yıllarda yapmıştır. Savunma sanayinde, medikal cihazlarda, televizyonlarda ve daha pek çok alanda elektronik cihazlarda kullanılabilecek çeşitlilikte anakart üretebilecek teknik altyapıya sahiptir. Aynı sektörde faaliyet gösteren büyük ölçekli bir işletmenin kitlesel üretimine ulaşmasa da tam kapasite çalıştığında 840.000 adede ve gerekli durumlarda fazla mesailerle üretim kapasitesini 1.000.000 adede kadar çıkarabilmektedir. Aynı zamanda KOBİ olmanın getirdiğı esneklik avantajıyla sıkıntı yaşamadan üretim hattını uyarlayarak yılda 300 farklı ürün seçeneğı sunabilmektedir. Çalışan devir hızının az olması, dizgi ve montaj hattında çalışanların 10-15 yıldır işletmenin çalışanı olması sebebiyle ve belli istasyonlarda çalışan kişilerin birbirlerinin işlerini de yapabilecek şekilde eğitilmeleri sayesinde, eleman eksikliğinde konveyörün durması söz konusu değildir. Bununla birlikte, elektronik sektöründe faaliyet gösteren işletmenin gerek çalışanların sağlığı (elektrik çarpmasına karşı giyilebilir zorunlu topraklama ekipmanları, sürtünmesiz kıyafet ve ayakkabı zorunluluğı gibi) gerek ürünlerin hassasiyeti açısından (manyetizmayı bozacak telefon, tablet gibi elektronik cihazların fabrikanın iç alanına alınmaması gibi) titizlikle uyguladığı birçok kural ve uygulama vardır. İşe yeni başlayan bütün çalışanlar bu konularda detaylı olarak bilgilendirilmektedir. Uzun yıllar boyunca işletmede çalışanlar kurallara uyulmadığında ortaya çıkan ciddi tehlike ve riskleri deneyimleyerek öğrenmişlerdir. Endüstrinin bilgi yoğun bir sektör olması sebebiyle, örgütün bütün hiyerarşik kademelerinde örgütsel öğrenme düzeyinin yüksek olduğunu söylemek yanlış olmaz. Ancak ürün çeşidinin fazla olması üretilen ürünlerin unutulmasına sebep olmakta ve her defasında yeniden eğitimlerle hatırlatılması gerekmektedir. Eğitim başmühendisin sorumluluğundadır. Her yeni üründe yeniden eğitim verilmesi başmühendise zaman maliyeti yaratan bir durumdur. Eğitimlerin basılı dokümantasyonları detaylı olarak hazırlanmış ama dosyalar dolusu bu dokümantasyonlara ancak kalite kontrol mühendisi olan bölüm şeflerinin ulaşım yetkisi var. Yeni bir ürün siparişı geldiğinde verilen eğitim sonrası çalışanların önüne bu belgeler bölüm şefi tarafından yapıştırılıyor ve çalışanlar takıldıklarında bu kağıtlardaki çizimlere bakarak işlerine devam ediyor.

İşyerinde dokümantasyona son derece önem veriliyor. Yalnızca eğitimler değil, işyeri güvenlik kuralları, makinelerin işleyişi, bozulması durumunda izlenecek adımlar ve her fonksiyonun görevleri ve işlerin yürütülmesiyle ilgili yönetimce alınan kararlar vs. ayrıntılı olarak belgelenmekte ve saklanmaktadır. Ne var ki yıllar içinde o kadar çok dosya birikmiş ki kalite kontrol mühendisleriyle yapılan görüşmede hangi ürünle ilgili bilgilerin hangi dosyada olduğunu bulmakta zorluk çektikleri görülmüştür.

Çalışmanın ilk kısmında detaylı olarak anlatıldığı üzere E4.0'ın dijital, fiziksel ve biyolojik üç boyutu vardır ve her bir boyutun farklı yenilikleri söz konusudur. Seçilen vaka üzerinde ve gözlemlenen iki hat boyunca bu boyutların hangilerinin ne derece uygulanabileceği üzerine işletmenin başmühendisi ve kontrol mühendisleriyle pek çok kez görüşmüş ve farklı alternatifler üzerinde düşünülmüştür. E4.0'ın biyolojik boyutu daha çok tıp ve kimya endüstrilerinin konusu olduğundan, dijital ve fiziksel boyut üzerine yoğunlaşmıştır. Olası fikirler üzerinde beyin fırtınası yapılırken, otomasyon-ogmantasyon ikileminde (Raisch ve Krakowski, 2020) yalnızca yöneticilerin değil, doğrudan üretimden sorumlu mühendislerin de tam otomasyonu idealize ettikleri gözlemlenmiştir. İlk etapta, manuel dizgi hattında çalışan 25 kişinin ve hattaki eski teknoloji dev makinelerin işini yapabilecek çok yüksek maliyetli son teknoloji ürünü tek bir makineyle manuel montaj hattında çalışan herkesin işten çıkarılıp zamandan, işçi giderlerinden ve montaj hattının kapladığı alandan mekânsal olarak tasarruf yapılabileceği fikri, bu hattan sorumlu mühendislerin kendilerinin de işten çıkarılması gereğine rağmen, mühendislerin E4.0'a geçiş için uygun gördükleri ideal çözüm olmuştur. Bu noktada, E4.0 sanayi devriminin ortaya çıkışında temel prensiplerden birinin insan odaklılık olduğu, tam otomasyon yerine insanların gelişen teknolojiye uygun olarak sürekli eğitilmesi, onlara yeni teknolojileri kullanabilecek bilgi ve becerilerin kazandırılmasıyla geliştirilmiş işgücünün yaratılması gereğinin Türkiye dahil bütün ülkelerin dönüşüm yol haritalarının stratejilerinin temelini oluşturduğu konusunda mühendislere bilgilendirmeler yapılmıştır. Ayrıca, çalışmanın neden bir KOBİ özelinde yapıldığı ve E4.0'a geçiş simülasyonun KOBİ'ler için neden önemli olduğu anlatılmıştır. Dünyanın pek çok ülkesinde istihdamın büyük kısmını sağlayan; ancak, finansal sıkıntılar nedeniyle büyük işletmelerle rekabette dezavantajlı olan KOBİ'lerin dijital dönüşümde daha da dezavantajlı duruma düşmemesi için, çok

yüksek maliyetlere katlanarak bütün örgüt tasarımı değişirmeden, mevcut örgüt yapısı üzerinden öngörülebilir bir dönüşümü nasıl yapabileceği üzerine düşünülmesi hususunda yönlendirme yapılmıştır. Bunun üzerine, yüksek maliyetli gelişmiş robotik sistemlerin kurulması ve anakartların dev üç boyutlu yazıcılarda yazılması fikirlerinin KOBİ'lerin E4.0'a ilk geçiş safhasında hayata geçirilmesi uygun görülmemiştir. Bu durumda, E4.0'ın fiziksel dönüşüm boyutu da geçişin ilk aşamasında değil, sonraki aşamalarında değerlendirilebilecek çözümler olarak çalışmanın kapsamı dışında tutulmuştur.

Mevcut durumda seçilen KOBİ için en az maliyetli olan dijital dönüşüm boyutudur: Dijital dönüşüm için fabrikanın bütün safhalarında bulut uygulamasının kullanılması ve sistemin bir ağ üzerinden takip edilebilmesi için gerekli noktalarda sensör teknolojisinden faydalanarak siber-fiziksel sistemlerin kullanılması ve uygulanabilecek kısımlarda yapay zekalı yazılımların sisteme entegre edilerek makine öğrenmesi sağlanması geliştirilen çözüm önerileridir.

- Sensör teknolojisi ve makine öğrenmesi sayesinde özellikle bölüm şefleri anakartları tek tek kontrol etmek ve kusurlu olanları ayırmak gibi mühendislik gerektirmeyen işlemlerle vakit harcamayarak işyerinde geçirdikleri zamanı yeni işlerin tasarımı, planlanması gibi daha verimli işlerde değerlendirebilir. Kullanılan teknolojinin eski olması sebebiyle işletmede dijital dönüşümün yapıp yapılamayacağı üzerinde düşünülmüş ve mühendislerce bunun mümkün olduğu kullanılan makinelerin çoğunluğunun bilgisayarlara bağlı olduğu ve bilgilerin bilgisayarlar aracılığıyla bulut sistemine aktarılabilmesi iddia edilmiştir.
- İşletmenin dokümantasyonun arşivlenmesi ve hiyerarşik ulaşım yetkisi sorunu da belgelerin buluta aktarılması ve bütün çalışanların ulaşabileceği bir ağda depolanmasıyla çözülmüş olacaktır.
- Benzer şekilde, eğitimlerin videoya kaydedilerek ağda istenen her zaman geri çağrılabilmesi hem başmühendisin aynı eğitimleri tekrar tekrar vermesi sebebiyle zaman kaybetmesinin önüne geçecek ve böylece daha farklı konulara daha fazla zaman ayırarak daha verimli çalışmasını sağlayacak, hem de çalışanların dilediği zaman eğitimlere tekrar ulaşarak kendi kendilerine öğrenmenin önünü açacak ve görsel anlatım hata oranını azaltacaktır. Ne var

ki, kablosuz ağ bağlantısı elektronik ortamda manyetik alanın bozulmasına sebep olduğu için, bulut bağlantısının üretim alanının dışında kullanılması gerekmektedir. Çözüm fabrika alanı içine kablolu monitörlerden birkaç tane daha eklemek olabilir. Üretilen ürünün hassasiyetinden dolayı eş zamanlı veri akışı sağlanamasa da işlerin yapılması esnasında ağ üzerine kaydedilmiş bilgilerden faydalanmak üretimin hata payını artıracak, süreçlerin işleyişinde toplam kalitenin artmasını sağlayacaktır.

- Sanal ağda toplanacak ve bulut üzerinde depolanacak olacak verilerin bölüm şefleri ve diğer kontrol mühendisleri tarafından sanal ortama aktarılması gerekmektedir.

3.7.2.1 Manuel montaj hattında koordinasyon ağlarında değişim

Manuel montaj hattının anakart üzerine parçaların takıldığı ilk kısmında operatörlerin önüne ağ üzerinde bütün ürün şablonlarının bulunduğu kablolu tabletler konulabilir ve çalışanlar bütün şablonların görsellerini doğrudan ürünün hemen önünde göz hizasında görebilirler. Görselin doğrudan önlerinde olması hata payını azaltacaktır. Ekranda görüntünün büyüklüğü ayarlanabileceğinden kâğıttan daha kolay takip edilebilecektir. Tabletler yoluyla göreve ilişkin bilgi öncelikle araçlara ve araçlardan insanlara aktarılacaktır. İşletme için yüksek maliyet içermeyen bu değişimin yapılabilmesi için öncelikle bölüm şefinin şablonları bilgisayara yüklemesi ve bulut üzerinden bilginin operatörlerin önündeki ekrana aktarılması gerekmektedir. Bu durumda manuel montaj hattına daha önce varolmayan yeni bir görev eklenmektedir. Bölüm şefinin iş yükünü tek seferlik artıracak olan bu yeni görev sonucunda ürün şablonlarının bilgisi bulut üzerinde toplanacaktır. Daha önce kâğıt dökümanlarla yürütülen bu süreçte hem kâğıt ve mürekkep kullanımı bırakılarak daha sürdürülebilir çevre dostu bir uygulamaya geçilecek hem de dokümantasyon maliyeti ortadan kaldırılacaktır. Bulut bilişimin kullanılması Endüstri 4.0 teknolojileri içinde en kolay entegre edilecek dijital dönüşüm aracıdır. Ancak etkisi büyüktür. Maliyetin azalması ve işin etkililiğinin artmasının yanı sıra alt kademe çalışanların bilgiye aracısız ulaşmasını sağlaması bakımından örgütsel öğrenmeye önemli bir katkı sağlamaktadır. Sözü geçen yeniliğin örgütsel bilginin saklanması ve aktarımında yaratacağı değişim şu şekildedir:

0) E3.0: → E4.0: GÜ-ÜA (GÜA)

Bilgiler buluta yüklendikten sonra boş anakartların montaj hattının başına taşınması gerekmektedir. Taşıma işlemi için E4.0 teknolojisi ile üretilmiş bir robotun kullanılabileceği üzerinde düşünülmüş olsa da bir KOBİ için maliyetin çok yüksek olması ve robotun bozulma durumunda üretimin aksamasına ihtimali sebebiyle malzemeleri bir çalışanın taşımaya devam edilmesi kararlaştırılmıştır. Bu durumda arabacının görevi yeni durumda da aynı kalacaktır:

1) E3.0: GÜ → E4.0: GÜ

Anakartlar montaj hattının başına geldiğinde operatörler komponentlerin elle anakarta takma görevine başlayacaktır. Mevcut durumda bu göreve dair bilgiye önlerindeki kağıtlardan ulaşmaktadırlar. Ürünlerin şablonları buluta, buluttan da tablete aktarıldığında bilgi akışı araçtan araca ve araçtan üyeye doğru değişecektir. Her bir operatör kendi görevini tamamladığında sırayla bir sonraki üye göreve devam edecektir. Aynı işlem montaj hattındaki 7 tablet ekran ve 7 operatör arasında tekrarlanacaktır. Bulut teknolojisinin ve tablet bilgisayarların devreye girmesi bilgi akışını daha karmaşık bir örüntüye dönüştürmektedir. Elle montajın gerçekleştiği bu 4 istasyonda Görev 2’den Görev 9’a kadar bilgi akışı şu şekilde değişecektir:

**2) E3.0: GÜ-ÜÜ (GÜÜ) →
E4.0: GA-AA-AÜ-ÜÜ (GAA-GAÜ-GÜÜ)**

Operatör 7 diğer operatörler gibi bulut üzerinden tablete gelen bilgi çerçevesinde anakarta takılan komponentlerin tamamının yerleştiğini elle kontrol ederek anakartları konveyörün üstüne bırakarak lehim makinesi iletmektedir. Kendisinden sonra başka bir üye olmadığı için görevini tamamlayarak anakartları flux

makinesine iletmektedir, bu açıdan Görev 9'un son aşaması üye-üye yerine üye-araç olarak diğer operatörlerden farklılaşmaktadır.

3) E3.0: GÜ-ÜÜ (GÜA) →

E4.0: GA-AA-AÜ-ÜA (GAA-GAÜ-GÜA)

Bu hattın flux ve lehim makineleri yalnızca yapıştırıcı püskürtme ve lehimleme yapan eski teknolojiyle çalışan büyük ama basit makinelerdir. Bu iki makinenin dijitalleşmesi makinelerin ağa bağlanabilen yeni modelleriyle değiştirilmesiyle mümkün olmaktadır. Ancak bu makinelerce yapılan işlem yüksek bilgi gerektirmeyen basit işlemler olduğundan bu kısmın dijitalleşmesi işletmenin verimliliği açısından çok büyük fark yaratmayacaktır. Bu sebeple bu kısımda ek bir maliyete katlanmak bu aşamada gerekli görülmemiştir:

4) E3.0: GA → E4.0: GA (Lehim Makinesi)

5) E3.0: GA → E4.0: GA (Pota Makinesi)

Hattın üçüncü aşaması olan elektrik testlerinin yapıldığı kontrol kısmının mekanikten dijitale dönüşümü yine aynı şekilde yüksek maliyetli bir makine almak opsiyonu haricinde geçiş dönemi şartlarında mümkün görünmemektedir. Elektrik dayanıklılık ölçümlerini bu ölçümü yapan makine sayesinde kontrol operatörleri yapmaktadır. Benzer şekilde elektrik akımının gelip gelmediği elektrik kabloları vasıtasıyla kontrol operatörlerince gerçekleştirilmektedir. Elektrik testlerinin son aşamasında anakartın uygunluğunun son kontrolü görevi bilgisayar yazılımlı kontrol makineleri aracılığıyla yine kontrol operatörlerince gerçekleştirilmektedir. Üç aşamada da görevin bilgisi araçlarda depolanmakta ve araçlardan insanlara aktarılmaktadır.

6) **E3.0: GA-AÜ (GAÜ)** → **E4.0: GA-AÜ (GAÜ)**

7) **E3.0: GA-AÜ (GAÜ)** → **E4.0: GA-AÜ (GAÜ)**

8) **E3.0: GA-AÜ (GAÜ)** → **E4.0: GA-AÜ (GAÜ)**

Bu kısımda yalnızca eğitimlerin dijitalleşmesi ve kontrol operatörlerinin bölüm şeflerine ve başmühendise daha az soru sormasıyla orta kademe yöneticilerin ve tepe yöneticinin rutin iş yükünü hafifletmek mümkün olabilecektir. Dijitalleşmenin bu işletme açısından orta ve üst düzey yöneticilerin verimliliğini artıracığı öngörülmüştür. Bölüm Şefinin verileri dijital ortama aktarması tek seferlik iş yükünü artırsa da bilginin bulut üzerinden ekranlara aktarılması sayesinde uzun vadede bölüm şefinin hattı kontrol etme sıklığını da azaltacaktır. Ancak; yine de bölüm şefinin hat boyunca görevli üyeleri ve araçları kontrol etme görevi devam edecektir.

9) **E3.0: GÜ-ÜÜ (GÜÜ)- GÜ-ÜA (GÜA)** → **E4.0: GÜ-ÜÜ (GÜÜ)- GÜ-ÜA (GÜA)**

Başmühendis bu hatta her yeni ürün üretimi öncesinde eğitimler vermektedir. Endüstri 4.0'a geçişte bu eğitimlerin de dijital kayıtlarının alınması ve bu kayıtların buluta aktarılmasına karar verilmiştir. Bu sayede aynı zamanda genel müdür yardımcısı olan ve tepe yönetim ekibinin bir üyesi olan başmühendis üretilen her yeni üründe aynı eğitimleri tekrar tekrar vermek durumunda kalmayacaktır. Böylece başmühendis işyerinde geçirdiği zamanı örgütsel verimliliği artıracak diğer görevlerine odaklanarak geçirebilecektir. Aynı zamanda yeni ürünlerin bilgisi yalnızca başmühendisin belleğinde saklı kalmayacak ve yalnızca başmühendisin fiili eğitim vermesi yoluyla diğer üyelere aktarılmayacaktır. Aksine örgütsel bilginin üyeden buluta yani teknolojiye aktarılması sayesinde, ilgili her çalışan bilgiye doğrudan, dilediği vakit ve dilediği sıklıkta ulaşabilecektir. Bu durumda başmühendisin diğer üyelerle etkileşimi azalacak ancak eğitimlerini dijital ortama aktarması gerekecektir. Başmühendisin buluta verileri yüklemesi hatta yeni bir üye-arac bağlantısının eklenmesini gerektirmektedir.

10) E3.0: GÜ-ÜÜ (GÜÜ) → E4.0: GÜ-ÜA (GÜA)

Buluta yüklenen eğitimlere operatörler hemen göz hizalarına yerleştirilmiş olan tabletlerden eğitimleri canlı olarak izleyebilecek ve ürün şablonlarının görsellerine ulaşabileceklerdir. Örgütsel bilgi tabletlerden üyelere aktarılacaktır:

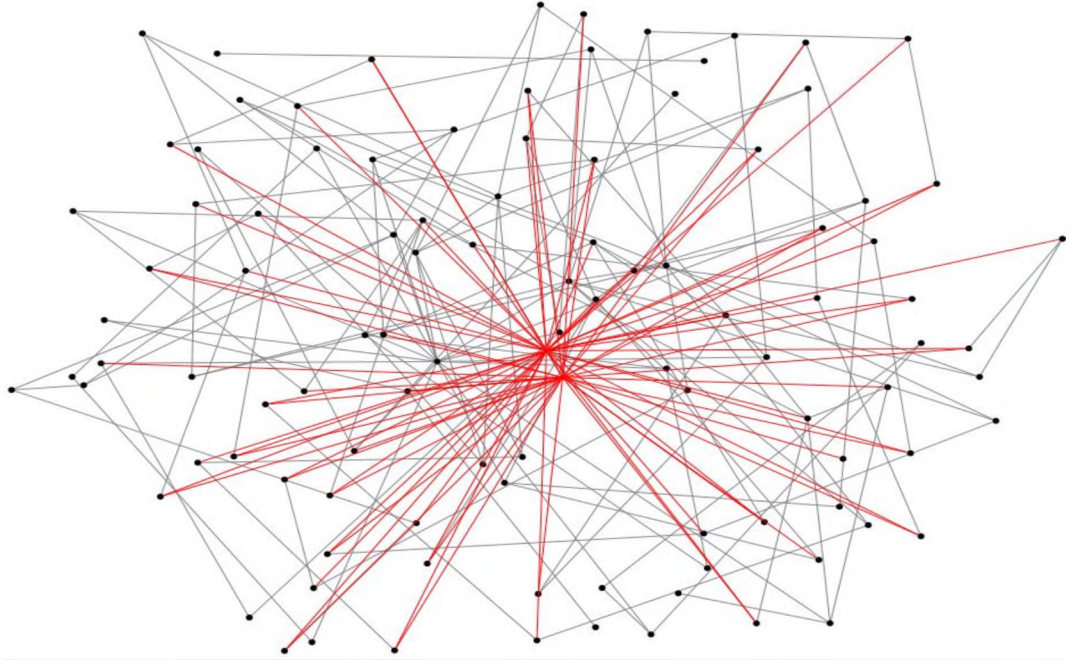
11) E3.0: GÜ-ÜÜ (GÜÜ) → E4.0: GA-AÜ (GAÜ)

Manuel montaj hattında tanımlı son görev başmühendisin bölüm şefinin işini yapmasını denetlemesidir. Bu görev E4.0'a geçişte de aynen devam edecektir.

12) E3.0: GÜ-ÜÜ (GÜÜ) → E4.0: GÜ-ÜÜ (GÜÜ)

Yukarıda açıklanan değişiklikler doğrultusunda manuel montaj hattının E4.0'a geçiş sonrası koordinasyon ağları şekil 15'de gösterilmektedir.

Şekil 15. Manuel Montaj Hattı E4.0 Ağ-Bağ Analizi



Endüstri 4.0'ın belirlenen boyutlarının manuel montaj hattına entegre edilmesi sonucu değişen bağlantılar listesi EK 3'te gösterildiği gibidir.

Eklenen yeni bağlantılar ve değişen bağlantılar doğrultusunda montaj hattının Endüstri 4.0 geçiş sürecinde bilginin depolandığı ve aktarıldığı örgütsel koordinasyon ağı Tablo 17'de gösterildiği gibi değişecektir:

Tablo 17. Manuel Montaj Hattı Endüstri 4.0 Koordinasyon Ağı

Görev 0	SBÜA	SZÜA	RÜA	NBÜA	NZÜA
Görev 1	SBÜ	SZÜ	RÜ	NBÜ	NZÜ
Görev 2	SBAA	SZAA	RAA	NBAA	NZAA
Görev (3-8)	SBAÜ	SZAÜ	RAÜ	NBAÜ	NZAÜ
	SBÜÜ	SZÜÜ	RÜÜ	NBÜÜ	NZÜÜ
Görev 9	SBAÜ	SZAÜ	RAÜ	NBAÜ	NZAÜ
	SBÜA	SZÜA	RÜA	NBÜA	NZÜA
Görev 10	SBA	SZA	RA	NBA	NZA
Görev 11	SBA	SZA	RA	NBA	NZA
Görev 12	SBÜ	SZÜ	RÜ	NBÜ	NZÜ
Görev 13	SBAÜ	SZAÜ	RAÜ	NBAÜ	NZAÜ
Görev 14	SBAÜ	SZAÜ	RAÜ	NBAÜ	NZAÜ
Görev 15	SBAÜ	SZAÜ	RAÜ	NBAÜ	NZAÜ
Görev 16	SBÜÜ	SZÜÜ	RÜÜ	NBÜÜ	NZÜÜ
	SBÜA	SZÜA	RÜA	NBÜA	NZÜA
Görev 17	SBÜA	SZÜA	RÜA	NBÜA	NZÜA
Görev 18	SBAÜ	SZAÜ	RAÜ	NBAÜ	NZAÜ
Görev 19	SBÜÜ	SZÜÜ	RÜÜ	NBÜÜ	NZÜÜ

3.7.2.2 Otomatik dizgi hattında koordinasyon ağlarında değişim

Otomasyon bölümünde ise:

- Son çıkan her ürünün kusurlu olup olmadığının kontrolünün insandan yapay zekaya devredilmesi ve sonrasında makine öğrenmesine bırakılması üretimin bu safhasında önemli ölçüde hızlanma yaratacak ve maliyet avantajı sağlayacaktır.

- Her bir makaranın girişine sensör yerleştirilerek, kontrol mühendisinin makarayı tam zamanında değiştirmesi için uyarı almasını, makarayı değiştirmeyi unutma gibi basit insani hataların üretimi aksatmaması sağlanabilir.
- Burada sensör ve makine öğrenmesi yanı sıra, kartları konveyöre dizme, makara değiştirme, bozuk kartları ayırma işlemini bir robotla yaparak bu hattın en azından tamamen insansız çalışmasının sağlanabileceği de düşünülmüştür. Ancak beklenmedik arızalar olması halinde hızlı aksiyon almak gerektiğinde veya robotun kendisinin bozulma ihtimalinde, arızanın ne kadar sürede çözüleceğinin bilinmediğinden yerine yedek bir robotun da bulundurulması gerektiği vurgulanmıştır. Gerek üretimin aksamasının gerek robotların maliyetinin ve bakım onarım masraflarının bir KOBİ için büyük maliyet yaratacağı üzerinde karar kılınmıştır. Esnek ve sorunların çözümünde bilgi ve tecrübeleri sayesinde daha pratik çözümler uygulayabilen insanların örgütsel belleğine daha çok güvenildiğinden Endüstri 4.0'a geçişin ilk aşamasında bu hattın insansız çalışmasına gerek görülmemiştir. Ancak Saki makinesine yerleştirilen yapay zekâ yazılımı sayesinde hatalı ürünün tespiti ve ayrılması işlemi için 4 Saki operatörüne ihtiyaç kalmamakta, vardiyalı çalışan 2 operatörle Saki makinelerinin kontrolü yapılabilmektedir. Böylece hatta görev alan kişi sayısı 10 yerine 8'e düşürülebilir.
- Hattın E4.0'a geçişte tam otomasyon yerine hibrit çalışması kararlaştırılmıştır. Eski teknolojiler kullanılarak yarı otomasyona geçilmiş bir konveyör hattın sensör teknolojisi nesnelerin interneti ve bir yapay zekâ yazılımı ile makine öğrenmesi sayesinde daha hızlı ve verimli çalışması sağlanabilmektedir.

Otomatik dizgi hattının Endüstri 4.0 dönüşümünde malzemeler yine elle konveyöre yerleştirilmeye devam edecektir. Yukarıda bahsedildiği gibi burada E4.0 teknolojisine uyumlu bir robot kullanmak alternatif olabilirdi. Ancak geçiş aşamasında görevin bir operatör ve vardiyalı çalışan bölüm şeflerinden biri tarafından yerine getirilmesi uygun görülmüştür. Bu durumda Görev 1 üyelerin sorumluluğundadır.

1) E3.0: GÜ → E4.0: GÜ

Lehim makinesinin anakart üzerinde gerekli yüksekliği ayarlamasında mevcut durumda sensör teknolojisi kullanılmaktadır. Yükseklik ayarlaması dizgi makinesine entegre edilen sensör yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Bu hatta E4.0 siber fiziksel teknolojisi kısmen uygulanmaktadır. Mevcut çalışma şekli E4.0 ile uyumlu olduğu için geçiş modelinde de araç-arac arası bilgi akışı olduğu gibi kalacaktır.

2) E3.0: GA-AA (GAA) → E4.0: GA-AA (GAA)

İstasyon 3'te yer alan iki dizgi makinesinin her birinde sekiz makara girişi vardır. Bu hatta iki bölüm şefi vardiyalı olarak görev yapmaktadır. Makaralar, vardiyasında olan bölüm şefi tarafından elle takılmaktadır. Bölüm şefleri kalite kontrol mühendisidir. Makaraların tek tek takılması biraz zaman alsa da Endüstri 4.0'a geçiş aşamasında görevde robotik teknoloji kullanmak tercih edilmemiştir. Bu sebeple, E4.0 modelinde örgütsel bilginin hem dizgi makinesinin işleyişini bilen hem de makaranın nasıl takılması gerektiğini tecrübe ile öğrenmiş olan ve örgütsel bilgi düzeyi yüksek bir üyenin belleğinde depolanmaya devam etmesi kararlaştırılmıştır. Bilgi görev-üye-arac arasında ve makaranın dizgi makinesine takılmasıyla görev-arac-arac arasında bir ağ etkileşiminde saklanmaktadır.

**3) E3.0: GÜ-ÜA (GÜA) – GA-AA (GAA) →
E4.0: GÜ-ÜA (GÜA) – GA-AA (GAA)**

Dizgi makinelerinin her birine bağlı birer bilgisayar bulunmaktadır. Burada yine E4.0 teknolojilerinden bulut bilişim kullanılmaktadır. Müşterilerin ürün şablonu bilgisi ağ üzerinden bu bilgisayarlara akmaktadır. Görevli bölüm şefi ağdan gelen şablona göre bilgisayar üzerinden dizgi makinesine kurulum yapmaktadır. Bu durumda görevle ilgili bilgi buluttan yani araçtan gelmekte ve üyeye ulaşmaktadır. Bilgi araç-görev-üye koordinasyon ağında aktarılmaktadır. Bölüm şefinin bilgisayar üzerinden kurulumu yapması görev-üye-arac ağında bilginin tekrar aktarılmasını ve son olarak görev bilgisinin bilgisayardan dizgi makinesine aktarılmasıyla görev-arac-arac ağında örgütsel bilginin transferi gerçekleşmektedir. Bu durum iki bölüm şefi ve

iki dizgi makinesi için tekrarlanmaktadır. E4.0 teknolojileri bu aşamada uygulandığı için geçiş modelinde değişiklik yapılmadan kullanılmıştır.

4) E3.0: AG-GÜ (AGÜ) – GÜ-ÜA (GÜA) – GA-AA (GAA)
→ **E4.0: AG-GÜ (AGÜ) – GÜ-ÜA (GÜA) – GA-AA (GAA)**

Bir sonraki aşamada bilgisayardan gelen görev bilgisi doğrultusunda dizgi makinelerince anakartın dizgisi yapılmaktadır. Makinenin çalışması E4.0'a geçişte değişmemektedir. Bilgi görevden araca doğru aktarılmaktadır.

5) E3.0: GA → E4.0:GA

Dizgi makinelerine takılan makaralar standart değildir. Üreticiden gelirken standart sapma hatalarıyla gelmektedir ve hangi makaranın daha kısa olduğunu anlamak zordur. Bu sebeple makaralar farklı zamanlarda bitmekte ve üretimin aksamaması için sürekli olarak görevli bölüm şefi tarafından kontrol edilip yenisiyle değiştirilmektedir. Makaraların sürekli kontrol edilmesi gereği bölüm şefinin günlük iş rutinini aksatmakta ve diğer mühendislik görevlerini yerine getirmesinde verimsizlik yaratmaktadır. Bu konuda yüksek maliyet içermeyen ve uygulanabilir olan alternatif E4.0 çözümleri üzerine düşünülmüştür. Bu görevi bir robota devretmek akla yatkın görünse de maliyeti ve bakım onarım masrafları göz önüne alındığında geçişin ilk etabında bulut bilişim ve sensör teknolojisiyle iş stresinin azaltılması ve gereksiz kontroller için zaman harcanmasının önüne geçme sağlanabilmektedir. Sensör adedi, nereye entegre edileceği de mühendislerce tartışılmış ve sonuç olarak dizgi makinelerinde makaraların giriş kısmına sensör takılabileceği kararına varılmıştır. Böylece her iki dizgi makinesine 16 adet sensör yerleştirilerek makaralar bitmeden buluta bilgisi ulaştırılacaktır. Bulut üzerinden bölüm şefinin cep telefonuna hangi makaranın değişmesi gerektiği bilgisi ulaşacak ve bölüm şefi doğrudan ilgili makarayı değiştirecektir. Böylece bölüm şefinin tek tek kontrol yapmasına ve ara kontroller için vakit kaybetmesine gerek kalmayacaktır. Mevcut durumda kontrol etme görevi üyenin

sorumluluğunda iken E4.0'a geçişte sensörlere yani araca devredilecektir. Görev bilgisi sensörden buluta doğru görev-araç-araç ağında aktarılmaktadır.

6) E3.0: GÜ-ÜA (GÜA) → E4.0: GA-AA (GAA)

Makaranın bittiği bilgisinin bölüm şefine aktarılması görevinin buluttan cep telefonuna iletilmesi yeni bir görev-araç-araç ağını oluşturmaktadır. Görev bilgisinin cep telefonundan bölüm şefine aktarılması sırasında görev-araç-üye etkileşimi doğmaktadır. Yeni makarayı dizgi makinesine yerleştirme görevi yine bölüm şefinin sorumluluğundadır ancak bu kez bilgi cep telefonundan gelmektedir. Bu sebeple son aşamada örgütsel bellek görev-araç-üye etkileşimiyle oluşmaktadır. Görev bilgisinin araçlar vasıtasıyla bölüm şefine ulaşması mevcut durumda olmayan ancak E4.0'a geçişte modele dahil edilen yeni görev ağıdır.

**7) E3.0: →
E4.0: GA-AA (GAA) – GA-AA (GAA) – GA-AÜ (GAÜ)**

Bölüm şefinin biten makarayı yenisiyle değiştirmesi Görev 3 ile benzerlik göstermektedir ve E4.0 modelinde de değişmemektedir.

**8) E3.0: GÜ-ÜA (GÜA) – GA-AA (GAA) →
E4.0: GÜ-ÜA (GÜA) – GA-AA (GAA)**

Dizgi tamamlandıktan sonra montaj aşamasına geçilmektedir. Montaj, montaj makinesi tarafından koordinatlar doğrultusunda otomatik olarak gerçekleşmektedir. Bu kısım E4.0'a geçişte de aynı şekilde işlemektedir.

9) E3.0: GA → E4.0: GA

Montaj tamamlandıktan sonra fırınlama işlemi yapılmaktadır. Hatta dört adet fırın bulunmaktadır. Fırınlara ısı ölçümleri bir fırın operatörü tarafından elle girilmektedir. Isı ölçümü ürünün karmaşıklığına göre değişmektedir ve ürünler çeşitlilik göstermektedir. Burada fırın operatörünün bilgi ve tecrübesine güvenilmektedir. Çok çeşitli ürün yelpazesinde her bir ürün için ısı ölçüm yazılımı geliştirmek işyeri için optimal görünmemiştir. Isı ölçüm bilgisinin mevcutta olduğu gibi E4.0'a geçişte de operatörün belleğinde saklanmaya devam edilmesi uygun bulunmuştur.

10) E3.0: GÜ-ÜA (GÜA) → E4.0: GÜ-ÜA (GÜA)

Isı ölçüm bilgileri girildikten sonra fırınlama görevi dört fırın tarafından gerçekleştirilmektedir. Fırınlama bilgisi E4.0 modelinde de mevcutta olduğu gibi görev-araç etkileşiminde saklanmaktadır.

11) E3.0: GA → E4.0: GA

Fırınlama sonrası anakartların fotoğraflanması, fotoğrafların bilgisayara aktarılması ve ürünün önceki üretimi ile karşılaştırılarak hatalı olanların sistemden reddedilmesi ve üretimden çıkarılması gerekmektedir. Fotoğraflama işlemi hattaki dört adet SAKİ makinesi tarafından yapılmaktadır. Her bir Saki makinesine birer bilgisayar bağlıdır ve her bir makineden birer Saki operatörü sorumludur. Fotoğraflama SAKİ makinesince yapılmakta ve bilgisayara aktarılmaktadır. Bilgi görev-araç-araç etkileşimiyle aktarılmaktadır. Bu durum E4.0 modelinde de geçerlidir.

12) E3.0: GA-AA (GAA) → E4.0: GA-AA (GAA)

Modele döndüğünde Saki operatörleri mevcut durumda bilgisayarda kayıtlı olan geçmiş ürün bilgisine bakarak ekran üzerinden kıyaslama yapmakta ve kabul veya

reddi işaretlemektedir. Göreve dair bilgi araç üzerinden üyeye aktarılmaktadır. Yeni durumda görev yapay zekalı yazılımın sorumluluğundadır. Yazılım bulut üzerinden müşteri şablonu bilgisini görev-arac-arac etkileşimiyle almaktadır. Aynı zamanda yazılım bilgisayarda kayıtlı geçmiş fotoğrafın verisini de yine görev-arac-arac etkileşiminde belleğine kaydetmektedir. Öğrendiği bilgiler doğrultusunda yapay zekâ kıyaslama ve hata tespiti görevini yerine getirip üçüncü bir görev-arac-arac ağıyla SAKİ makinesine reddedilenleri ayırma talimatı vermektedir ve Saki makinesi Aşağıda görüldüğü gibi işleri hızlandıran ve kolaylaştıran gelişmiş bir teknolojinin sisteme dahil edilmesi sistemin koordinasyon ağlarını daha karmaşık hale getirmektedir.

13) E3.0: GA-AÜ (GAÜ) →

E4.0: GA-AA (GAA) – GA-AA (GAA) – GA-AA (GAA)

Mevcut durumda SAKİ operatörleri red kararını verdiği anakartları elle tek tek ayırmaktadırlar. Görev-üye etkileşiminde bilgi depolanmaktadır. Ancak yapay zekalı yazılımın sisteme dahil edilmesiyle yukarıda görüldüğü yapay zekadan reddedilenleri ayırma talimatı alan SAKİ makineleri bu görevi yerine getirecek ve reddedilenleri toplu olarak ayırmaktadır. Reddedilenleri ayırma bilgisi üyeden araca geçmiştir. Bilgi görev-arac ağında örgütsel belleğe kaydedilmektedir.

14) E3.0: GÜ



E4.0: GA

SAKİ operatörlerinin görevini yapay zekâ yapmaya başladığında dört operatöre gerek kalmamaktadır. Ancak yapay zekanın hataları tespit etme ve reddedilenleri ayırma görevlerinde hata olması ihtimaline karşı SAKİ operatörlerinden ikisinin dönüşümlü olarak sistemi kontrol etmesi gereklidir. Bu durumda SAKİ operatörlerinin mevcut görevleri iptal edilmiş yapay zekâ ve SAKİ makinesinin görevlerini kontrol etme görevi yeni bir görev olarak tanımlanmıştır. Burada SAKİ operatörlerinin doğrudan bilgi işleme yerine işlenmiş bilgiyi denetlemesi söz

konusudur. Dört yerine iki üye ile görev devam ettirilmekte ancak üyelerin sorumluluğu kendiliğinden artmakta ve üyeler yeni teknolojiye uyum sağlayarak ogmante edilmekte dolaylı personel güçlendirme ortaya çıkmaktadır. Bu görev doğrudan yapay zekayı ya da makineyi değil yapılan işi kontrol etme görevi olduğu için örgütsel bilgi görev-görev arasındaki etkileşimde depolanmaktadır.

15) E3.0:



E4.0: GÜ-ÜG (GÜG)

Bundan sonraki görevler otomatik dizgi hattının istasyonlardan bağımsız olan görevleridir. Bunlardan ilki bölüm şeflerinin hattın işleyişini denetlemesidir. Görevlerin kontrol edilmesi görevlere bağlı üye ve araçların işleyişi hakkında bilgi vermektedir. Burada bilgi akışı üyeden üyeye veya araca doğru değil görevden üyeye, üyeden göreve şeklinde gerçekleşmektedir. Bu durum mevcut için de E4.0'a geçiş senaryoları için de geçerlidir.

16) E3.0: GÜ-ÜG (GÜG)



E4.0: GÜ-ÜG (GÜG)

Bütün fabrikanın işleyişinden sorumlu olan başmühendis otomatik dizgi hattından sorumlu iki bölüm şefinin yaptığı işi denetlemekten de sorumludur. Yine yukarıda olduğu gibi başmühendis kişileri değil onların yaptığı işi yani görevlerini denetlemektedir. Yönetim işi tamamen yapay zekaya devredilmediği sürece -ki uzun vadede bu işletme için olası bir durum değildir- yönetici kontrol görevini yerine getirmeye devam edecektir. Bu nedenle başmühendisin bölüm şefini denetimi görevi E4.0'a geçişte te şu anda olduğu gibi devam edecektir.

17) E3.0: GÜ-ÜG (GÜG)



E4.0: GÜ-ÜG (GÜG)

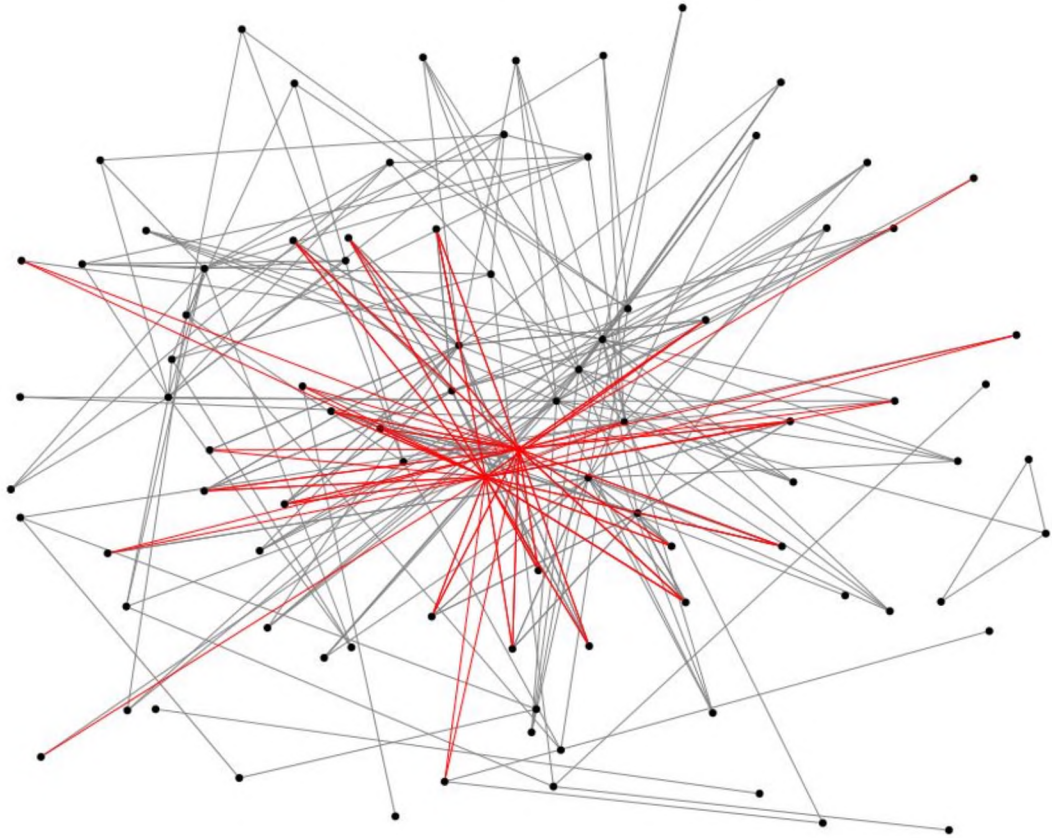
Başmühendisin denetim görevinin yanında personel eğitim görevi de bulunmaktadır. Bölüm şeflerinin periyodik eğitimi ile yeni programları kullanabilmesi

için dönemsel eğitimler vermektedir. Burada manuel montaj hattında olduğu gibi eğitimlerin dijitale aktarılmaması, başmühendisin asları olan ve aynı zamanda orta kademe yönetici pozisyonunda olan bölüm şefleriyle doğrudan temas kurması gerektiği düşünülmüş ve eğitim görevi mevcut durumda olduğu gibi E4.0'a geçiş sürecinde de üye-üye etkileşimiyle yüz yüze yapılması kararlaştırılmıştır.

18) E3.0: GÜ-ÜÜ (GÜÜ) → E4.0: GÜ-ÜÜ (GÜÜ)

Yukarıda açıklanan değişiklikler doğrultusunda manuel montaj hattının E4.0'a geçiş sonrası koordinasyon ağları şekil 16'da gösterilmektedir.

Şekil 16. Otomatik Dizgi Hattı E4.0 Ağ-Bağ Analizi



Sözü geçen Endüstri 4.0 teknolojileri otomatik dizgi hattına entegre edildiğinde bilginin depolandığı ve aktarıldığı koordinasyon ağlarının özeti Tablo 18'de gösterilmektedir. Örgütsel bilginin görevler yoluyla yayıldığı bu işletmede görevler yapılan işin karmaşıklığına göre (basit, rutin, zor) ve tekrarlanma sıklığına göre (nadir,

rutin, sık) olarak sınıflandırılmış ve koordinasyon ağı modeli bu sınıflandırma bağlamında oluşturulmuştur.

Tablo 18. Otomatik Dizgi Hattı Endüstri 4.0 Koordinasyon Ağı

Görev 1	SBÜ	SZÜ	RÜ	NBÜ	NZÜ
Görev 2	SBAA	SZAA	RAA	NBAA	NZAA
Görev 3	SBÜA	SZÜA	RÜA	NBÜA	NZÜA
	SBAA	SZAA	RAA	NBAA	NZAA
Görev 4	ASBÜ	ASZÜ	ARÜ	ANBÜ	ANZÜ
	SBÜA	SZÜA	RÜA	NBÜA	NZÜA
	SBAA	SZAA	RAA	NBAA	NZAA
Görev 5	SBA	SZA	RA	NBA	NZA
Görev 6	SBAA	SZAA	RAA	NBAA	NZAA
Görev 7	SBAA	SZAA	RAA	NBAA	NZAA
	SBAÜ	SZAÜ	RAÜ	NBAÜ	NZAÜ
Görev 8	SBÜA	SZÜA	RÜA	NBÜA	NZÜA
	SBAA	SZAA	RAA	NBAA	NZAA
Görev 9	SBAA	SZAA	RAA	NBAA	NZAA
Görev 10	SBÜA	SZÜA	RÜA	NBÜA	NZÜA
Görev 11	SBA	SZA	RA	NBA	NZA
Görev 12	SBAA	SZAA	RAA	NBAA	NZAA
Görev 13	SBAA	SZAA	RAA	NBAA	NZAA
	SBAA	SZAA	RAA	NBAA	NZAA
	SBAA	SZAA	RAA	NBAA	NZAA
Görev 14	SBA	SZA	RA	NBA	NZA
Görev 15	SBÜSB	SZÜSZ	RÜR	NBÜNB	NZÜNZ
Görev 16	SBÜSB	SZÜSZ	RÜR	NBÜNB	NZÜNZ
Görev 17	SBÜSB	SZÜSZ	RÜR	NBÜNB	NZÜNZ
Görev 18	SBÜÜ	SZÜÜ	RÜÜ	NBÜÜ	NZÜÜ

Mevcut çalışma sisteminde SAKİ makinesinin fotoğraflayıp bilgisayara aktardığı ürün şablonu ile daha önce üretilen ürün şablonunu kıyaslayarak kabul veya red verme görevi dört SAKİ operatörünün görevidir. Bu işi yapmak için makine başına bir kişi olacak şekilde dört kişi görevlendirilmiş olmasına rağmen, her bir anakartın uygunluğunun tek tek kıyaslanması ve hata tespitinin yapılması, kabul/red kararının tek tek verilmesi oldukça uzun süren ve üretimin yavaşlamasına sebep olan bir süreçtir. Otomasyona geçmiş ve kısmen E4.0 teknolojilerinin uygulandığı bu hibrit hattın kontrollerinin tek tek yapılması hattın bütünsel verimliliğini düşürmektedir. Burada yine maliyet gözetilerek E4.0 çözümleri aranmış ve yüksek maliyeti olmayan ve halihazırda başka işletmelerce kullanılan bir yapay zekâ yazılımının SAKİ makinelerine bağlı bilgisayarlara entegre edilmesi uygun görülmüştür. Bu yazılım

fotoğraflanan ürün ile bulut üzerinden geçmiş ürünleri ve müşteri şablonunu kıyaslayarak makineye giren bütün anakartların hata tespitini tek seferde yapabilen ve makineye hatalı olanları ayırma talimatını verebilen bir yazılımdır. Aynı zamanda derin öğrenme ile makine öğrenmesi gerçekleştirebilmekte; öğrendikçe ve belleğine kaydettikçe giderek hata tespitini daha hızlı yapabilmektedir. Bu yazılımın entegre edilmesinde fayda maliyet hesaplaması kabaca yapılmıştır. Yapay zekanın kullanılması sayesinde 4 SAKİ operatörü yerine vardiyalı çalışacak 2 operatörle de son kontroller yapılabilecektir. Başmühendisin hesaplarına göre bu yazılım sayesinde verimlilik yaklaşık %20 civarında artacaktır. Bu hesaplamalar sonunda yazılımın alınmasına karar verilmiştir. Bu çalışma E4.0'a geçişte performans değişimini ölçmemekte, bilgi ağlarının değişimini gözlemlemeyi hedeflemektedir. Bu nedenle performans hesapları araştırmaya dahil edilmemiştir ancak KOBİ'lerin yöneticilerinin E4.0'a geçişe ikna edilmesinde dikkat ettikleri en önemli hususlar fayda-maliyet analizi ve performans artışı sağlamasıdır. Bu hatta yapay zekalı bir yazılım entegre edilmesi fikri, yöneticinin kendi hesaplamaları sonucu olası performans artışından memnun olması neticesinde kabul edilmiştir. Bu açıdan araştırmanın bir yan bulgusu olarak E4.0'a geçişin uzun vadede maliyeti azaltacağı ve performansı artıracığı söylenebilir.

3.8 Analiz

Çalışmanın analiz bölümünde bilgisayarlı bir yazılım programı olan NetLOGO programı üzerinden mevcut Endüstri 3.0 durumu ve Endüstri 4.0'a geçilmesi durumu için bir kod geliştirilmiş ve simülasyon bir model kurgulanarak analizler yapılmıştır. Programda geliştirilen kodlama ile kavramsal modelde ortaya konan senaryolar üzerinden yinelemeli olarak program çalıştırılmış ve her senaryo üzerinden on farklı versiyon modellenmiştir. Her senaryonun her versiyonunda değişen koordinasyon ağları ve örgütsel bellek yapısı görselleştirilmiş ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak ortaya konmuştur.

3.8.1 Simülasyon Model

NetLOGO, 1999 yılında Uri Wilensky tarafından geliştirilen, ajan temelli modellemelerin sanal ortama aktarıldığı ve sanal ortamda ajan davranışlarının gözlemlenebildiği bilgisayarlı bir simülasyon programıdır. Program bir kullanıcı

arayüz sayfası, bir komut sayfası ve komutların açıklandığı bir bilgi sayfası olmak üzere üç sayfadan oluşmaktadır. Kullanıcı arayüzü sayfasında kare şeklinde sanal bir düzlem bulunmaktadır ve yazılan komutlar doğrultusunda ajanların davranışları bu düzlem üzerinde modellenmektedir. Kullanıcı arayüzü sayfasında bu düzlemin yanı sıra, komutların kısa yolları için sekmeler ve skalalar oluşturulabilmekte ve sürecin gelişimini gösteren grafikler tasarlanabilmektedir.

Bu araştırmada kullanılan simülasyon model Stonedahl ve Wilensky (2008)'nin geliştirdiği virüsün yayılması simülasyonundan esinlenerek kurgulanmıştır. Daha önce bahsedildiği üzere NetLOGO yazılımında incelenen ajanlar “turtle” (kaplumbağa) olarak adlandırılmaktadır. Ajan temelli modelleme yapılan bu çalışmada, ajanlar, Argote (2013)'nin tanımladığı üzere örgütsel bilginin depolandığı ve aktarıldığı koordinasyon ağının öğeleri olan öğrenebilen ve belleklerine bilgi depolayan üyeler, görevler ve araçlar (kullanılan teknoloji) olarak ele alınmıştır. Bir örgütün Endüstri 4.0'a geçişinde örgütsel öğrenmenin ve örgütün bellek yapısının değişimini göstermeyi amaçlayan bu çalışmada koordinasyon ağları tanımlanırken, Latour (2005)'un aktör ve ağ kuramından yola çıkarak örgütün canlı üyeleri dışında bilginin depolandığı inorganik faktörler (görevler, araçlar) de simülasyona dahil edilmiş; örgütsel öğrenme ve örgütsel bellek bütünsel olarak araştırılmıştır. Bu noktada, bu araştırma örgütsel öğrenmeyi yalnızca üyeler üzerinden ele alan veya yalnızca rutin prosedürler üzerinden örgütsel belleğin oluşumunu anlamaya çalışan önceki araştırmalardan farklılaşmaktadır.

Öğrenme ve bellekte depolama haricinde ajanların bilgiyi öğrenebildiği gibi unutabileceği de modelin temel varsayımlarından biridir. Model işleyen bir sistem üzerinden kurgulandığı için örgütsel bellekte belli oranda bilgi birikimi olduğu ve başlangıç bellek değerinin sıfır olamayacağı modelin kabulleri arasındadır. Bu çalışma için vaka olarak seçilen işletme 1983 yılından beri faaliyet göstermektedir. İşletmenin çalışan devir hızı oldukça düşüktür ve özellikle mavi yakalı operatörler arasında en az tecrübeli olan üye on yıldır işletmenin bir parçasıdır. İşletme yüksek teknoloji üreten bir sanayi dalında faaliyet gösterdiği için de modelin kurgulanmasında örgütsel bilginin başlangıç değerinin yüksek olduğu öngörülmüştür. İşletme müşteriden gelen taleplere göre ürün çeşitliliğini artırma kabiliyetine sahip esnek üretim yapabilen bir işletmedir. Yeni ürünlerin üretilmesinde örgütün ajanlarından bir kısmı belleklerdeki

geçmiş bilgiler ışığında yeni ürünlerin üretilmesinde eğitime ihtiyaç duymadan yeni ürüne uyum sağlayabilmektedirler. Bununla birlikte, her yeni ürün için eğitimler verilmekte ve eğitilen ajanlar da bilgiyi belleklerinde depolayabilmektedirler.

Ajan temelli modelleme, karmaşık sistemlerin o sistemleri oluşturan mikro ajanların basit davranışları sonucu kendiliğinden oluştuğunu ve bu öz oluşumları gözlemleyebilmek için ajanların karakteristiklerinin ve davranış kalıplarının belirlenmesi gerektiğini iddia etmektedir. Bu çalışmada örgütsel bilginin öğrenilmesi ve depolanması araştırılmaktadır. Modele başlarken, bilginin depolandığı üye-görev ve araçların kendi kendilerine öğrenebildiği, eğitim alarak öğrenebildiği ve zaman içinde bilgi düzeylerinin değiştiği temel karakteristikleri olarak aşağıdaki gibi kodlanmıştır. Burada “turtles-own” kodu ajanların sahip olduğu özellikleri göstermektedir. Köşeli parantezler içinde ajan kendi kendine öğrendiyse bilgiyi yayacağı, eğitim aldığıdaysa belleğine kaydettiği ve yeni bilgi öğrenmediği söylenmektedir. Ajanın bilgiyi öğrenme süresi de ajanın özelliği parantezin içinde gösterilmektedir. Ajanların özellikleri tanımlandıktan sonra modelin kurulumu yapılmıştır.

```
turtles-own
[
  learned?          ;; if true, the is spreading knowledge
  trained?          ;; if true, the turtle can't be learned
  knowledge-check-timer ;; number of ticks since this turtle's
  last knowledge-check
]
```

NetLOGO programının klasik kodlama dilinde her bir kod başlat (to set up) komutuyla başlamakta ve bitir (end) komutuyla sonlanmaktadır. Simülasyon model içinde her bir ekleme ve talep için aynı prosedür uygulanmaktadır. Başlat komutunun içeriğinde birimler (nodes) olarak tanımlanan ajanlar vardır. Üye-Görev-Araç arasındaki etkileşimlerden oluşan bilgi koordinasyon ağını modele kurabilmek için programdan sanal bir ağ yaratması istenmektedir. Fiziki dünyada bu ağlar belli istasyonlara bağlı olarak çalışmaktadır. Ancak, örgütsel belleğin oluşumun gözlemlenmesinde sanal ağ modelinde istasyonlar göz ardı edilmiş, çevre ajanı modelde kullanılmamış; örgütsel bilgi ağı bilgisayar ortamında mekândan bağımsız olarak modellenmiştir. Ajanların öğrenmiş olması (become learned) için belirli tekrarların yapılması ve öğrenmiş olmak için bir eşik değerin aşılması gerektiği

belirtilmiş ve programdan bu eşiği göstermesi istenmiştir. Ekran görüntüsü siyah olduğu için ajanlar arasındaki bağların beyaz olması istenmiştir. Modelin başlatma komutları şu şekildedir:

```
to setup
  clear-all
  setup-nodes
  setup-spatially-clustered-network
  ask n-of initial-outbreak-size turtles
    [ become-learned ]
  ask links [ set color white ]
  reset-ticks
end
```

Modelin başlatma komutunun ardından ajanlara başlatma komutu verilmektedir. Bu modelde bilgi depolayan ajanlar arasında sınıflandırma yapılmamış ajan ırkları tanımlanmamıştır. Sistemden birim (node) sayısı kadar ajan (turtle) yaratması istenmiş ve ajanların görüntüsü daire şeklinde gösterilmiştir. Koordinasyon ağının mekândan bağımsız tanımlanmış olması sebebiyle, görsel açıdan ajanların ekranın köşelerine çok yaklaşmaması için ajanlar x ve y koordinat düzleminde köşelerden %5 oranında uzak olacak şekilde yerleştirilmiştir. Yukarıda bahsedildiği gibi sanal ağ kurulurken ajanların geçmiş tecrübelerinden belleklerinde belli bir bilginin depolandığı ve bir kısım ajanın yeni bilgi öğrenmeye ihtiyaç duymadan bilgiyi belleğinden çağırabileceği düşünülmektedir. Bu ajanlar için bellekte depolanmış olma (become-stored) durumu da başlangıç aşamasında aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

```
to setup-nodes
  set-default-shape turtles "circle"
  create-turtles number-of-nodes
  [
    ; for visual reasons, we don't put any nodes *too* close to
the edges
    setxy (random-xxcor * 0.95) (random-ycor * 0.95)
    become-stored
    set knowledge-check-timer random knowledge-check-frequency
  ]
End
```

Ajanların kurulum kodu yazıldıktan sonra, sistemin kurulumunda; programdan yaratması istenilen sanal ağın nasıl olması gerektiği tarif edilmiş ve koordinasyon ağının kurulumu yapılmıştır. Ajanların arasındaki bağlantı sayısı (birim sayısı x

ortalama birim değeri) /2 olarak formüle edilmiştir. Ajanların komşu ajanlarla minimum bir bağlantı kurması; eğer hiçbir ajanla bağlantıları yoksa kendilerinin seçim yaparak bağ kurması istenmiştir. Ağın oluşabilmesi için bağ kurma işleminin 10 kez tekrarlanması komutu verilmiştir. Ajanların bilgiyi yayma olasılığı %30 olarak belirlenmiştir. Koordinasyon ağının kurulum kodu aşağıdaki gibidir:

```
to setup-spatially-clustered-network
  let num-links (average-node-degree * number-of-nodes) / 2
  while [count links < num-links ]
  [
    ask one-of turtles
    [
      let choice (min-one-of (other turtles with [not link-neighbor? myself])
        [distance myself])
      if choice != nobody [ create-link-with choice ]
    ]
  ]
  ; make the network look a little prettier
  repeat 10
  [
    layout-spring turtles links 0.3 (world-width / (sqrt number-of-nodes)) 1
  ]
End
```

Modelin kurulumu, ajanların tanımlanması ve koordinasyon ağının kurulumunun tamamlanmasından sonra simülasyon modele geçilmektedir. Sistemin çalışması için git (to go) komutu verilmektedir. Bütün ajanlar öğrenmeyi tamamlayana sürecin devam etmesi, öğrenme tamamlandığında sistemin durması, öğrenen ajanların öğrenmiş kabul edilmesi, sistemde öğrenme gerçekleşirken bilginin yayılması tasarlanmış ve uygun komutlar aşağıdaki gibi verilmiştir.

```
to go
  if all? turtles [not learned?]
  [ stop ]
  ask turtles
  [
    set knowledge-check-timer knowledge-check-timer + 1
    if knowledge-check-timer >= knowledge-check-frequency
    [ set knowledge-check-timer 0 ]
  ]
  spread-knowledge
  do-knowledge-checks
  tick
end
```

Bu noktada bir ajanın öğrenmiş kabul edilmesi için öğrenmiş olma durumu tanımlanmıştır. Modelde öğrenme yoluyla edinilen ve belleğe depolanan bilgi bir olgunun tekrar edilerek tecrübe edilerek belleğe kaydedildiği bilgi olarak ele alınmıştır. İşin yapılarak öğrenilmesi işlemsel belleğin özelliğidir. Burada öğrenme işin tekrarlanmasıyla kendiliğinden oluşan örtük belleğin bir öz oluşumudur. Bu nedenle kendiliğinden öğrenmiş olma (become-learned) durumu, eğitimlerle bilginin bildirimsel belleğe kaydedilmesinden ayrılmaktadır. Bu ayrımı yapabilmek için öğrenmiş olma (become-learned) durumunda öğrenme (learned) hali kabul edilirken eğitime (trained) reddedilmektedir. Örgütsel bilgi işlemsel belleğe yüklendikçe başlangıçta mavi olan ajan kırmızı renge dönüşmekte ve süreç gözlemlenebilmektedir. İlgili komut şu şekildedir:

```
to become-learned ;; turtle procedure
  set learned? true
  set trained? false
  set color red
end
```

Modelin başlangıcında ajanların belleklerinde depoladığı bir bilgi birikimi olduğundan bahsedildi. Bilgiye geçmiş tecrübelerinden dolayı sahip olan bu ajanların bilgiyi yeni öğrenmediklerini göstermek için öğrenme (learned) halini reddederek, verilen eğitimlerden önce bilgiye sahip olduklarını gösterebilmek için de eğitime (trained) durumunu reddederek bilgiyi belleğinde depolamış olma (become-stored) durumu aşağıdaki gibi kodlanarak sistemde tanımlanmıştır:

```
to become-stored ;; turtle procedure
  set learned? false
  set trained? false
  set color blue
end
```

Benzer şekilde eğitilmiş olma (become-trained) durumunda bilgiyi belleğine kaydeden ajanları da kendiliğinden öğrenen ajanlardan ayırtmak gerekmektedir. Bunun için de sisteme modelde öğrenme (learned) halini reddedip eğitime (trained)

halini onaylayacak komut verilmiştir. Eğitilmiş olma durumuna geçen ajanların bağlantılarının beyazdan griye dönmesi ve başlangıçta belli bir belleğe sahip olduğu için mavi renk verilen ajanların eğitilmiş olma durumuna geçtiğinde yeşil renge dönerek sürecin görselleştirilmesi aşağıdaki gibi kodlanmıştır:

```
to become-trained ;; turtle procedure
  set learned? false
  set trained? true
  set color green
  ask my-links [ set color gray - 2 ]
end
```

Örgütsel bilginin örgüt içinde yayılımını (to spread knowledge) modelde gösterebilmek için, eğer komşu ajanları eğitilmemişse (Prensip olarak bütün ajanlar eğitime tabi tutuluyor ama burada kastedilen eğitim sırasında öğrenme gerçekleşmemişse) kendiliğinden öğrenen ajanlara komşularına bilgisini aktarması komutu verilerek bilginin koordinasyon ağında aktarılması simüle edilmiştir. Ajanların komşu ajanlara bilgi aktarımı modellenirken bilinçli bir seçim yapmaları istenmemekte; gözlemi yapan araştırmacı olarak sistemin kendiliğinden oluşumuna; yani öz örgütlenmeye müdahale edilmemektedir. Örgütsel bilginin koordinasyon ağında tesadüfi akışının bilginin yayılma olasılığından daha az olması durumunda komşu ajanların da öğrenmiş olma (become-learned) durumuna geçmesi beklenmektedir. Bilginin örgüt içinde yayılması aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

```
to spread-knowledge
  ask turtles with [learned?]
  [ ask link-neighbors with [not trained?]
    [ if random-float 100 < knowledge-spread-chance
      [ become-learned ] ] ]
End
```

Son olarak bilginin öğrenilmesi, unutulması, eğitimle belleğe kaydedilmesinin sistemde kontrolünü sağlamak için zamana göre bilgi miktarının değişimini gözlemlemek gerekmektedir.


```

to do-knowledge-checks
  ask turtles with [learned? and knowledge-check-timer = 0]
  [
    if random 100 < forgetting-chance
    [
      ifelse random 100 < gain-training-chance
      [ become-trained ]
      [ become-stored ]
    ]
  ]
End

```

3.8.2 Simülasyon Senaryoları

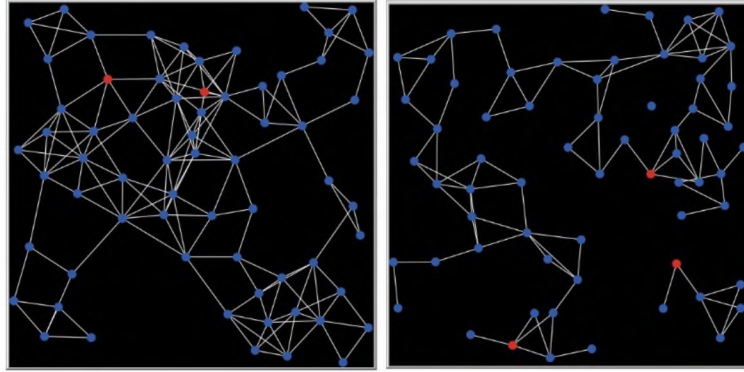
NetLOGO programında öğrenme, unutma, eğitime ve bilgi depolama yetenekleri olan ajanların sanal simülasyon ağ modeli oluşturulduktan sonra işletmenin mevcut Endüstri 3.0 durumunda ve Endüstri 4.0'a geçişte manuel montaj ve otomatik dizgi hatlarının daha önceden tespit edilmiş olan ve EK1, EK2, EK3 ve EK4'te gösterilen üye-görev-araç ağları listeleri kullanılarak simülasyon senaryoları denenmiştir. Senaryolar müşterilerin talep ettiği ürünlerin karmaşıklığına ve tekrarlanma sıklığına göre; yani işin yapılışındaki süreç ve prosedürlerin, örgütsel bellek yazınının kullanımıyla 'görevlerin' karmaşıklığına ve tekrarlanma sıklığına göre düzenlenmiştir. Araştırmanın yöntem kısmında açıklandığı üzere görevler nadir tekrarlanan basit görevler, sık tekrarlanan basit görevler, rutin görevler, sık tekrarlanan zor görevler ve nadir tekrarlanan zor görevler olarak sınıflandırılmıştır. Bu görevlerin müşterilerce talep edilmesi olasılıkları işletmenin başmühendisinden alınmış ve yukarıda kodları verilen simülasyon model bu olasılıklara göre kurgulanmıştır. Araştırmaya konu olan iki hat; manuel montaj hattı ve otomatik dizgi hattı üzerinden bu beş görev senaryosuna göre örgütsel öğrenme ve örgütsel bellek gelişimi hem mevcut durum için hem de Endüstri 4.0'a geçilirse olası durum için modellenmiştir. Her bir senaryo için on kez deneme yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Aşağıda senaryoların başlangıç ve sonuç görselleri detaylı gösterilmektedir. Endüstri 3.0 ve Endüstri 4.0 için oluşturulan senaryolarda modelin E3.0 ilk kurulum (set up) hali Versiyon 0 (V0) E4.0 ilk model kurulumu Versiyon 1 (V1), model çalıştırıldığında öğrenmenin tamamlandığı E3.0 son hali Versiyon 2 (V2), E4.0 son hali Versiyon 3 (V3) olarak tanımlanmıştır. V2 ve V3 olarak tanımlanan görseller onuncu deneme sonunda ulaşılan son senaryo örneğinin görsellerini temsil etmektedir.

3.8.2.1 Manuel montaj hattı

Ağ üzerinde geçmişten gelen belli bir bilgi birikimi olması (become-stored) sebebiyle başlangıç aşamasında nodlar mavidir. Aradaki bağlar üye-görev-araç listesinden alınmıştır ve kodlamada tanımlandığı üzere bütün linkler beyazdır. İstasyonlara olan bağlar araştırma kapsamı dışında bırakıldığında koordinasyon ağında E3.0 modelinde olduğu gibi E4.0 modelinde de 65 ajan bulunmaktadır. Her bir ajandan diğerlerine doğru giden bağlantıların ortalaması alındığında E3.0’da hat üzerinde her ajanın ortalama bağlantı sayısı 5 iken E4.0’a ajan başına düşen ortalama bağlantı sayısı 3’e düşmektedir. Montaj hattının senaryolarının tamamında bu bilgiler ortaktır. Bilginin yayılma olasılığı ve unutma olasılığı görev senaryolarına göre değişmektedir.

3.8.2.1.1 Nadir tekrarlanan basit görev senaryosu

Görüntü 1. Manuel Montaj Hattı Nadir Basit Görev Koordinasyon Ağı V0 /V1



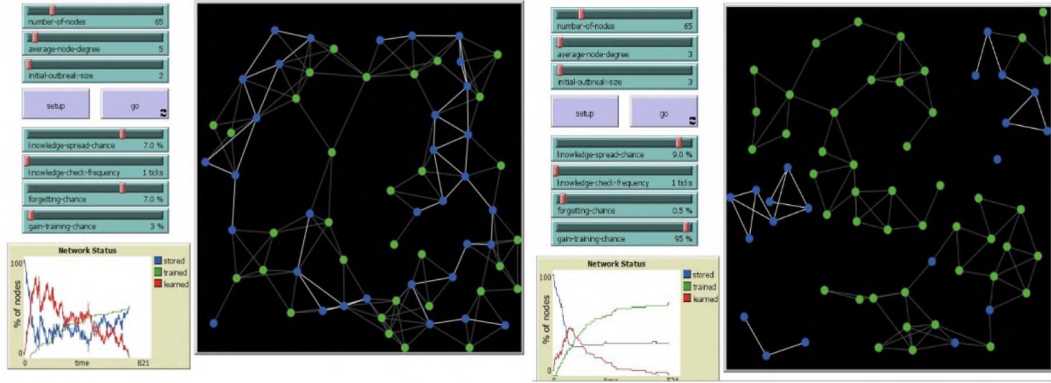
Şekil 17 manuel montaj hattında nadir karşılaşılan basit bir görev yapıldığında oluşan koordinasyon ağını göstermektedir. Soldaki V0 versiyonunda kırmızı nodlar örgütsel öğrenmeyi sağlayacak bilginin yayıldığı başmühendis ve bölüm şefini temsil etmektedir. Sağdaki V1 versiyonunda bilgi başmühendis ve bölüm şefi dışında bulut üzerinden de yayılmaktadır. Görev nadir yapılan bir görev olsa da basit bir anakart üretimi olması açısından bilginin yayılma olasılığı E3.0’da %70 kabul edilmiştir. E4.0’a geçişte bilgiye bulut üzerinden erişim kolaylaştığı için bu oranın %90’a çıkacağı varsayılmıştır. İşin nadir tekrarlanmasına rağmen örgütsel bellekteki birikimin; mesela üzerinde 5 komponent bulunan bir anakartın üretimi için yeterli

olacağı düşünölmüş ve bu sebeple E3.0’da eğitim sıklığı %30’da tutulmuştur. E4.0’a geçişle eğitim başmühendis tarafından buluta yüklendikten sonra her bir üyenin bulut üzerinden eğitim videolarına dilediği zaman erişimi sağlanacaktır ve E4.0 modellemelerinde bu nedenle eğitim sıklığı %95 olarak kabul edilmiştir. E3.0’da hattın eğitimlerinin başmühendis tarafından veriliyor olması nedeniyle basit görevlerde başmühendisin eğitim için çok vakit ayırmayacağı düşünülmektedir.

Nadir yapılan basit görevler müşterilerin çok basit özel prototiplerinin üretilmesidir ve çok ender yapılan işlerdendir. Bu nedenle unutulma olasılığı yüksektir. Unutma olasılığı E3.0’da %70 olarak belirlenmiştir. Ancak E4.0’da göreve dair bilgi dijital ortama aktarıldığı için üyelerin belleğinde unutma olsa bile araçların belleğinde unutma yaşanmayacaktır. E4.0 modellemelerinde öğrenilen bilginin unutma olasılığı %0,5 olarak belirlenmiştir.

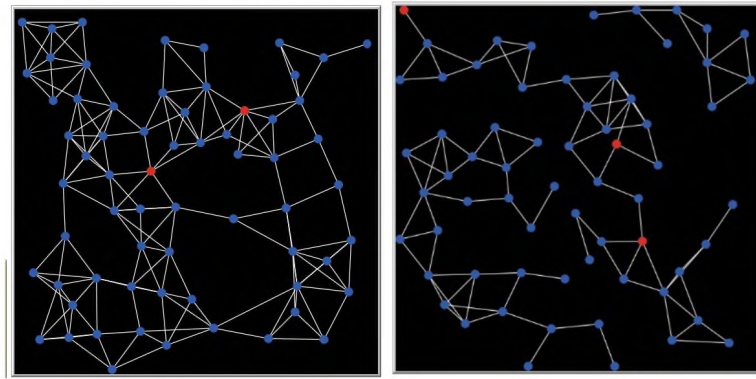
Şekil 18’de NetLOGO simölasyon ekranının arayüz sayfası gösterilmektedir. Sözü geçen skalalar bu görselden gözlemlenebilmektedir. Şekil 18’de gösterilen senaryo uyarınca yeni bilginin örgötsel öğrenmesi tamamlanmıştır. V0 ve V1’e göre başlangıçtaki bellek bilgilerini koruyan ve yeni öğrenme gerçekleştirmeyen ajanlar olduğu gibi (mavi nodlar) eğitimler sayesinde belleğinde bilgi depolayan ajanların sayısının arttığı (yeşil nodlar), daha önce beyaz olan bağlantıların büyük oranda örgötsel bilgi akışıyla griye döndüğü gözlemlenmektedir. E4.0’a geçişte (V3) eğitim yoluyla örgötsel belleğin oluşması E3.0’a göre (V2) daha belirgin hale gelmektedir. Model öğrenmenin tamamlandığı son noktayı gösterdiği için kendiliğinden oluşan öğrenme öz oluşumu ancak süreç içinde takip edilebilmektedir. Sol alt köşedeki grafik süreci gösterdiği için örgötsel öğrenmenin öz oluşumu ancak grafikte görölebilmektedir. V2’nin grafiğine (sol) göre nadir ve basit bir görevin yerine getirilmesinde ilk aşamada hızla ve yüksek seviyede öğrenme gerçekleşmekte, eğitimler ve etkileşimler arttıkça öğrenme hızı sönümlenmekte ve öğrenmiş olma durumuna (become-learned) geçilmektedir, bir başka ifadeyle örgötsel bilgi bellekte depolanmaktadır. V3’te ise kendiliğinden öğrenme etkisi E3.0’a göre azalmış görünmektedir.

Görüntü 2. Manuel Montaj Hattı E3.0 Nadir Basit Görev Koordinasyon Ağı V2/V3



3.8.2.1.2 Sık tekrarlanan basit görev senaryosu

Görüntü.3. Manuel Montaj Hattı Sık Basit Görev Koordinasyon Ağı V0/V1



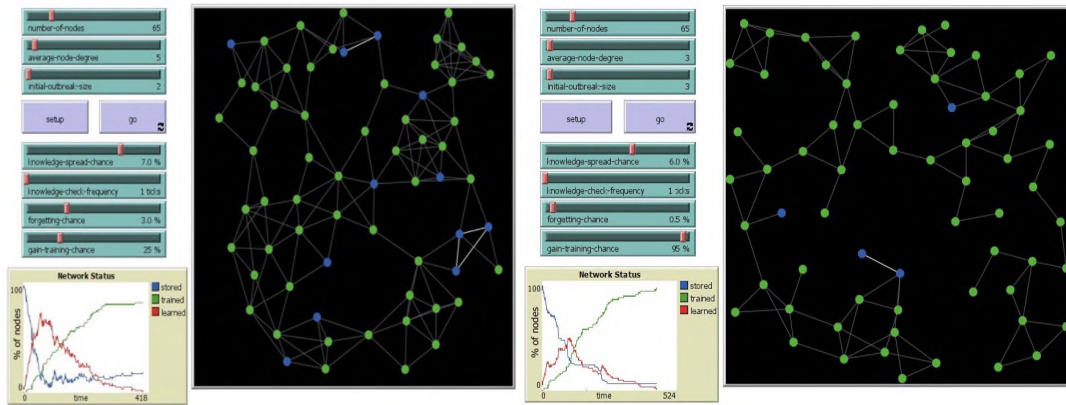
Manuel montaj hattında sık tekrarlanan basit görevlerin bilgi akışı Şekil 19'daki gibi simüle edilmiştir. Nadir tekrarlanan görevlere göre daha sistematik bir koordinasyon ağı gözlemlenmektedir. E3.0'da yine hattın bilgi akışı başmühendis ve bölüm şefinden (kırmızı nodlar) yayılmaktadır. E4.0'da buluttan yayılan bilgi de kırmızı nodlara eklenmiştir. Görevlerin sık tekrarlanması unutma olasılığını düşüren bir etkidir. Şekil 20'de görüldüğü gibi E3.0'da unutma olasılığı %30 civarına gerilemiştir (V2). E4.0'da ise unutma olasılığı hemen hemen ortadan kalkmış ve %0,5'e gerilemiştir.

Görevin karmaşıklık düzeyinin yüksek olmaması bilginin yayılma hızının yüksek olacağı anlamına gelmektedir. Bilginin yayılma hızı V2'de nadir tekrarlanan basit görevlerde olduğu gibi %70'lerde seyretmektedir. Endüstri 4.0'a geçişle birlikte

ajanların bulut üzerinden bilgiye erişebilmeleri, bilginin yalnızca üye ile kullandığı araç arasında yayılmasına, üyeler arasında etkileşimi azaltmasına sebep olmaktadır. Bilginin yayılım olasılığının %60'lara gerileyeceği varsayılmıştır.

Görevin sık tekrarlanması eğitimlerin de o kadar sık tekrarlanmasını gerektirmemektedir. Aksine karmaşıklık düzeyi düşük bir görevin tekrarlanma sıklığı arttıkça E3.0'da başmühendis tarafından verilen eğitimler o oranda azalacaktır. Eğitimlerin tekrarlanma olasılığı V2'de %25 kabul edilmiştir. Eğitim oranının düşük olmasına rağmen aşağıda gösterilen senaryoda görevin tekrarlanma sıklığı ve bilginin yayılma oranının yüksekliği doğrultusunda eğitilmiş ajan sayısı nadir tekrarlanan görevlere göre oldukça yüksektir ve kurulan bağlantı sayısı ve bilgi akışının yoğunluğu da göze çarpmaktadır. V2'deki grafiğe bakıldığında (kırmızı hat) kendiliğinden öğrenme eğrisinin nadir tekrarlanan bir görevin yapılmasındaki kadar yoğun olmadığı, ilk öğrenme etkisinin yerini eğitime bırakmış dikkati çekmektedir. Verilen az miktarda eğitimin sık ve basit görevlerde örgütsel bilgi ağında bilginin depolaması ve aktarılmasında etki derecesinin yüksek olduğu gözlemlenmektedir. E4.0'da (V3) ise eğitimlere sürekli ulaşılabilmesi eğitim seviyesinin görevin karmaşıklığına bakılmaksızın %95 ve üstünde olacağı kabul edilmiştir. V2 ve V3 senaryoları kıyaslandığında E4.0'a geçişle artan eğitimin etkisi görülmektedir. Grafiklerdeki kırmızı hat arasındaki farka bakarak içsel öğrenmenin E4.0'a geçişle azaldığını, ağ üzerindeki hemen hemen her ajanın belleğinin eğitimle dışardan güçlendirildiğini söylemek mümkündür.

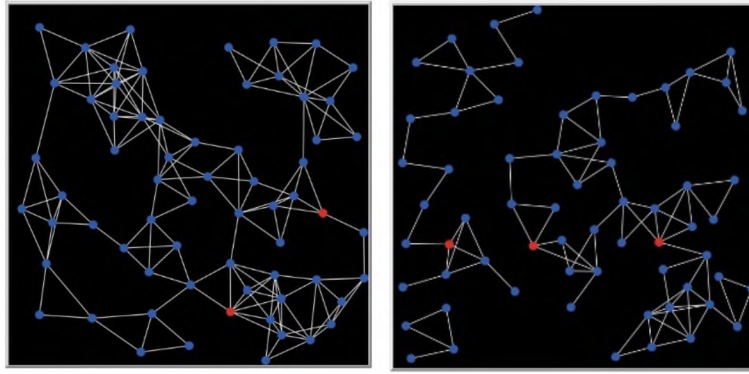
Görüntü 4. Manuel Montaj Hattı Sık Basit Görev Koordinasyon Ağı V2/V3



3.8.2.1.3 Rutin görevler

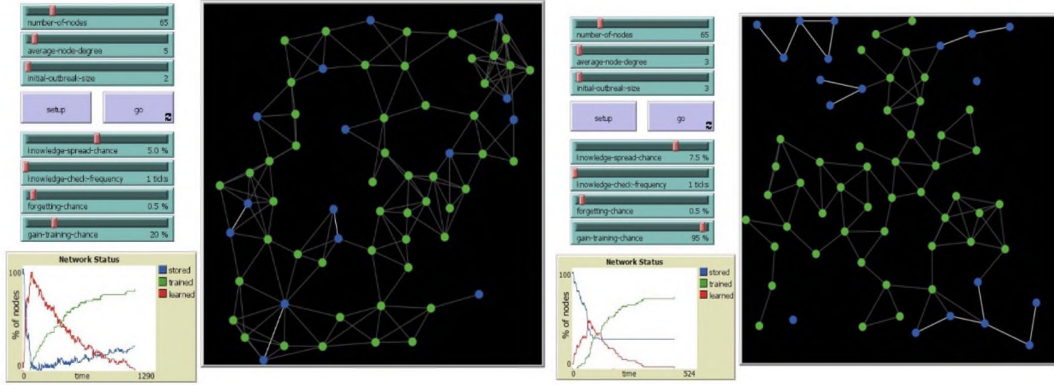
Rutin görevler devamlı karşılaşılan görev çeşididir. Tekrarlanma sıklığı çok yüksek olmakla birlikte görevin karmaşıklık düzeyi basitten zora doğru değişkenlik gösterebilmektedir. Şekil 21’de E3.0 için (V0) ve E4.0 için (V1) birer rutin görev senaryosu kurgulanmıştır. Model çalıştırıldığında örüntünün olası oluşumları Şekil 22’de gösterilmektedir. Rutin görevler devamlı yapılmakta olduğu için başlangıç düzeyi bilgisinin yüksek olacağı varsayılmıştır.

Görüntü 5. Manuel Montaj Hattı Rutin Görev Koordinasyon Ağı V0/V1



Bilginin yayılması olasılığı E3.0 için %50, E4.0 için %75 olarak kabul edilmiştir. Çok sık tekrarlanan görevlerin unutulma olasılığının da oldukça düşük olduğu düşünülmektedir. Rutin görevlerde eğitim oranının sık tekrarlanan basit işlere göre daha düşük olacağı da öngörülmektedir. Ancak rutin işlerin basitten zora doğru bir yelpazede olduğu göz önünde bulundurularak E3.0 versiyonunda eğitim sıklığı %20 düzeyinde kabul edilmiştir. Sık tekrarlanan basit görevlerde olduğu gibi %20 eğitim olasılığında bile rutin işlerde eğitimlerin etkisi yüksektir. E4.0 için eğitim ve unutmaya olasılığı önceki modellerle aynıdır.

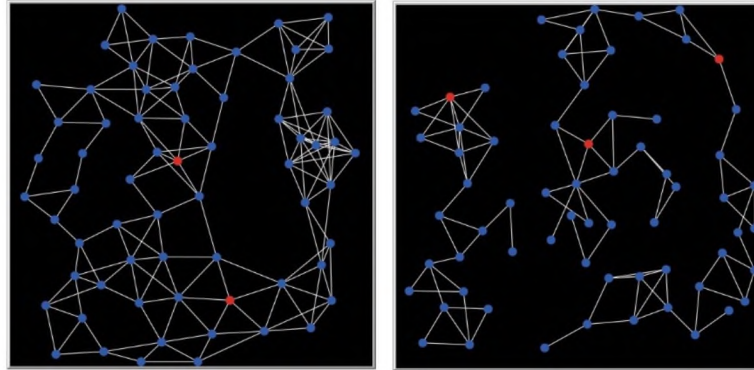
Görüntü 6. Manuel Montaj Hattı Rutin Görev Koordinasyon Ağı V2/V3



3.8.2.1.4 Sık tekrarlanan zor görevler

Görev karmaşıklığının en yüksek seviyede olduğu bu senaryoda E3.0 bilgi ağının yapısının da önceki modellere göre daha karmaşık hale geldiği, ajanlar arasında daha yoğun etkileşimlerin olduğu Şekil 23'te görülmektedir. Görev yapısı karmaşıklaştıkça unutma olasılığı da örgüt içinde verilen eğitimlerin sayısı artmaktadır. Her iki oran da %50 olarak kabul edilmiştir.

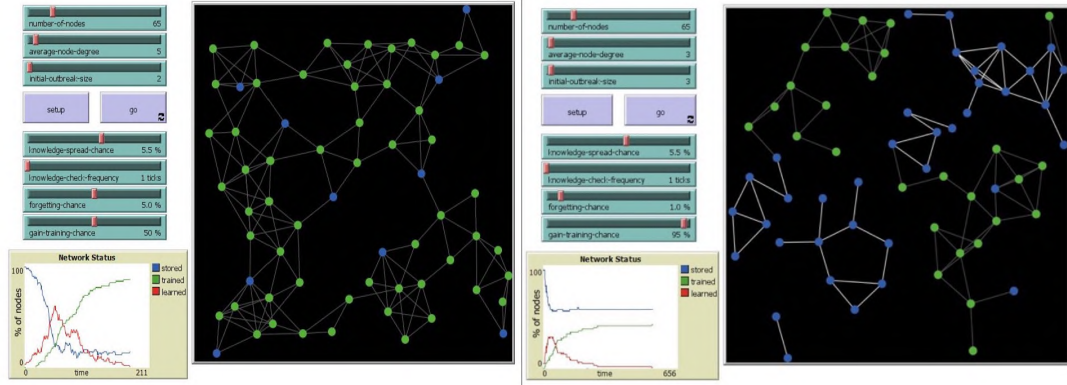
Görüntü 7. Manuel Montaj Hattı Sık Zor Görev Koordinasyon Ağı V0/V1



E4.0 için eğitimlerin olasılığı değişmemekle birlikte unutma olasılığı %1'e yükseltilmiştir. Ancak bu senaryoda görev sık tekrar edilmektedir. Sık tekrara rağmen görevin karmaşıklığı sebebiyle bilginin yayılma olasılığının %55 civarında olacağı düşünülmüştür. E3.0'da (V2) zor görevlerde, eğitilme yoluyla örgütsel bellekte bilgi depolamanın, kendiliğinden öğrenme yoluyla bilgi depolanmanın önüne geçtiği Şekil 24'te hem sanal düzlemde hem de grafikte açıkça görülmektedir. V3'te daha özerk bilgi ağlarının oluştuğu gözlemlenmektedir. V2'ye göre bir diğer fark ise grafiklerde,

yani bilginin depolanma sürecinde yaşanmaktadır. Örgütsel bellekte daha önce kaydedilen bilgi sayesinde depolanan bilginin belli bir noktadan sonra sabit bir seviyede ilerlemesidir.

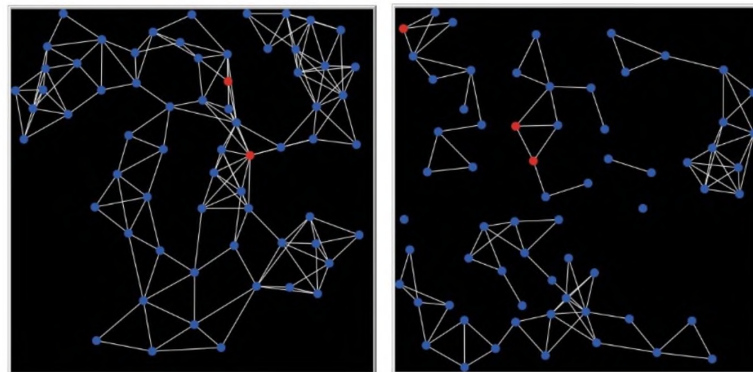
Görüntü 8. Manuel Montaj Hattı Sık Zor Görev Koordinasyon Ağı V2/V3



3.8.2.1.5 Nadir tekrarlanan zor görevler

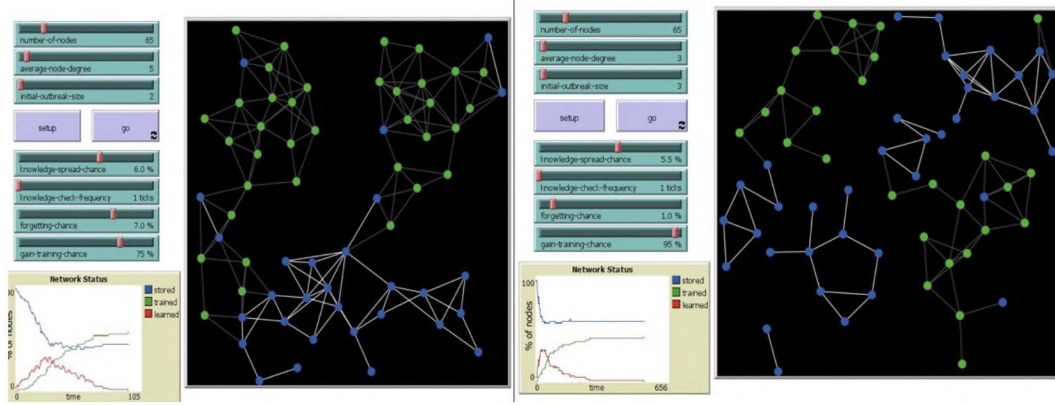
Şekil 25’te, örgütün, rutinlerinin ötesinde, karmaşıklık yapısı oldukça yüksek ve müşteri talebine göre esnek üretimin olanaklı kıldığı ancak nadiren tekrarlanan bir görevde montaj hattında oluşan bilgi ağının E3.0 ve E4.0 için olası senaryo örnekleri görülmektedir. Görevin gerek karmaşıklık düzeyinin yüksek olması gerek ender tekrarlanması göreve dair belirsizliği artırmaktadır. Böyle bir senaryoda ajanlara sürekli eğitim verilerek bilgi aktarılması gerekmektedir.

Görüntü 9. Manuel Montaj Hattı Nadir Zor Görev Koordinasyon Ağı V0/V1



Şekil 26'da E3.0'da eğitim olasılığı %75 olarak belirlenmiştir. E4.0'da eğitim sıklığı %95'tir. E3.0'da zor ve nadir bir görevin unutma olasılığı %70 olarak düşünülmüştür. Görevin zorluğu ajanlar arası bilgi aktarımını artıracak ancak bilgi aktarımını olasılığı basit bir görevde olduğu kadar yüksek olmayacaktır.

Görüntü 10. Manuel Montaj Hattı Nadir Zor Görev Koordinasyon Ağı V2/V3



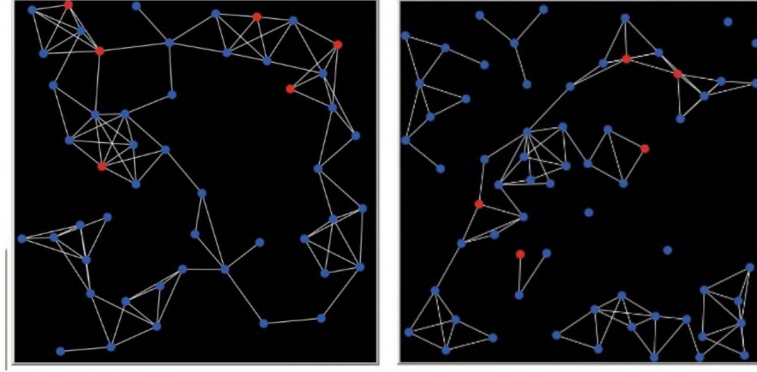
Olası senaryolardan birinde hatta bağlı ajanların bir kısmında verilen eğitimler yoluyla öğrenme gerçekleşirken bir kısmında öğrenme gerçekleşmemektedir. V2 ile V3 arasındaki bir diğer fark E4.0'da bilgi ağlarının parçalı ve birbirinden bağımsız olarak şekillenmesidir.

3.8.2.2 Otomatik dizgi hattı

Otomatik dizgi hattında istasyonlara bağlı etkileşimler dahil edilmediğinde E3.0 koordinasyon ağında 50 ajan bulunmaktadır. E4.0'da eklenen sensör sistemleri, bulut bilişim ve yapay zeka ile ajan sayısı 65'e çıkmıştır. V1'de her bir ajan diğer ajanlarla ortalama 4 bağlantı kurmakta iken V2'de ortalama bağlantı sayısı 3'e düşmüştür. Başmühendisle birlikte, iki bölüm şefi, bulut bilişim ve hatta bağlı bilgisayarlardan bilgi aktarımı yapılmaktadır (kırmızı nodlar). Bilginin yayılma olasılığı, unutma olasılığı ve eğitim sıklığı görev senaryolarına göre farklılaşmaktadır.

3.8.2.2.1 Nadir tekrarlanan basit görevler

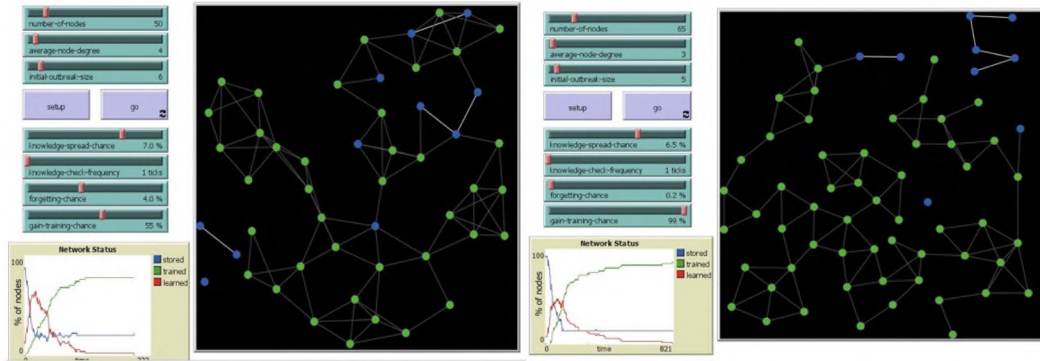
Görüntü 11. Otomatik Dizgi Hattı Nadir Basit Görev Koordinasyon Ağı V0/V1



Şekil 27’de hatta bilginin yayıldığı ajanlar kırmızı nodlarla, önceden bilginin depolandığı ajanlar mavi nodlarla gösterilmektedir. Model istasyonlardan bağımsız kurgulanmışsa da bilgi akışı birbirini takip eden bir sıra izlemektedir. E4.0 versiyonunda örgütsel bilgi bağımsız bölünmüş gruplarda depolanmaktadır. Şekil 28’de görüldüğü üzere V2’de görevin basit olması sebebiyle bilgi yayılım olasılığı %70 kabul edilmiştir. Görev nadir tekrarlandığı için unutmaya olasılığı %40 civarındadır. Eğitim sıklığı %55 olarak düşünülmüştür. Örgütsel bellek verilen eğitimler doğrultusunda güçlendirilmektedir.

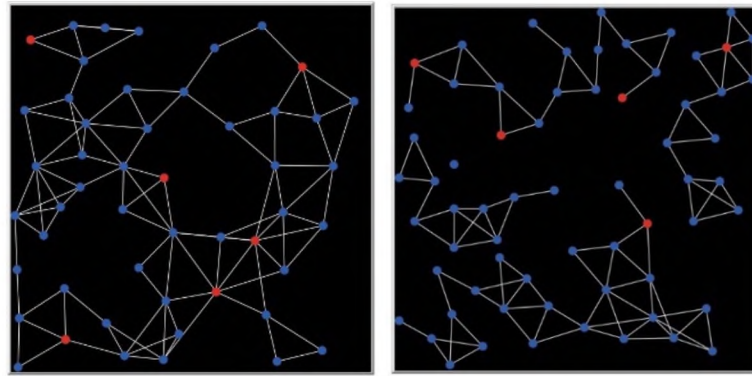
E4.0’a geçişte eğitimler dijital ortama aktarılacaktır ve hattaki üyeler ve araçlar bilgiye ağ üzerinden ulaşabileceklerdir. Yaya zekâ yazılımı sayesinde makine öğrenmesi de gerçekleşmektedir. Eğitimlere ulaşma oranı %99’a yükselmiştir. Öğrenilen bilginin unutulma olasılığı ise %0,2 kabul edilmiştir. Bilgiye buluttan ulaşma imkânı ajanlar arası bilgi yayılımını E3.0A göre nispeten azaltmaktadır. Bilgi yayılım oranı %65 olarak alınmıştır. V2 ve V3 modellerinin bilgi ağları farklı verilere sahip olmasına rağmen nadir basit görevlerde birbirleriyle benzerlik göstermektedir. Her iki durumda örgütsel bellek eğitilen ajanların eğitimlerden edindikleri bilgiyi belleklerine depolamalarıyla oluşmaktadır.

Görüntü 12. Otomatik Dizgi Hattı E3.0 Nadir Basit Görev Koordinasyon Ağı V2/V3



3.8.2.2.2 Sık tekrarlanan basit görevler

Görüntü 13. Otomatik Dizgi Hattı Sık Basit Görev Koordinasyon Ağı V0/V1

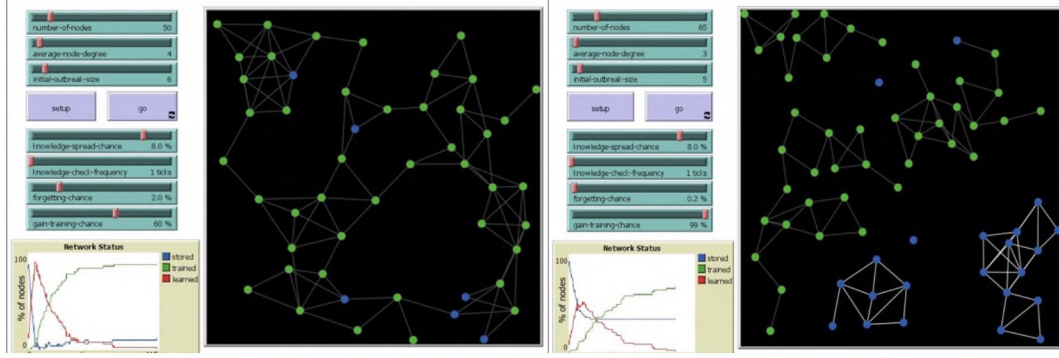


Şekil 29’da otomatik dizgi hattında E3.0 da ve E4.0’da sık tekrarlanan basit görevlerin simülasyon senaryoları görülmektedir. Otomatik dizgi hattının Endüstri 4.0’a geçişi sonucu bilgi ağları daha özerk yapılara dönüşmektedir. Sık tekrarlanan basit görevlerde bilginin yayılma oranı V2 ve V3’te %80 olarak belirlenmiştir. Bilgiyi unutma olasılığı E3.0’da %20 oranında iken E4.0’a geçişte dijital dönüşüm sayesinde %0,2 düzeyine gerilediği öngörülmüştür. Eğitim sıklığı V2’de %60 olarak görülürken V3’te otonom eğitimlerin %99’a ulaşması beklenmektedir.

Şekil 30’daki E3.0 V2 grafiğine göre göreve başlangıç aşamasında yüksek düzeyde örgütsel öğrenme gerçekleşmektedir. Daha önceden var olan bilgi birden sıfırlanmakta ve eğitimlerle yeni bilgi belleğe yerleşmektedir. Bütünsel bir ağ yapısından söz edilebilir. E4.0 V3 grafiğinde değişimlerin yönü E3.0 ile benzer olmakla birlikte E3.0 kadar keskin değişimler söz konusu değildir. Burada yine ağ

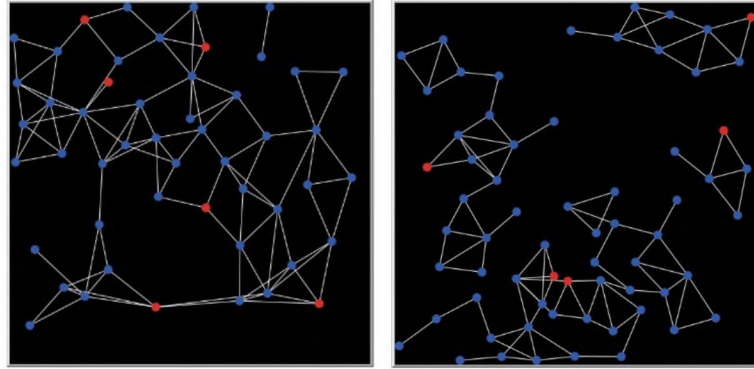
yapısı parçalı bir görünümde ve geçmişte edinilen bilgiler tamamen ortadan kalkmamıştır.

Görüntü 14. Otomatik Dizgi Hattı Sık Basit Görev Koordinasyon Ağı V2/V3



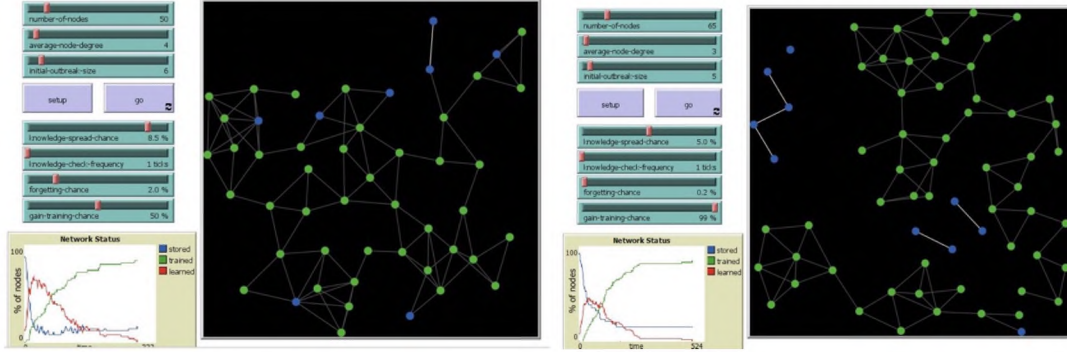
3.8.2.2.3 Rutin görevler

Görüntü 15. Otomatik Dizgi Hattı Rutin Görev Koordinasyon Ağı V0/V1



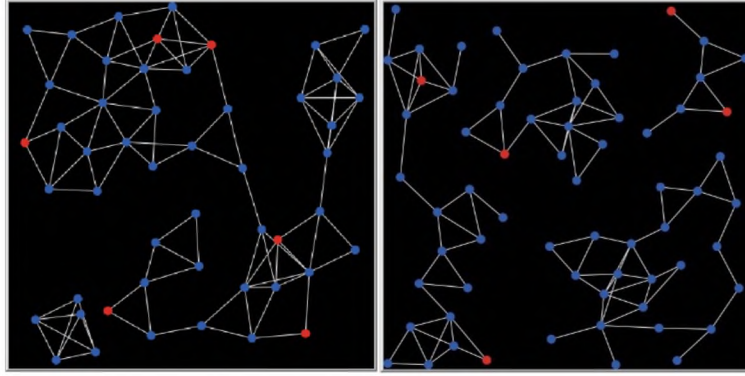
Otomatik dizgi hattındaki rutin görevlerin E3.0 ve E4.0 koordinasyon ağlarının simülasyon modelleri Şekil 31’de gösterilmektedir. E4.0 teknolojilerinin hatta entegre edilmesi sonucu örgütsel bilginin görevlerin karmaşıklığı ve tekrarlanması arttıkça giderek daha bağımsız mikro ağlarda depolandığı çıkarımında bulunulabilir. Bunun sonucu olarak da örgütsel bilginin yayılımı düşmektedir. Şekil 32’de E3.0’da bilginin yayılım hızı %85 ile ifade edilirken %65’e düşürülmüştür.

Görüntü 16. Otomatik Dizgi Hattı Rutin Görev Koordinasyon Ağı V2/V3



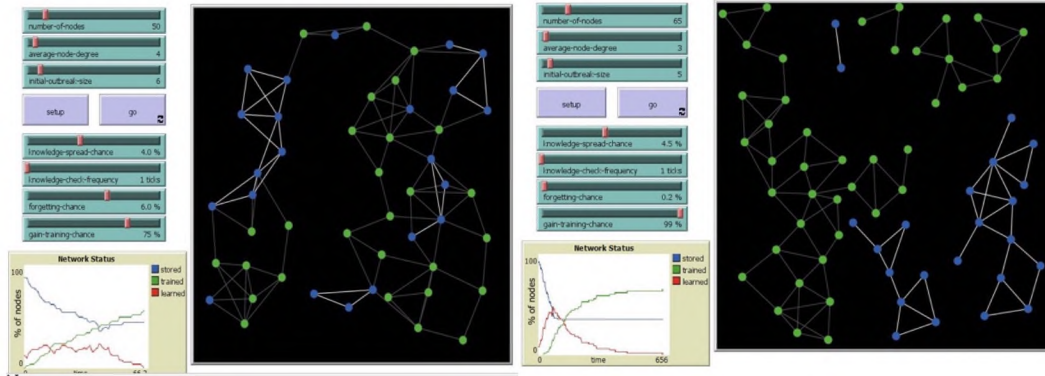
3.8.2.2.4 Sık tekrarlanan zor görevler

Görüntü 17. Otomatik Dizgi Hattı Sık Zor Görev Koordinasyon Ağı V0/V1



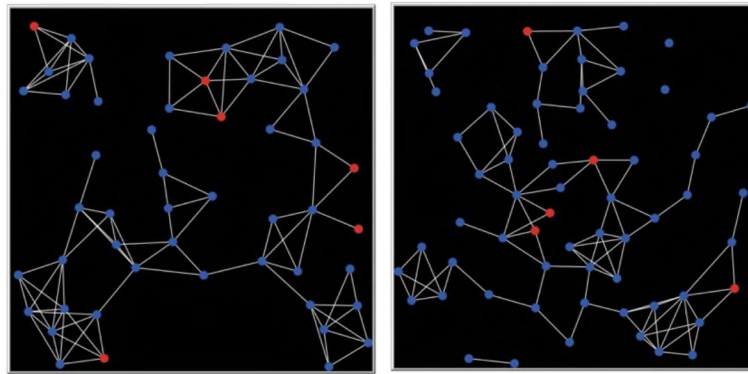
Karmaşık ve zor görevler E3.0’da yüksek eğitim gerektirir çünkü zor görevlerin unutulma ihtimali yüksektir. Böyle görevler sık tekrar edilse bile görevin çözümlenebilirliği düşük olduğu için E3.0’da %60 unutma ihtimali tanımlanmıştır. Görevin karmaşıklığı bilginin yayılım hızını da düşürecektir. E3.0 versiyonu için bu oran %40, E4.0 versiyonu için %45 olarak belirlenmiştir. E4.0 teknolojilerinin entegre edilmesi manuel montaj ve otomatik dizgi hatlarının her ikisinde de öğrenilen bilginin unutulması durumunu ortadan kaldırmaktadır. Örgütsel bilgi ağlarının değişimi açısından önemli bir etkidir. Grafiklerden de görüleceği üzere E4.0 senaryosunda örgütsel bellekte belli bir bilginin oluştuktan sonra stabil olarak devam ettiği görülmektedir. Bunun yanı sıra E4.0 senaryolarının bütününde gözlemlenen eğitimler sayesinde depolanan bilgi artmaktadır. Araştırmanın E4.0’a geçişte bilgi depolamanın artacağı yönündeki birinci önerisi desteklenmektedir.

Görüntü 18. Otomatik Dizgi Hattı Sık Zor Görev Koordinasyon Ağı V2/V3



3.8.2.2.5 Nadir tekrarlanan zor görevler

Görüntü 19. Otomatik Dizgi Hattı Nadir Zor Görev Koordinasyon Ağı V0/V1

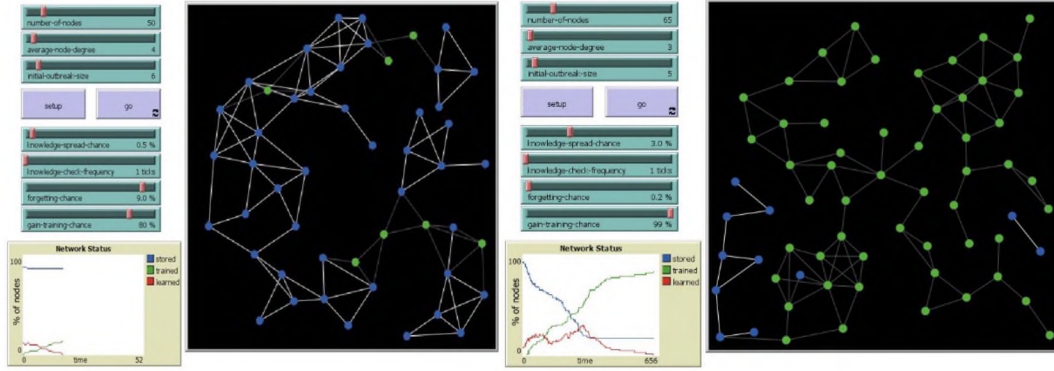


Şekil 35 E3.0 ve E4.0 için nadir tekrarlanan zor görevlerde otomatik dizgi hattında örgütsel bilgi ağlarının simülasyon modellerini göstermektedir. Nadir tekrarlanan zor görevler örgütün en zor görevleridir. Örgütsel öğrenmenin oluşumunda en karmaşık süreç bu üretim senaryosunda yaşanmaktadır. Bilginin öğrenme sürecinin uzun ve yayılması olasılığının en düşük olduğu bu süreçte, unutma ihtimali de oldukça yüksektir. Bu sebeple ajanların sürecin her aşamasında devamlı olarak eğitimle belleklerinin güçlendirilmesi gerekmektedir.

Şekil 36'da E3.0 versiyonunda (V2) unutma ihtimali %90 ve eğitim %80 olarak verilmiştir. Bilginin yayılma oranı %0,5 oranındadır. E4.0 versiyonunda (V3) bilginin yayılması yine düşük düzeydedir ancak %3 civarında kabul edilmiştir. E4.0'ın diğer modellerinde olduğu gibi burada eğitim %99 kabul edilmiş ve dijitalleşme, bulut ve yapay zekâ sayesinde unutma %0,2 ile neredeyse tamamen ortadan kaldırılmıştır.

Bu iki simülasyonun başlangıç modelleri benzerlik gösterse de sonuçları oldukça farklılaşmaktadır. E 4.0 teknolojilerinin unutmayı ortadan kaldırarak örgütün öğrenme kabiliyetini ve örgütsel bellek seviyesini artırdığı açıkça görülmektedir.

Görüntü 20. Otomatik Dizgi Hattı Sık Zor Görev Koordinasyon Ağı V2/V3



3.9 Bulgular ve Koordinasyon Ağlarında Değişim

E4.0' geçiş sonrası üye görev araçlardan oluşan koordinasyon ağlarının bilgi depolanmasına göre değişiminin incelenmesi için her bir senaryonun simülasyon senaryosu 10 defa tekrarlanması sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 19 ve Tablo 20'de gösterilmiştir.

Tablo 19 20 farklı senaryo ile 10 tekrar ile çalıştırılan senaryolar sonucunda ağlarda tanımlı ajanların örgütsel belleklerinde değişim gözlemlenenlerinin sayılarından oluşmaktadır. Tablonun en sağ sütununda verilen senaryoların ortalama değerleri incelendiğinde, manuel görevleri içeren üye – görev – araç ağlarındaki ajanların örgütsel belleklerinin değişim oranında E4.0 sonrası görülen yükselişler kalın punto ile belirtilmiştir. Buna göre manuel montaj hattının nadir basit ve sık zor görevlerinde otomatik dizgi hattının ise tüm süreçlerinde endüstri 4.0 sonrası örgütsel bellek depolama artışı gözlemlenmiştir.

Tablo 19. Örgütsel bilgi depolayan ajan yoğunluğu simülasyon senaryoları

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ORT
E3MMNB	26	39	33	35	35	25	28	32	34	31	31,8
E4MMNB	27	32	35	44	49	36	22	35	39	45	36,4
E3MMSB	54	43	50	52	47	44	46	46	52	50	48,4
E4MMSB	33	29	45	42	44	44	52	61	36	62	44,8
E3MMR	53	14	53	54	50	49	53	55	54	49	48,4
E4MMR	33	35	42	34	44	21	49	49	37	46	39
E3MMSZ	53	52	49	31	25	25	33	32	51	2	35,3
E4MMSZ	58	61	43	37	24	41	38	24	21	28	37,5
E3MMNZ	32	53	61	57	44	62	40	37	29	24	43,9
E4MMNZ	12	27	14	27	25	6	21	18	17	32	19,9
E3ODNB	31	30	43	32	40	38	33	41	33	29	35
E4ODNB	34	64	62	35	52	54	50	51	54	33	48,9
E3ODSB	38	44	41	40	46	46	42	38	42	44	42,1
E4ODSB	50	61	40	54	53	58	39	55	53	43	50,6
E3ODR	39	43	42	40	43	35	41	41	44	42	41
E4ODR	37	52	59	32	32	37	29	46	53	55	43,2
E3ODSZ	18	32	31	27	27	11	21	25	35	22	24,9
E4ODSZ	52	62	50	59	29	16	63	43	62	23	45,9
E3ODNZ	6	6	4	4	5	5	6	6	6	7	5,5
E4ODNZ	37	47	40	57	38	13	36	52	56	54	43

Tablo 20’de ise tüm simülasyon senaryolarının, örgütsel bilginin yayılımının tamamlanmasına kadar geçen süreleri, birim zaman olarak gösterilmektedir. Tablonun son sütunundaki ortalamalara bakıldığında Manuel montaj hattının nadir basit, rutin ve nadir zor görevlerinden oluşan senaryolarında ajanların yeni yayılan örgütsel bilgiyi belleklerinde depolamaları süreci sonlanana kadar geçen birim zaman cinsinden sürede E4.0 sonrası azalma görülmektedir. Aynı hatta sık basit ve sık zor görevler ile oluşturulan üye-görev-araç ağlarında ise birim zaman E4.0 sonrası artmıştır. Otomatik dizgi hattının tüm süreçlerinde ise E4.0 sonrası senaryolarda örgütsel bellek depolanma sürecinin tamamlanması için gereken birim zamanın arttığı gözlemlenmiştir.

Tablo 20. Örgütsel bilgi depolanması için geçen süre simülasyon senaryoları

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ORT
E3MMNB	867	829	1037	946	862	640	665	685	763	586	788
E4MMNB	488	253	254	344	579	269	681	510	578	476	443
E3MMSB	376	317	441	499	422	519	485	293	350	398	410
E4MMSB	455	489	430	560	433	410	413	515	444	445	459
E3MMR	1147	1387	1686	1217	1025	1111	1038	1512	1558	1091	1277
E4MMR	420	631	285	393	466	307	673	375	520	429	450
E3MMSZ	161	228	4	178	151	96	216	133	205	19	139
E4MMSZ	487	369	477	456	440	402	441	342	360	532	431
E3MMNZ	157	35	28	44	100	5	81	48	106	94	69,8
E4MMNZ	243	378	510	302	587	44	661	544	491	578	434
E3ODNB	166	181	175	143	174	140	158	190	273	290	189
E4ODNB	297	497	644	255	403	531	349	467	442	458	434
E3ODSB	313	276	284	218	218	250	398	200	387	411	296
E4ODSB	451	411	291	284	474	352	594	546	721	443	457
E3ODR	340	365	345	256	345	411	450	325	286	286	341
E4ODR	569	580	602	491	339	725	432	456	542	474	521
E3ODSZ	71	117	69	79	107	51	107	115	188	64	96,8
E4ODSZ	708	491	524	573	292	386	283	540	330	624	475
E3ODNZ	45	37	18	31	29	30	30	16	37	17	29
E4ODNZ	570	516	344	634	357	289	448	505	778	629	507

Tüm senaryolarda E4.0 öncesi ve sonrası, farklı görevlerdeki bellek depolanması ve geçen zaman değişimlerinin anlamlılık düzeylerini gözlemleyebilmek için tüm tek kuyruklu eşleştirilmiş t testi uygulanarak P değerleri hesaplanmıştır. Tablo 21’de söz konusu değişimin %95 düzeyde anlamlı olduğu üretim hattı ve görev eşleri P değerlerinin yanında * ile ifade edilmiştir. Benzer şekilde anlamlılık düzeyi %99 olduğunda ** ve %0,1 olduğunda *** ile işaretlenmiştir.

Öneri 2 (Endüstri 4.0’a geçiş ile koordinasyon ağlarında bilgi depolayan ajanların yoğunluğu artar), manuel montaj hatlarının E4.0 sonrası nadir basit, rutin ve nadir zor görevleri içeren üye-görev-araç koordinasyon ağlarında destek bulmuştur. Ancak sık tekrarlanan zor ve basit görevler ile oluşturulan senaryolarda anlamlı bir değişim gözlemlenmemiştir. Bu sonuç manuel hatlarda sık tekrarlanan işlerin üye (işgören) belleklerinde saklanan bilgilere dayalı devam etmeye meyilli olması ile açıklanabilir. E4.0 sonrası gelen değişime direnç gösterebilecek üyeler otomasyon

sistemlerine entegrasyon yerine eski tekniklerine bağılı kalarak yeni yayılan örgütsel bilginin bulaşmasına bağışık kalabilirler.

Tablo 21. Sonuçların P Olasılık Değerine Göre İstatistiksel Anlamlılıkları

GÖREV	P DEĞERİ (BELLEKLERDE DEĞİŞİM)	P DEĞERİ (ZAMAN)
MMNB	0,042205894850675*	0,000881717854685114***
MMSB	0,184341961	0,079142481
MMR	0,0278317345746279*	5,20091
MMSZ	0,327942662	1,85434
MMNZ	0,00105027966910614**	7,23661
ODNB	0,000717271411427969***	4,78348
ODSB	0,00318433270843394**	0,00104535907661985**
ODR	0,255881447	0,000325968519457466***
ODSZ	0,000647844761749858***	2,91635
ODNZ	4,26903	1,66947

Öneri 2 ayrıca otomatik dizgi hattının rutin ve nadir zor görevleri dışında destek bulmuştur. Bu durum otomasyon gibi karmaşık sistemlerin yeniden düzenlenmesinin rutin ve nadir zor görevler üzerinde verimli olmaması ile açıklanabilir. Zor bir görev için otomasyonda E.4.0 ile gelecek bir değişimin örgütsel belleğe girmesi ise sadece yeterince sık tekrarlanan durumlarda tercih edildiğinde yeni teknolojiden kaynaklanacak masraflara katlanmak mantıklı olacaktır.

Öneri 3 (Endüstri 4.0'a geçiş ile örgütsel belleklerin oluşması için gereken süre değişir) ise manuel montaj hattının sadece nadir basit görev içeren senaryolarında anlamlı bir azalma olarak gözlemlenmiştir. Otomatik dizgi için ise rutin ve sık basit görevleri içeren senaryolarda anlamlı bir artış olarak gözlenmiştir. Dolayısıyla manuel üretim hattında örgütsel bellek oluşumu için gereken sürenin anlamlı bir azalmasından bahsederken, otomasyon içeren hatta örgütsel bellek oluşumu için geçen sürede anlamlı bir artıştan bahsedebilmekteyiz. Bu durum ise manuel hatlarda üye (iş gören) ile akıllı cihazlar (araç) arası koordinasyon ağı ilişkilerinin E4.0 ile daha hızlanması ile açıklanabilirken otomasyonlu sistemlerde ise araç (makine öğrenmesi) – araç (nesnelerin interneti) arası koordinasyon ağı ilişkilerinin belleklere dönüşebilmesi için uzun süre etkileşimde bulunmaları gerekliliği ile açıklanabilir.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

Araştırmanın dördüncü bölümde KOBİ'lerin Endüstri 4.0'a geçişini konu alan alanyazın dikkate alınarak, araştırmanın kavramsal modelinde ve simülasyon modelinde ortaya çıkan bulgular yönetim disiplini bağlamında değerlendirilmiş ve KOBİ'lerin E4.0'a geçişi için öneriler sunulmuştur. Araştırmanın kısıtlılıklarından bahsedilmiş ve KOBİ'lere ve örgüt araştırmacılarına ileriye dönük öneri ve tavsiyelerde bulunulmuştur.

4 SONUÇ VE ÖNERİLER

Araştırmanın sonucunda bulgular ışığında bu çalışmanın yönetim yazınına ve uygulayıcılara katkıları, yazında hangi açığı doldurduğu anlatılmaktadır. Endüstri 4.0 teknolojilerinin örgütlerce benimsenmesi ve kullanılması örgütün yönetim ve organizasyon yapısını şüphesiz etkileyecektir. Bu araştırmada, henüz Endüstri 4.0 teknolojilerini kullanmayan bir KOBİ örneği üzerinden bilgisayar ortamında bir simülasyon modelleme yapılarak Endüstri 4.0'a geçişe dair yöneticilere ön fikir verilmeye çalışılmıştır. Simülasyon farklı senaryolarla tekrarlanmış ve Endüstri 4.0'a geçiş sonrası örgütsel belleğin değişimi, örgütün bilgileri depoladığı ve aktardığı öğelerin sayısında ve yoğunluğundaki değişim ile bu öğeler arasındaki etkileşimlerin değişmesi sonucunda farklı karmaşıklık düzeyindeki olası senaryolarda yöneticinin rolünün, yönetimin karar mekanizmasının, örgüt yapısında ve tasarımında oluşabilecek yetki, merkeziyet, hiyerarşi, esneklik gibi örgütsel değişimlerin önceden öngörülmesi sağlanmıştır. Bunun yanında örgütsel belleklerin oluşmasında örtük olarak gelişen, örgütsel bellek yapıları içinde gözlemlenmesi en zor olan işlemsel belleğin gözlemlenebilmesi ve karmaşıklık kuramı terminolojisiyle öz oluşan örgütsel öğrenmenin süreç içinde gelişimi bu modelleme vasıtasıyla gözlemlenebilmiş ve alan yazına önemli bir katkı sunmuştur. Kullanılan yeni metot yeni sanayi devriminde

araştırmacıların kullanması tavsiye edilen bilgisayarlı simülasyon yöntemlerinden biridir. Simülasyon modelleme yöntemi başka disiplinlerde sıkça kullanılmaktadır; ancak yönetim yazınında henüz yeteri ilgiyi görmemiştir. Bu çalışmada yöntem olarak bilgisayarda kodlama yapılarak geliştirilen bir simülasyon model kullanılması bakımından araştırma özgündür. Gelecekteki araştırmalar için bir örnek oluşturmaktadır.

4.1 Sonuç

KOBİ'lerin Endüstri 4.0'a geçişi üzerine alan yazında yapılan çalışmalar öncelikle örgütün dijital olgunluk seviyesinin belirlenmesini ve bu seviyeye göre dijital dönüşümün kademeli olarak yapılması gerektiği dile getirmektedir. Dijital olgunluk seviyesinin nasıl belirleneceğine dair farklı görüşler ve farklı sınıflandırmalar bulunmaktadır. Bu görüş farklılıkları birinci bölümde detaylı olarak anlatılmıştır. Ekol farklılıkları farklı fikirlerin doğmasına sebep olsa da ortak kanı yeni sanayi devrimi teknolojilerinin örgütlerin sistemlerine kademeli olarak entegre edilmesi yönündedir.

Bu araştırma sosyoteknik okulun bakış açısından kullanılan teknolojinin karmaşıklığına göre dijital dönüşüm seviyelerinin belirlenmesi fikrinden yola çıkmaktadır. Dijital olgunluk seviyesinin örgüt için farklı hatlarda da değiştiği gözlemlenmiştir. İlk adımda kullanılan teknolojilerin karmaşıklığına göre entegre edilecek E4.0 teknolojilerinin ayrıştırılması kararlaştırılmıştır. Bunun için seçilen vakada fabrika genelinde teknik karmaşıklık düzeyi birbirinden farklı olan hatlar üzerinde incelemeler yapılmış ve iki hat seçilmiştir. Birincisi, hatta sadece yapıştırma ve lehimleme fonksiyonları olan eski teknoloji iki makinenin ve elektrik akımlarının ölçüldüğü mekanik kontrol araçlarının bulunduğu ve haricindeki bütün montaj ve kontrollerin tamamen insanlarca manuel olarak yürütüldüğü manuel montaj hattıdır. Bu hatta 23 mavi yakalı operatör, beyaz yakalı kontrol mühendisi olan bir bölüm şefi ve hattın genel kontrolünden ve eğitiminden sorumlu genel tepe yöneticisi başmühendis görev yapmaktadır. İkincisi ise tam otomasyona geçilmiş ve E4.0 teknolojilerinden sensör teknolojisi ve bulut bilişimin kısmen hatta entegre edildiği otomatik dizgi hattıdır. Bu hatta bir adet krem lehim makinesi, iki adet dizgi makinesi, bir montaj makinesi, dört fırın, fotoğraflama ve kıyaslama yapılan dört SAKİ makinesi bulunmaktadır. Bu hatta iki mavi yakalı operatör, beyaz yakalı altı mühendis ve hattın

genel kontrolünden ve çalışanların eğitiminden sorumlu tepe yöneticisi başmühendis görev yapmaktadır. Görüldüğü gibi teknik karmaşıklığı yüksek olan hatta daha az sayıda ancak teknik bilgisi daha yüksek çalışanlar istihdam edilmektedir. Mittal vd.'nin (2018) örgütün teknik boyutun örgütsel ve yönetsel boyutu şekillendirdiği yönündeki iddiasının uygulamadaki karşılığını burada görmekteyiz.

Teknik karmaşıklığı birbirinden farklı olan bu iki hattın seçilmesinden sonra mevcut durumdaki örgütsel bilginin depolandığı koordinasyon ağları detaylı olarak analiz edilmiş ve ağ-bağ etkileşimleri ortaya konmuştur. Her iki hatta entegre edilebilecek E4.0 teknolojileri işletmenin mühendisleriyle birlikte beyin fırtınası yapılarak tespit edilmiştir. Yöntem bölümünde anlatıldığı üzere, dijital dönüşümde insanın tamamen devreden çıkarıldığı fikirler Endüstri 4.0 felsefesine ters düştüğü için elenmiştir. Çünkü Endüstri 4.0 fikri insansız karanlık fabrikalar yerine gelişen teknolojiye uyum sağlayabilen gelişmiş (ogmante edilmiş) iş gücüyle çalışma hayatının devam etmesi mantığıyla geliştirilmiştir. Uygulanabilecek E4.0 teknolojileri üzerine düşünülürken bu araştırmanın neden bir KOBİ üzerinde yapıldığı da vurgulanmış ve bir KOBİ'nin finansal olarak zorlanacağı çözüm önerileri de araştırma kapsamının dışında tutulmuştur. Bu kısıtlar dikkate alındığında, neticede alan yazında salık verildiği üzere E4.0'a geçişin kademeli yapılması gerektiğine karar verilmiştir. İlk etapta yeni sanayi devrimin dijital dönüşüm boyutunun teknolojileri olan bulut ve sensör teknolojileri ile yapay zekadan faydalanılarak E4.0'a adım atılabileceği öngörülmüştür.

İlk olarak en maliyetsiz dönüşüm olarak eğitimlerin işletmenin tepe yöneticisi olan başmühendisten dijital ortama aktarılması ve buluta devredilmesi düşünülmüştür. Bu her iki hat için de uygulanabilecek bir değişimdir. İkinci aşamada bütün dokümantasyonların dijital ortama aktarılması gelmektedir. Böylece kâğıt, mürekkep gibi dokümantasyon maliyetleri tamamen ortadan kalkacaktır. Bu dönüşümün zaman maliyeti vardır. Bütün evrakların sisteme yüklenmesi zaman alıcı bir süreçtir ancak tek seferlik bir işlemdir ve uzun vadede katma değeri oldukça yüksektir. Aslında dijital dönüşümün bu en kolay dönüşüm boyutu bütün işletmelerce kolayca uygulanabilecek bir işlemdir ancak sanallaşmanın ilk ve en önemli adımını oluşturmaktadır. Çünkü bilgi bir kez dijital ortama aktarıldığında, bulut üzerinden örgüt içi ve örgüt dışındaki paydaşlarla bilginin paylaşımı, aktarılması ve karşılıklı düzenlemeler yapılması

kurulan bilgi ağı üzerinden mümkün hale gelmektedir ve örgütsel öğrenme ivme kazanmaktadır. Aynı zamanda bilgiye ulaşımın bürokratik maliyeti de ortadan kalkmaktadır. Bulut bilişimin işletmenin bütününe yayılması sayesinde örgütsel yapı merkezi yapıdan ademi merkezi yapıya doğru evrilmektedir. Tamamen sanallaşmanın olumsuz bir sonucu güvenlik sorunudur ancak bu sorunun çözümü için siber güvenlik sistemleri geliştirilmiştir. Yine bir defaya mahsus bir yatırımla geçişin ikinci aşamasında örgütsel boyutta bir E4.0 teknolojisi olan siber güvenlik sistemi entegre edilebilecektir.

Bulut bilişim işletmenin bütün hatlarında, örgütün teknik boyutunda olduğu kadar yönetsel ve örgütsel boyutlarda da kullanılabilecek bir E4.0 teknolojisidir. Siber fiziksel sistemlerin bir aracı olan sensör teknolojisinin kullanılması içinse sensörün etkileşim kurabileceği fiziki bir aracın olması gerekmektedir. Bu bakımdan sensör teknolojisinin teknik karmaşıklığı bulut bilişime göre daha yüksektir. Örneğin, sensör teknolojisi mevcut durumda manuel hatta uygulanamamaktadır ancak otomatik dizgi hattında kullanılan lehim makinesinde sensör teknolojisinden faydalanılmaktadır. Otomatik dizgi hattının teknik karmaşıklığı oldukça yüksektir. Bunu ağ-bağ analizlerinden ve koordinasyon ağlarının bağlantılarından görebilmek mümkündür. Ne var ki tam otomasyona geçtiği söylenen bu hatta bir KOBİ'nin gündelik çözümleri gözlemlenmektedir. Dizgi makinesinin kullandığı makaraların elle takılması ve makaraların değiştirilmesi için bölüm şeflerinin ara ara makinenin başına giderek kontrol yapması hattı tam otomasyon durumundan uzaklaştırmaktadır. Zaman kaybı, üretimin aksaması ve dolayısıyla iş stresi yaratan bu soruna KOBİ'nin finansal durumunu zorlamayacak E4.0 çözümü hattın bu kısmında da sensör teknolojisini entegre etmek olmuştur.

Seçilen işletme için teknik karmaşıklığı en yüksek E4.0 teknolojisi otomatik dizgi hattında karar mekanizmasına etki edecek bir yapay zekâ yazılımının eklenmesi olmuştur. Mevcut durumda hattın son kısmında dört SAKİ makinesince üretilen ürünün fotoğrafı çekilmektedir. Her makineye bağlı bir bilgisayar bulunmakta ve her bir bilgisayarda karar verme yetkisini haiz orta kademe bir yönetici olan hattın kontrol mühendisi üretilen ürünün hatalı olup olmadığını belirlemekte ve üretilen ürün hatalıysa red kararı verdiği ürünleri tek tek ayırmaktadır. Bu işlem her ürün için tek tek yapıldığı için oldukça uzun sürmekte ve üretimin süresini artırmaktadır. Bu

sorunun çözümü için endüstride benzer üretimi yapan diğer işletmelerin çözüm yolları araştırılmış bu işlem için geliştirilmiş bir yapay zeka yazılımı bulunduğu görülmüştür. Yazılımın kurulum maliyetinin KOBİ'nin karşılayamayacağı bir maliyet olmadığı aynı zamanda tepe yönetici olan başmühendis tarafından beyan edilmiştir. Bu beyan üzerine E4.0 modelinde otomatik dizgi hattının son kısmında yapay zekalı yazılım simülasyon modelde koordinasyon ağına eklenmiştir.

Endüstri 4.0 teknolojileri sofistike teknolojiler olduğu için bilgi ağları daha karmaşık bir yapı sergilemektedir. EK1, EK2, EK3 ve EK4 'te açıkça görülebileceği gibi E4.0 teknolojilerinin sisteme dahil edilmesi koordinasyon ağındaki bağlantı sayılarını artırmaktadır. Manuel montaj hattında mevcut durumda üye-görev-araç ve bağlı oldukları istasyonlar arasında 119 bağlantı tespit edilmişken, yalnızca belgelendirmelerin ve eğitimlerin dijitalleşmesiyle bağlantı sayısı 214'e yükselmektedir. Başmühendis eğitimleri canlı kaydedip buluta yükledikten sonra yalnızca bölüm şefinin eğitiminden sorumlu olmaktadır. Eğitim verme görevi yerini eğitim alma görevine bırakmış ve eğitim görevi yöneticinin tekelinden çıkmış; çalışanlara devredilmiştir. Bunun sonucu olarak, yönetici ve çalışanlar arasındaki üye-üye etkileşimi azalmakta ve üye-araç etkileşimi artmaktadır. Daha önce bahsedildiği gibi yöneticinin yönetsel faaliyetler dışındaki iş yükünü azaltan bu durum yöneticinin iş yerindeki verimliliğini artırmaktadır. Çalışanların bilgiye önlerine yerleştirilen bilgisayar monitöründen diledikleri zaman ulaşabilmelerinin bir sonucu simülasyon modellemeler sonucunda da görülen bilginin üyeler arası etkileşimden ziyade üye-araç etkileşimiyle aktarılması olmuştur. Benzer şekilde E4.0 modellerinde üyelerin görevleriyle etkileşimleri araçlar vasıtasıyla gerçekleşmekte, görev-üye etkileşimleri görev-araç, araç-üye olarak değişmektedir. Mevcut durumda bilgi ağırlıklı olarak görevlerde depolanmaktayken E4.0 senaryolarında görevlerle birlikte araçlarda da bilgi yoğunluğu artmaktadır. Üyelerin yeni teknolojiyi kullanarak çalışması belleklerinde özellikle nadir tekrarlanan basit görevlerde ve sık tekrarlanan zor görevlerde genel bilgi depolama başlangıç düzeyini yükseltmekte ve unutmayı azaltmaktadır; dolayısıyla bilginin geri çağırılabilme olasılığının arttığını söylemek mümkündür. Simülasyon senaryolarının bulgularına göre E4.0'a geçişte nadir basit, rutin ve nadir zor görevlerde koordinasyon ağlarında bilgiyi depolayan ajanların

yoğunluğu artmaktadır. Bilgi depolayan ajan sayısındaki artış benzer senaryolarda E4.0’da koordinasyon ağlarında bilginin daha kısa sürede yayılmasını sağlamaktadır.

Şekil 15 ve Şekil 16’da görselleştirildiği gibi bağlantıların yoğunluğunun ve karmaşıklığının arttığı gözlemlenmektedir. Özellikle zaten teknik karmaşıklığı yüksek olan otomatik dizgi hattında karmaşıklığın artışı açıkça görülmektedir. Otomatik dizgi hattında mevcut koordinasyon ağında üye-görev-araç ve bağlı bulundukları istasyonlar arasında 228 bağlantı söz konusu iken E4.0’a geçiş senaryosunda bulut, sensör ve yapay zekanın sisteme eklenmesiyle bağlantı sayısı 301’e çıkmaktadır. Her iki hatta da E4.0 teknolojilerinin uygulanması sonucu verimlilik artışı sağlanmasına, zaman ve maliyet tasarrufu yaratılmasına ve görevlerin daha kolay yapılabilir hale gelmesine rağmen, örgütsel bilginin depolanması ve aktarılması daha karmaşık hale gelmektedir. Otomatik dizgi hattı E4.0 teknolojilerinden şu anda kullandığından daha fazla kullandığında koordinasyon ağında bilgi depolayan ajanların sayısı simülasyonda denenen her senaryo için artmaktadır ancak manuel montaj hattında olduğu gibi bu durum bilginin aktarılması için geçen süreyi azaltmamakta aksine sürecin karmaşıklığı sebebiyle bilgiyi belleğe depolama süresi uzamaktadır. Süre uzamakta ancak belleğe kaydedilen bilgi daha uzun vadede yüksek katma değer yaratmaktadır. Yapay zeka yazılımının mesela nadir ve zor bir görevle ilk karşılaşmalarında bilgiyi depolama hızı düşük olabilir ancak makine öğrenmesiyle derin öğrenme gerçekleştiğinde bu tip görevleri çok daha kısa sürede yapabilecektir.

Bir işletmenin tamamen manuel ve yarı otomatik iki hattı üzerinden edinilen veriler ışığında sonuç olarak KOBİ’lerin E.40’a geçiş için kademeli geçişte ilk olarak işlem ve prosedürlerini sanal ortama taşıması gerekmektedir. Bu dijital dönüşümün ilk aşamasıdır ve rekabette hayatta kalabilmek için elzemdir. Maliyeti olmayan bu dönüşüm bütün KOBİ’ler tarafından ivedilikle gerçekleştirilmelidir. Bu dönüşüm teknik boyutta değişim yarattığı gibi vaka üzerinden görüleceği gibi örgütsel ve yönetsel boyutta da değişimler yaratmaktadır.

Bazı görev ve yetkilerin örgütün geneline yayılması Endüstri 4.0 paradigmasının öngördüğü gibi daha esnek, daha organik ve ademi merkezi bir yapıya geçişi sağlamaktadır. Bahsedilen bu örgütsel dönüşüm, bu araştırmada yalnızca tepe yöneticisinin kontrolünde olan eğitim yetkisinin ortadan kalkmasında ve eğitim alma

görevinin bulut teknolojisi sayesinde kişilerin otokontrolüne bırakılması senaryosunda açıkça gözlemlenebilmektedir. Yetkinin tabana yayılması doğrudan hiyerarşik yapıyı basıklaştıracaktır. Yöneticinin yürütme fonksiyonu zayıflamakta ve yalnızca planlama ve denetleme görevini yerine getirmesi beklenmektedir. E4.0 teknolojileri sayesinde artan araç-üye etkileşimlerindeki bilgi aktarımıyla örgütsel öğrenme gerçekleşmekte ve örgütsel belleğe kaydedilmektedir. Bu basit örnek bilginin araçlara aktarılmasıyla yöneticinin yürütme fonksiyonunu otonom işleyen alt sistemlere devretmesine ve yönetimin Fayol'dan beri kabul edilen fonksiyonlarından birinin zaman içinde kaybolacağının göstergesi olabilir. Örgüt içinde kendi kendini yöneten otonom alt sistemlerin oluşması yöneticinin koordinasyon ve örgütleme görev ve yetkilerini de sınırlandıracak veya azaltacaktır. Dolayısıyla Fayol'un örgütlenme ilkelerinden otorite, yetki, yönetim alanı, iş bölümü, hiyerarşi gibi birden çok ilkesi değişime uğrayacaktır.

Her ne kadar dördüncü sanayi devrimi klasik yönetim düşüncesinin, insanı sistemin bir parçası olarak ele alan anlayışına benzer bir üye-arac etkileşimi ortaya koysa da (birinci sanayi devrimi sonrası mekanik bir örgüt sisteminden söz ederken, dördüncü sanayi devrimi sonrası dijital bir örgüt sisteminden bahsedilmektedir.) klasik yönetim anlayışının bugün bile iş hayatının temellerini oluşturan ilke ve prensiplerinin yeni sanayi devrimiyle kısmen ya da tamamen ortadan kalkması öngörülebilir örgütsel değişimlerdir. Her sanayi devriminde yaşandığı gibi Endüstri 4.0 devrimi de kendi örgüt formlarını ortaya çıkacak ve alışlagelmiş yönetim anlayışının dışında çözümler geliştirmek gerekecektir. Örgüt içi otonom yapıların oluşması, esnek üretim sistemleri, kitlesel kişiselleştirme, teknoloji tabanlı ağ yapıları, makine öğrenmesiyle eş zamanlı bilgi aktarımının sağlandığı yeni öğrenen örgüt formları yeni sanayi devriminin yarattığı örgütsel değişimlere birer örnektir. Yöneticilerin bu değişimleri göz önünde bulundurarak Endüstri 4.0'a geçiş sonrası için örgütsel rolleri ve yetkileri yeniden tasarımları gerekmektedir.

Vakadan görüleceği üzere KOBİ'ler için E4.0'a geçiş büyük yatırımların yapılması gereken topyekûn bir dönüşüm olmak zorunda değildir. Dijital dönüşümde küçük bir değişiklik bile örgütte önemli değişimler yaratabilmektedir. Örgütsel belleğin oluşmasında ve örgütsel öğrenmenin gözlemlenmesinde önem arz etmesi bakımından yine eğitilme örneği ele alındığında, fabrika içinde küçük bir hat olan

manuel montaj hattındaki eğitimlerin dijitale aktarılmasının yöneticiye sağladığı zaman tasarrufuna bakarak, E4.0 teknolojilerinin örgüt geneline yayılmasıyla yöneticilerin görev tanımları, iş yükleri ve sorumluluklarının da değişeceği söylemek mümkündür.

Bu çalışmada KOBİ'lerin E4.0'a geçişinde ilk aşamanın dijitalleşme ve siber fiziksel sistemlerin kullanılması olduğu söylenmektedir. KOBİ'ler kendi teknik karmaşıklıklarına göre incelenen örnekte olduğu gibi yapay zeka ve makine öğrenmesini de ilk aşamada entegre edebilirler. İkinci aşama işletme dokümantasyonlarının dijitale tamamen aktarılmasından sonra başlayacaktır. Bu çalışmada olduğu gibi koordinasyon ağlarının modellenmesi ve bilgisayar ortamına aktarılması sağlanabilir. Bu çalışmada yalnızca iki hat üzerinden modelleme yapılmıştır. KOBİ'lerin bütün verileri dijitale aktarıldığında, yani dijital dönüşümün ikinci aşamasına geçildiğinde KOBİ yöneticileri örgüt içindeki mühendislere ya da KOBİ'lere E4.0 çözümleri üreten danışmanlık firmalarına örgütün dijital ikizini (sanal olarak örgütün işleyişinin birebir modeli) oluşturabilir. Dijital ikiz örgütün sanal alemdeki yansımasıdır ve bu model üzerinden alınacak her karar, örgüt yapısında ve tasarımında yapılacak her değişim için simülasyon programlarında sayısız senaryo üretilebilmektedir.

Bu araştırmanın simülasyon senaryoları örgütsel bilginin kaydedilmesi, aktarılması ve yeniden çağrılabilirliğinin yeni sanayi devriminin teknolojileriyle nasıl değişeceği üzerine kurgulanmıştır. Buna göre, farklı karmaşıklık düzeyindeki sistemlerde bilginin edinilmesi, aktarılması ve kaydedilmesi farklılaşmaktadır. Kullanılan simülasyon model örgütsel belleğin oluşum sürecinin oluşurken gözlemlenebilmesine olanak sağlamış ve bellek oluşurken örgütsel öğrenmenin gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Örgütsel öğrenme yönetim yazınında çoğunlukla çalışanların bireysel veya grup düzeyinde öğrenmelerine odaklanmıştır. Örgütsel İstisnai olarak Bruno Latour ve arkadaşları aktör ağ kuramını geliştirmiş ve nesnelerin de örgütsel bilgi ağına dahil olduğu bir sistemden söz etmişlerdir. Endüstri 4.0 paradigmasının nesnelerin interneti ve herşeyin interneti kavramları tam da bu mantıkla örtüşmektedir. Benzer mantıkla, bu çalışmada örgütsel bilginin depolandığı üye-görev-araç ağları birlikte ele alınmış ve gelişen teknolojiyle görevlerin de araçların da örgütsel belleğin oluşumunda etkisine vurgu yapılmıştır. Dahası örgütsel

öğrenmeden bahsederken insanlarla birlikte görev ve araçların da – ki makine öğrenmesinin hayal olmaktan çıkıp hayatın bir parçası haline geldiği bu yeni çağda denkleme dahil edilmesi gerektiği düşünülmüştür. Endüstri 4.0 teknolojilerinin karmaşık örgüt yapısında öz örgütlenmelerin oluşmasını sağlaması yanında, öz oluşum yoluyla örgüt düzeyinde öğrenmeye sebep olduğu araştırmanın önemli bulgularındandır. Ancak öğrenme gözlemlenmesi zor olan işlemsel belleğin bir unsurudur. Carley (1992) işlemsel belleğin süreç üzerinde gözlemlenebileceği iddia etmişse de örgütsel belleğin örgütsel öğrenme yoluyla oluştuğu süreci, başka bir deyişle örgütsel bellekteki örtük bilginin oluşum sürecini gözlemleyen bir çalışma yapılmamıştır. Bu araştırma bu süreci ortaya koyması bakımından özgün nitelik taşımakta ve alan yazına katkı sağlamaktadır.

Türkiye “Dijital Dönüşüm” yol haritası kapsamında devlet bazında büyük adımlar atmış, uzmanların bir araya geldiği birçok platformun kurulmasını ve konunun araştırılmasını, iş birliklerinin kurulmasını teşvik etmiştir. Kamu, özel sektör ve akademi iş birliği ile kurulan Türkiye yapay zekâ platformları (AITR, TRAI), dernekler ve sivil toplum kuruluşları sayesinde konuya ilişkin altyapı kurulmuş, çeşitli faaliyetler ve raporlar düzenlenerek sürekli bilgi alışverişi sağlanmıştır. Ayrıca çok sayıda dijital dönüşüm çözümleri üreten güçlü danışmanlık firmaları kurulmuştur. KOBİ’lerin dijital dönüşümü özellikle teşvik edilmektedir. İmalat sanayinde faaliyet gösteren Cumhurbaşkanlığı dijital dönüşüm ofisinin ulusal yapay zekâ stratejisi kapsamında KOBİ’ler için ayrıca belirlenen teşvikler, hibeler ve destekler bulunmaktadır. KOBİ’ler ilk aşama olan ve ek maliyet gerektirmeyen verilerin dijital ortama aktarılmasını tamamladıktan sonra bu teşvikler kapsamında E4.0 geçiş çözümleri üreten firmalardan destek alabilir ve üniversitelerle birlikte senaryo modelleri ve çözüm önerileri geliştirebilirler.

4.2 Araştırmanın sınırlılıkları

Araştırmanın 5 temel sınırlılığı bulunmaktadır. Bunlardan ilki araştırmacının bilgisayar programı kodlama üzerine bilgisinin sınırlılığıdır. Araştırmada kullanılmak üzere seçilen NetLOGO yazılımı, kod yazma konusunda uzman olmayan araştırmacıların giriş seviyesinde kodlamalar ile ajan temelli modellemeler yaratabilmelerine olanak tanımaktadır. Bu niteliği ile sosyal bilimcilerin iktisadi

örgütler gibi karmaşık sosyal fenomenleri gerçeğe yakın modeller ile inceleyebilmesi açısından öne çıkmaktadır. Bu yazılım kullanıcı dostu basit yazılımı için Java tabanlı kaynak kodları kullanmaktadır. Java programlama dilinde uzman mühendislerin geliştirebilecekleri modeller ile örgütlerin karmaşık doğasını daha gerçekçi yansıtabilecektir.

İkinci sınırlılık ise veri toplama ile ilgilidir. Araştırmanın verisi yerinde gözlem ve uzman başmühendisler ile mühendislerin kişisel deneyim ve uzman görüşlerine dayanarak toplanmıştır. Bu sebeple gerçeğe yakın geliştirilmek istenen modelin parametreleri sübjektif değerlendirmeler içermektedir. Örnek örgüt uzun yıllardır faaliyetlerini sürdüren, E.4.0 geçiş süreçlerine uyumlu bir KOBİ örneğidir. Ancak bulguların geçerliliğinin artması için benzer örgütler üzerinden toplanacak verilerin analiz edilebilmesi de önemlidir.

Sınırlılıkların üçüncüsü ağ düzeneklerinin modellenmesinde seçilen bilgi yayılım modeli ile ilgilidir. Bilgi, haber, virüs, bakteri, teknolojik ilerleme, yangın, göç gibi ağ düzeneklerinde yayılımını inceleyen araştırmalar, ağlar arasındaki bağları tek yönlü ya da çift yönlü olarak ele alabilmektedir. Ajanların sayısı ve ağ ilişkilerinin karmaşıklığı modellemede yönlendirilmiş ağları tasarlamayı zorlaştırmaktadır. Birinci kısıtla da ilintili olarak ağ düzeneklerinde yönlendirilmiş yayılım modeli kurgulanmamıştır. Ancak daha kapsamlı araştırma projelerinde ve uzun zaman aralıklarında bu modellemelerin yapılması da ayrıca fayda sağlayacaktır.

Dördüncü sınırlılık ajan davranışlarının türlere göre (üye, görev, araç) kodlanmayışıdır. Birinci ve üçüncü sınırlılıkların aşılmasını takiben ağ düzeneklerinde farklı ajanların farklı davranışlarının gözlemlenmesi, bu sayede de her bir ajan türünün örgütsel bellek depolama farklılıkları üzerine daha çok bilgi üretmek mümkün olabilecektir. Beşinci ve son olarak ise yine zaman kısıtlılığı bağlamında simülasyon senaryolarının tekrarlanma sayılarının kısıtlılığından söz edilebilir. Tekrar sayısı artırıldıkça veri zenginliği de artacaktır.

4.3 İleriye Yönelik Öneriler

2022 yılı itibariyle, gerek Stanford Üniversitesinin 100 yıllık raporları incelendiğinde, gerekse de OpenAI şirketi tarafından geliştirilen önceden eğitilmiş üretici sinir ağının (Chat GPT) dünya genelinde kullanıma sunulması sebebiyle dijital

dönüşüm çağının yarattığı değişimin rahatça gözlemlenebilir olduğunu söylemek artık mümkündür. Dolayısıyla yönetim ve organizasyon anabilim dalında bu gözlemlerin ışığında yapılacak araştırmalar örgütsel değişim, stratejik yönetim, örgütsel davranış, insan kaynakları yönetimi gibi konularda önemli bulgular ortaya koyabilecektir.

Bu araştırmanın konusu olan örgütsel öğrenme ve örgütsel bellek araştırmaları da bu bağlamda önemini artırmaktadır. İleriye dönük araştırmalar ile dördüncü sanayi devriminin yöneticiler tarafından anlaşılabilmesi ve bu değişim ile gelen örgütsel öğrenme ihtiyacına yönelik çözüm önerileri geliştirilmelidir. Araştırmanın sınırlılıklarının aşılmasına da paralel olarak bazı özgün araştırma önerileri sıralamak gerekirse, ajan temelli modellemeler kullanarak örgütlerin karmaşık doğasını modelleyerek yönetsel yeni yaklaşımlar için kuramsal altyapı hazırlamanın önemine vurgu yapılabilir. Ardından yönlendirilmiş ağ düzenekleri üzerine yapılacak yayılım analizleri ile örtük bilgi üzerine araştırmalar kurgulanması önerilebilir.

Üçüncü olarak bu çalışmada koordinasyon ağlarının üçlü üye-görev-aracı modeli üzerinden analizler gerçekleştirilmiştir. Diğer koordinasyon ağları üzerine de kapsamlı çalışmalar ile görgül veri analizleri alan yazına katkı sağlayacaktır. Son olarak sübjektif değerlendirme ve deneyim içeren veriler kullanılan bu çalışmadan farklı olarak çeşitli makine öğrenmesi teknikleri ile toplanan büyük verilerin analizine yönelik modeller ile ajan temelli örgütsel bellek çalışmaları yapmak mümkündür.

KAYNAKÇA

- Argote, L. (2013). *Organizational Learning – Creating, Retaining and Transferring Knowledge (Second Edition)*. New York: Springer Verlag,
- Argote L., and Ingram, P. (2000). Knowledge Transfer: A Basis for Competitive Advantage in Firms. *Organization Behaviour and Human Decision Processes*, Vol:82, No:1, May 2000, 150-169.
- Argyris, C., and Schön, D. A. (1978). *Organizational learning: A Theory of Action Perspective*. Addison-Wesley Publishing Company.
- Ashak Gajo, A. H. (2021). A Managerial Roadmap Development for Industry 4.0-Based Smart Manufacturing Enterprise: A Study in Turkish Automotive Sector. Doktora Tezi. *Türk Hava Kurumu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Ankara.
- Ayyagari, M., Beck, T., and Demirgüç-Kunt, A. (2007). Small and Medium Enterprises Across the Globe. *Small Business Economics*, 29, 415-434.
- Ayyagari, M., Demirgüç-Kunt, A., and Maksimovic, V. (2011). Small vs. Young Firms across the World Contribution to Employment, HJon Creation, and Growth. *Policy Research Working Paper 5631*, The World Bank Development Research Group Finance and Private Sector Development Team, April 2011.
- Barabási, A. L. (2003). *Linked: How Everything is Connected to Everything Else and What It Means for Business, Science, and Everyday Life*. New York: Plume.
- Bayülken Y. (2017). Küçük ve Orta Ölçekli Sanayi İşletmeleri (KOBİ'ler) (genişletilmiş beşinci baskı). *Türkiye Makine Mühendisleri Birliği Oda Raporu, Yayın No: MMO/677*.
- Beck, T. (2005). SMEs, Growth, and Poverty: Cross-Country Evidence. *Journal of Economic Growth*, 10, 199-229.

- Botthof, A. (2015). Zukunft der Arbeit im Kontext von Autonomik und Industrie 4.0. *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0* (Eds. Alfons Botthof ve Ernst Andreas Hartmann). Berlin: Springer, 3-8.
- Brazzel, M. (2014). Organizational Change Theories and Models. *The NTL Handbook of Organization Development and Change* (Eds. Brenda B. Jones and Michael Brazzel), Second Edition, San Francisco: NTL Institute, Wiley.
- Britnell, R. H. (1996). Review of periodical literature published in 1994. *Economic History Review*, Vol.49, Issue.1, 154-186.
- Brynjolfsson, E., and McAfee, A. (2014). *The Second Machine Age – Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. New York: W.W. Norton & Company Inc.,
- Burk, W. J., Steglich, C. E., & Snijders, T. A. (2007). Beyond dyadic interdependence: Actor-oriented models for co-evolving social networks and individual behaviors. *International Journal of Behavioral Development*, 31(4), 397-404.
- Burrell, G., & Morgan, G. (1979). *Sociological Paradigms and Organizational Analysis*. Aldershot, UK: Gower.
- Carley, K. (1992). Organizational Learning and Personal Turnover. *Organization Science*, 3(1), 20-46.
- Castells, M. (2000). Materials for an exploratory theory of the network society. *The British Journal of Sociology*, 51(1), 5-24.
- Chandler, A. D. (1990). *The Scale and Scope the Dynamics of the Industrial Capitalism*. Cambridge, MA: The Belknap Press of the Harvard University Press.
- Chandler, A. D. (1992). Organizational Capabilities and the Economic History of the Industrial Enterprise. *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 6, No. 3, 79-100.
- Cohen, M. D., and Bacdayan, M. (1994). Organizational Routines Are Stored as Procedural Memory: Evidence from a Laboratory Study. *Organization Science*, 5 (4), 554-568.
- Carmichael, T., and Hadzikadic, M. (2019). Fundamentals of Complex Adaptive Systems. *Complex Adaptive Systems* (Eds. Ted Carmichael, Andrew J. Collins, Mirsad Hadzikadic). Berlin: Springer International Publishing, 1-17.

- Cimini, C., Boffelli, A., Lagorio, A., Kalchschmidt, M., & Pinto, R. (2020). How do industry 4.0 technologies influence organisational change? An empirical analysis of Italian SMEs. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 695-721.
- Çalış Duman, M. (2020). Endüstri 4.0 Teknoloji Bileşenlerinin Örgütsel Performansa Etkilerini Belirlemeye Yönelik bir Araştırma. Doktora Tezi. *İnönü Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Malatya.
- Çiçek, H. (2021). Dördüncü Sanayi Devrimi ve Türkiye. Doktora Tezi. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Erzurum.
- Davies, R. (2015). Industry 4.0 Digitalization for productivity and growth. *European Parliamentary Research Service (EPRS)*, Briefing, 1-10.
- Dayé, M., Houssa, R. and Reding, P. (2016). Improving MSMEs Access To External Financing In Low Income Countries: Is There A Role For Development Cooperation?. *Reflets et perspectives de la vie économique*, LV, 2016/1, 9-28.
- DiMaggio, P. J., and Powell, W. W. (1983). The Iron Cage Revisited: Institutional Isomorphism and Collective Rationality in Organizational Fields. *American Sociological Review*, 48(2), 147–160.
- Divrik, B. (2022). Türk Tekstil ve Konfeksiyon İhracatçısı Küçük ve Orta Ölçekli İşletmelerde Uluslararasılaşma Sürecinde Dijitalleşmenin etkileri ve Örgütsel Öğrenme Odaklı Bir Model Önerisi. Doktora Tezi. *İstanbul Medipol Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İstanbul.
- Dorfman, R. (1991). Review Article: Economic Development from the Beginning to Rostow. *Journal of Economic Literature*, Vol.29, No.2, 573-591.
- Drogoul, A., Ferber, J (1994). Multi-agent Simulation as a Tool for Analyzing Emergent Processes in Societies. *Simulating Societies - The Computer Simulation of Social Phenomena* (Eds. Nigell Gilbert and Jim Doran). 1st Edition. London: Routledge, 49-62.
- Easterby-Smith, M. (1997). Disciplines of Organizational Learning: Contributions and Critiques. *Human Relations*, Vol.50, No.9, 1085-1113.
- Ege, T., Esen, A., ve Aşık Dizdar, Ö. (2017). Organizational Learning and Learning Organizations: An Integrative Framework. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, Cilt 13, Sayı 2, 2017.

- Epstein, J. M. (1999). Agent-based computational models and generative social science. *Complexity*, Volume:4, Issue:5, 41-60.
- European Commission- E. C. (2005). The New SME Definition: User Guide and Model Declaration. Brussels (Belgium): EC Enterprise and Industry Publications.
- EUROSTAT (2008). *NACE Rev.2 -Statistical classification of economic activities in the European community. Office for Official Publications of the European Communities*, Luxemburg.
- EUROSTAT (2019). Statistics Explained, https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Glossary:High-tech_classification_of_manufacturing_industries, Görüntüleme: 16.01.2021.
- Faller, C., and Feldmüller D. (2015). Industry 4.0 Learning Factory for regional SMEs. *Procedia CIRP*, 32, 88-91, The 5th Conference on Learning Factories 2015.
- Fayol, H. (1916). *General and industrial management* (English edition 1949). London: Sir Isaac Pitman & Sons Ltd (first published in French in “bulletin de la société de l’industrie minérale” 1916).
- Fiedler, M., and Welp, I. (2010). How do organizations remember? The influence of organizational structure on organizational memory. *Organizations Studies*, 31(04), 381-407.
- Fiol, C. M., and Lyles, M. A. (1985). Organizational Learning. *Academy of Management Review*, Vol.10, No.4, Oct. 1985, 803-813.
- Fioretti, G. (2012). Agent-Based Simulation Models in Organization Science. *Organizational Research Methods*, 16(2), 227-242.
- Foroughi, H., Coraiola, D., Rintamäki, J., Mena, S., and Foster, W. M. (2020). Organization Memory Studies. *Organization Studies*, 41, 2, 1725-1748.
- Freeman, C., and Louçã, F. (2002). *As Time Goes By From the Industrial Revolutions to the Information Revolution*, New York: Oxford University Press.
- Ganzarain, J., & Errasti, N. (2016). Three stage maturity model in SMEs toward industry 4.0. *Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)*, 9(5), 1119-1128.

- Ghadge, A., Kara, M. E., Moradlou, H., & Goswami, M. (2020). The impact of Industry 4.0 implementation on supply chains. *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol.31, No.4, 669-686.
- Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Vilkas, M., Grybauskas, A., & Amran, A. (2022). Drivers and barriers of Industry 4.0 technology adoption among manufacturing SMEs: a systematic review and transformation roadmap. *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 33 No. 6, 1029-1058.
- Gilchrist, A. (2016). Introducing Industry 4.0. *Industry 4.0*. Berkeley CA: Apress.
- Gnemmi, G., Crippa, M., Durelli, G., Cattaneo, R., Pallotta, G., and Santambrogio, M. D. (2015). On how to efficiently accelerate brain network analysis on fpga-based computing system. In *2015 International Conference on ReConFigurable Computing and FPGAs (ReConFig)*, 1-6.
- Gordon, D. M. (2003). The Organization of Work in Social Insect Colonies. *Complexity*, 8(1), 43–46.
- Gomez-Cruz, N. A., Saa, I. L., and Ortega-Hurtado, F. F. (2017). Agent-based simulation in management and organization studies: a survey. *European Journal of Management and Business Economics*, Vol.26, No:3, 313-328.
- Granovetter, M., S. (1973). The Strength of Weak Ties. *The American Journal of Sociology*, Vol. 78, No.6, 1360-1380.
- Gibson, T. and Vaart, H. J. V. D. (2008). Defining SMEs: A Less Imperfect Way of Defining Small and Medium Enterprises in Developing Countries. Washington D. C. (USA): Brookings Global Economy and Development. http://www.brookings.edu/~media/research/files/papers/2008/9/development-gibson/09_development_gibson.pdf. (Görüntüleme: 05.11.2022).
- Güler, K. (2019). Uluslararası Ticaretin Dijitalleşmesi ve Sanayi Akımlarının Etkisi: Endüstri 4.0 Devrimi Üzerine Bir Araştırma. Doktora Tezi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi, Dış Ticaret Enstitüsü*, İstanbul.
- Günel, M. M. (2019). Simulation for the Better: The Future in Industry 4.0. *Simulation for Industry 4.0* (Der. Murat M. Günel), Cham.: Springer Series in Advanced Manufacturing, Springer, 275-282.
- Gürsoy, Ö. (2020). Yalın Üretim Sisteminde Dijitalleşme ve Endüstri 4.0 Uygulamaları ile Süreç İyileştirme Analizi: Bir İmalat İşletmesinde Uygulama.

Doktora Tezi. *Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Aydın.

Hannan, M. T., and Freeman, J., (1977). The Population Ecology of Organizations. *American Journal of Sociology*, 82(5), 929–964.

Heng, S. (2014). Industry 4.0 Upgrading of Germany's industrial capabilities on the horizon. *Deutsche Bank Research*, Frankfurt am Main, April 2014. https://www.dbresearch.com/PROD/RPS_EN-PROD/PROD0000000000451959/Industry_4_0%3A_Upgrading_of_Germany%E2%80%99s_industrial_ca.pdf?undefined&reload=Tn5VldTpcW0iUXP4zpl1X4cXtNbWxE9VmpOxRL98KENWpzfaI4TzeMSJv9jTB7IE (Görüntüleme: 15.04.2021)

Hermann, M, Pentek, T, and Otto B. (2016). Design Principles for Industry 4.0 Scenarios. *2016 Hawaii international conference on system sciences (HICSS)*, 3928-3937.

Hoelthaler, G., Braunreuther, S., and Reinhart, G. (2018). Digital lean production-An approach to identify potentials for the migration to a digitalized production system in SMEs from a lean perspective. *Procedia CIRP*, 67, 522-527.

Holand, J. H. (2014). *Complexity: A Very Short Introduction*, Oxford: Oxford University Press.

Hu, S., and Qaisar, I. (2021). Chinese SMEs in Industry 4.0: Analysis and Future Trends. *Research Anthology of Cross-Industry Challenges of Industry 4.0*, IGI GLOBAL, <http://igi-global.com>, 2021, 1968-1978.

Huber, G. (1991). Organizational learning: the contributing processes and the literatures. *Organizational Science*, 2(1), 88-115.

Jaffee, D. (2001). *Organization Theory Tension and Change*, New York: McGraw-Hill.

Jensen, M. C. (1993). The Modern Industrial Revolution, Exit and Failure of Internal Control Systems. *The Journal of Finance*, Vol. XLVIII, No.3, 831-881.

Kagermann, H., Helbig, J., and Wahlster, W. (2013). Recommendations For Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0: Securing the Future of German Manufacturing Industry. *Final Report of The Industrie 4.0 Working Group 2013, Forschungsunion*.

- Kagermann, H., Lukas, W. D., and Wahlster, W. (2011). Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. Industriellen Revolution. *VDI-Nachrichten*, 13, s.2.
- Kapás, J. (2008). Industrial revolutions and the evolution of the firm's organization: an historical perspective. *Journal of Innovation Economics* Vol.2, N.2, 15-33.
- Karademir, İ. (2022). Dördüncü sanayi Devriminde Liderlik ve Bir Model Önerisi: Liderlik 4.0. Doktora Tezi. *Maltepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, İstanbul.
- Katz, D., and Kahn, R. L. (1978). *The social psychology of organizations*. New York: Wiley.
- Katz, N., Lazer, D., Arrow, H., and Contractor, N. (2004). Network Theory and Small Groups. *Small Group Research*, 35 (3), 07-332.
- Kesayak, B. (2021). Endüstri Tarihine Kısa Bir Yolculuk", <https://www.endustri40.com/endustri-tarihine-kisa-bir-yolculuk/>, (Görüntüleme: 10.10.2021).
- Kezar, A. (2001). Understanding and facilitating organizational change in the 21st century: Recent research and conceptualizations. *Washington DC: ASHE-ERIC Higher Education Reports*.
- Knight, G. (2000). Entrepreneurship and Marketing Strategy: The SME under Globalization. *Journal of International Marketing*, Vol.8, No.2, 12-32.
- Koca, D. (2020). Sanayi 4.0 Kapsamında Türkiye'de İşgücünün Yeni Becerilerinin Belirlenmesi: Beceri Talebi ve Arzının Karşılaştırılması. Doktora Tezi. *Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Ankara.
- Komlos, J. (1997). Ein Überblick über die Konzeptionen der Industriellen Revolution. *Vierteljahrschrift für Sozial- und Wirtschaftsgeschichte*, 84. Bd, H.4, 461-511.
- Kondratieff, N. (1926). Die langen Wellen der Konjunktur. *Archiv für Sozialwissenschaft und Sozialpolitik*, 56, 573-609.
- Kuhn, T. S. (2008). *Bilimsel Devrimlerin Yapısı*. (Çev. Nilüfer Kuyaş), 8. Baskı, İstanbul: Kırmızı Yayınları.
- Kumar, R., Singh, R. K., & Dwivedi, Y. K. (2020). Application of industry 4.0 technologies in SMEs for ethical and sustainable operations: Analysis of challenges. *Journal of Cleaner Production*, 275, 124063.

- Lasi, H., Fettke, P., Feld, T., und Hoffmann, M. (2014). Industrie 4.0. *Wirtschaftsinformatik*, 56, 261-264.
- Latour, B. (2005). Reassembling the social: An Introduction to Actor-Network Theory. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Lee, I., and Lee, K. (2015). The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, 58(4), 431-440.
- Lee, J., Bagheri, B., and Kao, H.A. (2015). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18-25.
- Leijonhufvud, A. (1984). Capitalism and the factory system. *Diskussionsbeiträge-Serie A, No. 184, Universität Konstanz, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften und Statistik*, Konstanz.
- Levy, A., Merry, U. (1986). *Organizational Transformation: Approaches, Strategies, Theories*. New York: Greenwood Publishing Group.
- Lewin, K. (1951). *Field Theory in Social Science*. New York: Harper & Brothers Publishers.
- Li, X., Pak, C., & Bi, K. (2020). Analysis of the development trends and innovation characteristics of Internet of Things technology–based on patentometrics and bibliometrics. *Technology Analysis & Strategic Management*, 32(1), 104-118.
- Lorenz, E. N. (1972). Predictability: does the flap of a butterfly's wings in Brazil set off a tornado in Texas?. *139th Annual Meeting of the American Association for the Advancement of Science (29 Dec 1972), The Essence of Chaos*, Taylor-Francis e-Library 2005, Appendix 1, 179-183.
- Lucke, D., Constantinescu, C., & Westkämper, E. (2008). Smart Factory- A Step towards the Next Generation of Manufacturing. *The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems*.
- Macal, C. M. (2016). Everything you need to know about agent-based modelling and simulation. *Journal of Simulation*, 10:2, 144-156.
- Mäki, U. (2011). Models and the locus of their truth. *Synthese*, 180, 47-63.
- March, J. G., Schulz, M., & Xuequang, Z. (2000). *The Dynamics of rules: Change in Written Organizational Codes*. Stanford, CA: Stanford University Press.

- March, J. G., and Simon, H. A. (1975). *Örgütler*, (Çevirenler: Ömer Bozkurt, Oğuz Onaran), Türkiye ve Orta Doğu Amme İdaresi Enstitüsü Yayınları No:44, Ankara 1975.
- Matt D.T., and Rauch E. (2020). *SME 4.0: The Role of Small- and Medium-Sized Enterprises in the Digital Transformation. Industry 4.0 for SMEs Challenges, Opportunities and Requirements* (Eds. Dominik T. Matt, Vladimir Modrak, Helmut Zsifkovits). Cham.: Palgrave Macmillan, 3-36.
- Mcgrath, J. E., and Argote, L. (2001). Group Process in Organizational Contexts. *Blackwell Handbook of Social Psychology: Group Processes*, (Eds. Michael A. Hogg, R. Scott Tindale). Chicester: Blackwell Publishers, 603-627.
- Mcgrath, J. E., Arrow, H., and Berdahl, J. L., (2000). The Study of Groups: Past, Present, and Future. *Personality and Social Psychology Review*, Vol. 4, No.1, 95-105.
- Mecek, G. (2020). Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmelerin (KOBİ) Tanımlama Ölçütleri ve Kavramlaştırılması. *Ekonomi İşletme Siyaset ve Uluslararası İlişkiler Dergisi (JEBPIR)*, 6 (1), 29-55.
- Meyer, A. D., Brooks, G. R., and Goes, J. B. (1990). Environmental Jolts and Industry Revolutions: Organizational Responses to Discontinuous Change. *Strategic Management Journal*, 11, 93-110.
- Meyer, J. W., and Rowan, B. (1977). Institutionalized Organizations: Formal Structure as Myth and Ceremony. *American Journal of Sociology*, 83(2), 340-363.
- Miller, J. H., and Page, S. E. (2007). *Complex Adaptive Systems An Introduction to Computational Models of Social Life*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Miller, K. D. (2015). Agent-Based Modeling and Organization Studies: A critical realist perspective. *Organization Studies*, Vol. 36(29), 175-196.
- Mittal, S., Romero, D., & Wuest, T. (2018). Towards a smart manufacturing maturity model for SMEs (SM3E). *IFIP international conference on advances in production management systems*, 155-163. Cham: Springer.
- Moeuf, A., Pellerin, R., Lamouri, S., Tamayo-Giraldo, S., and Barbaray, R. (2018). The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56, 3, 1118-1136.

- Moeuf, A., Lamouri, S., Pellerin, R., Tamayo-Giraldo, S., and Eburdy, R. (2019). Identification of critical success factors, risks, and opportunities of Industry 4.0 in SMEs. *International Journal of Production Research*, 58, 5, 1384-1400.
- Mokyr, J. (1999). *The British Industrial Revolution- an Economic Perspective*, 2nd Edition, New York: Routledge.
- Morel, B., and Ramanujam, R. (1999). Through the Looking Glass of Complexity: The Dynamics of Organizations as Adaptive and Evolving Systems. *Organization Science*, Vol.10, No.3, 278-293.
- Nelson, R. R., and Winter, S. G. (1982). *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Cambridge, Massachusetts, and London: The Belknap Press of Harvard University Press.
- Neugebauer, R., Hippmann, S., Leis, M., & Landher, M. (2016). Industrie 4.0 – from the perspective of applied research. *Procedia CIRP*, 57, 2-7, 49th CIRP Conference on Manufacturing Systems 2016.
- Niholic, I., and Ghorbani, A. (2011). A method for developing agent-based models of socio-technical systems. *2011 international conference on networking, sensing and control*, IEEE, 44-49.
- OECD (2004). Türkiye'deki Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeler – Mevcut Durum ve Politikalar, Paris.
- Olle, W., & Clauss, D. (2015). Industrie 4.0 braucht den Mittelstand- Eine Kurzstudie. *Chemnitz Automotive Institute*, Chemnitz, http://cati.institute/wp-content/uploads/2015/03/Kurzstudie_Endfassung.pdf. (Görüntüleme: 14.01.2021).
- Orzes, G., Rauch, E., Bednar, S., and Poklemba R. (2018). Industry 4.0 Implementation Barriers in Small and Medium Sized Enterprises: A Focus Group Study. *2018 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 1348–1352.
- Öğrenme (2021). https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/56123/mod_resource/content/0/13_%C3%B6%C4%9Frenme.pdf. (Görüntüleme: 18.09.2021).
- Pascale, R. T. (1999). Surfing the Edge of Chaos. *Sloan Management Review*, 40(3), 83-94.

- Pfeffer, J., & Salancik, G. (1978). *The External Control of Organizations: A Resource Dependence Perspective*. New York: Harper & Row.
- Perez, C. (2004). Technological revolutions, paradigm shifts and socio-institutional change. *Globalization, Economic Development, and Inequality: An alternative Perspective* (Ed. Erik Reinert), Northampton, USA, 217-242.
- Peterson, M. J. (2008). Roots of Interconnection: Communications, Transportation and Phases of the Industrial Revolution. *International Dimensions of Ethics Education in Science and Engineering*, Volume 2, 1-8.
- Raisch, S., and Krakowski, S. (2021). Artificial Intelligent and Management: The Automation-Augmentation Paradox. *Academy of Management Review*, 46(1), 192-210.
- Rickmann, H. (2014). Verschlft der deutsche Mittelstand einen Megatrend?. https://www.focus.de/finanzen/experten/rickmann/geringer-digitalisierungsgrad-verschlaeft-der-deutsche-mittelstand-einen-megatrend_id_3973075.html. (Görüntüleme: 11.01.2021).
- Robu, M. (2013). The Dynamic and Importance of SMEs in Economy. *The USV Annals of Economic and Public Administration*, Volume.13, Issue 1(17), 84-89.
- Rostow, W. W. (1959). The Stages of Economic Growth. *The Economic History Review*, Vol:12, Issue:1, 1-16.
- Rodič, B. (2017). Industry 4.0 and the new simulation modelling paradigm. *Organizacija*, 50(3), 193-207.
- Rostow, W. W. (1975). Kontratoeff, and Kuznets: Trends Periods Revisited. *The Journal of Economic History*, Vol.35, No.4, 719-753.
- Rowlinson, M., Booth, C., Clark, P., Delahaye, A., & Procter, S. (2009). Social Remembering and Organizational Memory. *Organization Studies*, V.31, Issue:1, 69-87.
- Salkin, C., Öner, M., Üstündağ, A., and Çevikcan, E. (2018). A Conceptual Framework for Industry 4.0. *Industry 4.0: Managing the Digital Transformation* (Der. Alp Üstündağ, Emre Çevikcan). İstanbul: Springer Series in Advanced Manufacturing, 3-24.

- Sandoe, K., and Olfmann, L. (1994). Organizations of memory: A simulation. *1994 Proceedings of the Twenty-Seventh Hawaii International Conference on System Sciences*. 161-170.
- Sargut, A. S., Özen Ş. (2007). *Örgüt Kuramları*. (Der. A. Selami Sargut ve Şükrü Özen). Ankara: İmge Kitabevi.
- Schachter, D. L. (1997). *Searching for memory: The brain, the mind, and the past*. New York: Basic Books.
- Schneider, M., and Somers, M. (2006). Organizations as complex adaptive systems: Implications of Complexity Theory for leadership research. *The Leadership Quarterly*, 17, 351-365.
- Schumpeter, J. A. (1939). *Business Cycles A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process*, New York, Toronto, London: McGraw-Hill Book Company.
- Schütt, P. (2003). The post-Nonaka Knowledge Management. *Journal of Universal Computer Science*, Vol. 9, No. 6, 451-462.
- Schwab, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*, Geneva: World Economic Forum.
- Scopus. (2022). www.scopus.com/results/results.uri?sort=plf-f&src=s&nlo=&nlr=&nls=&sid=cc53f38d49c520abb0de0cc5feff9392&sot=a&sdt=cl&cluster=scosubjabbr%2c%22BUSI%22%2ct&sl=44&s=smes+and+industry+4.0+and+%22digital+maturity%22&origin=resultslist&zone=leftSideBar&editSaveSearch=&txGid=d60968cf4d88433587dbd07e69584193, (Görüntüleme: 12.12.2022).
- Scott, W. R (1981). *Rational, Natural, and Open Systems*, New Jersey: Prentice Hall.
- Seçkin Codal, K., & Coşkun, E. (2016). Sosyal Ağ Türlerinin Karşılaştırılmasına İlişkin Bir Ağ Analizi. *Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 16, 1, 143-158.
- Shebani, Z., & Pulvermüller, F. (2013). Moving the hands and feet specifically impairs working memory for arm- and leg-related action words. *Cortex*, 49, 222-231.

- Siebers, P. O., Macal, C. M., Garnett, J., Buxton, D., and Pidd, M. (2010). Discrete-event simulation is dead, long live agent-based simulation!. *Journal of Simulation*, 4, 204-210.
- Smaldino, P. E., Calanchini, J., & Pickett, C. L. (2015). Theory development with agent-based models. *Organizational Psychology Review*, Vol. 5, Issue. 4, 2015, 300-317.
- Snijders, T. A., Van de Bunt, G. G., & Steglich, C. E. (2010). Introduction to stochastic actor-based models for network dynamics. *Social networks*, 32(1), 44-60.
- Sommer, L. (2015). Industrial Revolution – Industry 4.0: Are German Manufacturing SMEs the First Victims of this Revolution?. *Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)*, 8(5), 1512-1532.
- Spath, D., Ganschar, O., Gerlach, S., Haemmerle, T. K., & Schlund, S. (2013). *Produktionsarbeit der Zukunft- Industrie 4.0*. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- Starbuck, W. H. (1992). Learning by Knowledge-Intensive Firms. *Journal of Management Studies*, 29:6, 713-740.
- Stearns, P. N. (2021). *The Industrial Revolution in World History*. 5th Edition, New York: Routledge.
- Stentoft, J., Adsbøll Wickstrøm, K., Philipsen, K., & Haug, A. (2021). Drivers and barriers for Industry 4.0 readiness and practice: empirical evidence from small and medium-sized manufacturers. *Production Planning & Control*, 32(10), 811-828.
- Stonedahl, F. and Wilensky, U. (2008). NetLogo Virus on a Network model. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/VirusonaNetwork>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.
- Taylor, F. W. (1911). *The principles of scientific management*. Harper and Brothers.
- T.C BİLİM SANAYİ VE TEKNOLOJİ BAKANLIĞI, (2018), Türkiye'nin Sanayi Devrimi Dijital Türkiye Yol Haritası.
- Tichy, N. M., Tushman, M. L., & Fombrun, C. (1979). Social Network Analysis for Organizations. *The Academy of Management Review*, Vol.4, No: 4, 507-519.
- Tulvic, E. (1993). What is Episodic Memory?. *Current Directions in Psychological Science*, Vol. 2, No. 3, 67-70.

- Tushman, M. L., and Romanelli, E. (1985). Organizational evolution: A metamorphosis model of convergence and reorientation. *Research in Organizational Behavior*, 7, 171–222.
- TÜBİTAK (2016). Yeni Sanayi Devrimi Akıllı Üretim Sistemleri Teknoloji Yol Haritası.
- Türkiye İstatistik Kurumu (2019). Küçük ve Orta Büyüklükteki Girişimler, <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=sanayi-114&dil=1>. (Görüntülenme: 10.01.2021)
- van de Ven, A. H., & Poole, M. S. (1995). Explaining Development and Change in Organizations. *The Academy of Management Review*, 20(3), 510–540.
- von Bertalanfy, L. (1951). Problems Of General System Theory. *Human Biology*, 23(4), 302–312.
- von Bertalanfy, L. (1972). The History and Status of General System Theory. *The Academy of Management Journal*, Vol. 15, No. 4, 407-426.
- Walsh, J. P., & Ungson, G. R. (1991). Organizational Memory. *The Academy of Management Review*, Vol. 16, No. 1, 57-71.
- Wang, L., and Wang, G. (2016). *Big Data in Cyber-Physical Systems, Digital Manufacturing in Industry 4.0*. International Journal of Engineering and Manufacturing (IJEM), Vol.6, No.4, 1-8.
- Watzlawick, P., Weakland, J. H., & Fisch, R. (1974). *Change: Principles of Problem Formation and Problem Solution*. New York: W.W. Norton.
- Weber, M. (1922). *Wirtschaft und Gesellschaft* [Economy and society]. Tübingen: Mohr.
- Weyer, S., Schmitt, M., Ohmer, M., and Gorecky, D. (2015). Towards Industry 4.0-Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. *IFAC-PapersOnLine*, 48-3, 579-584.
- Wilenius, M. (2014). Leadership in the sixth wave-excursions into the new paradigm of the Kondratieff cycle 2010-2050. *Eur J Futures Res* 2, 36, 1-11.
- Wilensky, U. (1999). NetLogo. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.

- Wilensky, U., and Rand, W. (2015). *An Introduction to Agent Based Modeling – Modeling Natural, Social, and Engineered Complex Systems with Netlogo*. Massachusetts: The MIT Press.
- WORLD BANK GROUP (2019). *Support for Small and Medium Enterprises – A Synthesis of Evaluative Findings*, Washington.
- Yu, F., & Schweisfurth, T. (2020). Industry 4.0 technology implementation in SMEs— A survey in the Danish-German border region. *International Journal of Innovation Studies*, 4(3), 76-84.
- Yates, J. (1990). For the Record: The Embodiment of Organizational Memory, 1850-1920. *Business and Economic History*, Second Series, Vol: 19, 172-182.

EK 1

Manuel Montaj Hattı E3.0 Bağlantılar Listesi

Manuel Montaj Hattı				
Bağlantılar			Koordinasyon Ağı	Çevreyle Etkileşim
Link1	Görev 1	Arabacı	Görev-Üye (GÜ)	Hareketli ajan
Link2	Görev 2	İstasyon 1		Görev-Çevre
Link3	Görev 3	İstasyon 1		Görev-Çevre
Link4	Görev 4	İstasyon 2		Görev-Çevre
Link5	Görev 5	İstasyon 2		Görev-Çevre
Link6	Görev 6	İstasyon 3		Görev-Çevre
Link7	Görev 7	İstasyon 3		Görev-Çevre
Link8	Görev 8	İstasyon 4		Görev-Çevre
Link9	Görev 2	Operatör 1	Görev-Üye (GÜ)	
Link10	Operatör 1	Operatör 2	Üye-Üye (ÜÜ)	
Link11	Görev 3	Operatör 2	Görev-Üye (GÜ)	
Link12	Operatör 2	Operatör 3	Üye-Üye (ÜÜ)	
Link13	Görev 4	Operatör 3	Görev-Üye (GÜ)	
Link14	Operatör 3	Operatör 4	Üye-Üye (ÜÜ)	
Link15	Görev 5	Operatör 4	Görev-Üye (GÜ)	
Link16	Operatör 4	Operatör 5	Üye-Üye (ÜÜ)	
Link17	Görev 6	Operatör 5	Görev-Üye (GÜ)	
Link18	Operatör 5	Operatör 6	Üye-Üye (ÜÜ)	
Link19	Görev 7	Operatör 6	Görev-Üye (GÜ)	
Link20	Operatör 6	Operatör 7	Üye-Üye (ÜÜ)	
Link21	Görev 8	Operatör 7	Görev-Üye (GÜ)	
Link22	Operatör 7	Flux makinesi	Üye-Araç (ÜA)	
Link23	Görev 9	İstasyon 5		Görev-Çevre
Link24	Flux makinesi	İstasyon 5		Araç-Çevre
Link25	Görev 9	Flux makinesi	Görev-Araç (GA)	
Link26	Flux Makinesi	Lehim Makinesi	Araç-Araç (AA)	
Link27	Görev 10	İstasyon 6		Görev-Çevre
Link28	Lehim makinesi	İstasyon 6		Araç-Çevre
Link29	Görev 10	Lehim makinesi	Görev-Araç (GA)	
Link30	Görev 11	Arabacı	Görev-Üye (GÜ)	Hareketli ajan
Link31	Görev 12	İstasyon 7		Görev-Çevre

Link32	Elektrik dayanıklılık ölçüm cihazı 1	İstasyon 7		Araç-Çevre
Link33	Elektrik dayanıklılık ölçüm cihazı 2	İstasyon 7		Araç-Çevre
Link34	Elektrik dayanıklılık ölçüm cihazı 3	İstasyon 7		Araç-Çevre
Link35	Elektrik dayanıklılık ölçüm cihazı 4	İstasyon 7		Araç-Çevre
Link36	Elektrik dayanıklılık ölçüm cihazı 5	İstasyon 7		Araç-Çevre
Link37	Görev 12	Elektrik dayanıklılık ölçüm cihazı 1	Görev-Araç (GA)	
Link38	Görev 12	Elektrik dayanıklılık ölçüm cihazı 2	Görev-Araç (GA)	
Link39	Görev 12	Elektrik dayanıklılık ölçüm cihazı 3	Görev-Araç (GA)	
Link40	Görev 12	Elektrik dayanıklılık ölçüm cihazı 4	Görev-Araç (GA)	
Link41	Görev 12	Elektrik dayanıklılık ölçüm cihazı 5	Görev-Araç (GA)	
Link42	Elektrik dayanıklılık ölçüm cihazı 1	Kontrol operatörü 1	Araç-Üye (AÜ)	
Link43	Elektrik dayanıklılık ölçüm cihazı 2	Kontrol operatörü 2	Araç-Üye (AÜ)	
Link44	Elektrik dayanıklılık ölçüm cihazı 3	Kontrol operatörü 3	Araç-Üye (AÜ)	
Link45	Elektrik dayanıklılık ölçüm cihazı 4	Kontrol operatörü 4	Araç-Üye (AÜ)	
Link46	Elektrik dayanıklılık ölçüm cihazı 5	Kontrol operatörü 5	Araç-Üye (AÜ)	
Link47	Görev 13	İstasyon 8		Görev-Çevre
Link48	Elektrik kontrol kablosu 1	İstasyon 8		Araç-Çevre
Link49	Elektrik kontrol kablosu 2	İstasyon 8		Araç-Çevre
Link50	Elektrik kontrol kablosu 3	İstasyon 8		Araç-Çevre
Link51	Elektrik kontrol kablosu 4	İstasyon 8		Araç-Çevre
Link52	Elektrik kontrol kablosu 5	İstasyon 8		Araç-Çevre
Link53	Elektrik kontrol kablosu 6	İstasyon 8		Araç-Çevre
Link54	Elektrik kontrol kablosu 7	İstasyon 8		Araç-Çevre
Link55	Elektrik kontrol kablosu 8	İstasyon 8		Araç-Çevre
Link56	Görev 13	Elektrik kontrol kablosu 1	Görev-Araç (GA)	
Link57	Görev 13	Elektrik kontrol kablosu 2	Görev-Araç (GA)	
Link58	Görev 13	Elektrik kontrol kablosu 3	Görev-Araç (GA)	
Link59	Görev 13	Elektrik kontrol kablosu 4	Görev-Araç (GA)	
Link60	Görev 13	Elektrik kontrol kablosu 5	Görev-Araç (GA)	
Link61	Görev 13	Elektrik kontrol kablosu 6	Görev-Araç (GA)	

Link62	Görev 13	Elektrik kontrol kablosu 7	Görev-Araç (GA)	
Link63	Görev 13	Elektrik kontrol kablosu 8	Görev-Araç (GA)	
Link64	Elektrik kontrol kablosu 1	Kontrol operatörü 6	Araç-Üye (AÜ)	
Link65	Elektrik kontrol kablosu 2	Kontrol operatörü 7	Araç-Üye (AÜ)	
Link66	Elektrik kontrol kablosu 3	Kontrol operatörü 8	Araç-Üye (AÜ)	
Link67	Elektrik kontrol kablosu 4	Kontrol operatörü 9	Araç-Üye (AÜ)	
Link68	Elektrik kontrol kablosu 5	Kontrol operatörü 10	Araç-Üye (AÜ)	
Link69	Elektrik kontrol kablosu 6	Kontrol operatörü 11	Araç-Üye (AÜ)	
Link70	Elektrik kontrol kablosu 7	Kontrol operatörü 12	Araç-Üye (AÜ)	
Link71	Elektrik kontrol kablosu 8	Kontrol operatörü 13	Araç-Üye (AÜ)	
Link72	Görev 14	İstasyon 9		Görev-Çevre
Link73	Bilgisayar yazılımlı kontrol makinesi 1	İstasyon 9		Araç-Çevre
Link74	Bilgisayar yazılımlı kontrol makinesi 2	İstasyon 9		Araç-Çevre
Link75	Görev 14	Bilgisayar yazılımlı kontrol makinesi 1	Görev-Araç (GA)	
Link76	Görev 14	Bilgisayar yazılımlı kontrol makinesi 2	Görev-Araç (GA)	
Link77	Bilgisayar yazılımlı kontrol makinesi 1	Kontrol operatörü 14	Araç-Üye (AÜ)	
Link78	Bilgisayar yazılımlı kontrol makinesi 2	Kontrol operatörü 15	Araç-Üye (AÜ)	
Link79	Görev 15	Bölüm Şefi	Görev-Üye (GÜ)	Hareketli ajan
Link80	Görev 15	Görev 1	Görev-Görev (GG)	
Link81	Görev 15	Görev 2	Görev-Görev (GG)	
Link82	Görev 15	Görev 3	Görev-Görev (GG)	
Link83	Görev 15	Görev 4	Görev-Görev (GG)	
Link84	Görev 15	Görev 5	Görev-Görev (GG)	
Link85	Görev 15	Görev 6	Görev-Görev (GG)	
Link86	Görev 15	Görev 7	Görev-Görev (GG)	
Link87	Görev 15	Görev 8	Görev-Görev (GG)	
Link88	Görev 15	Görev 9	Görev-Görev (GG)	
Link89	Görev 15	Görev 10	Görev-Görev (GG)	
Link90	Görev 15	Görev 11	Görev-Görev (GG)	
Link91	Görev 15	Görev 12	Görev-Görev (GG)	
Link92	Görev 15	Görev 13	Görev-Görev (GG)	
Link93	Görev 15	Görev 14	Görev-Görev (GG)	
Link94	Görev 16	Başmühendis	Görev-Üye (GÜ)	Hareketli ajan
Link95	Başmühendis	Operatör 1	Üye-Üye (ÜÜ)	Hareketli ajan

Link96	Başmühendis	Operatör 2	Üye-Üye (ÜÜ)	Hareketli ajan
Link97	Başmühendis	Operatör 3	Üye-Üye (ÜÜ)	Hareketli ajan
Link98	Başmühendis	Operatör 4	Üye-Üye (ÜÜ)	Hareketli ajan
Link99	Başmühendis	Operatör 5	Üye-Üye (ÜÜ)	Hareketli ajan
Link100	Başmühendis	Operatör 6	Üye-Üye (ÜÜ)	Hareketli ajan
Link101	Başmühendis	Operatör 7	Üye-Üye (ÜÜ)	Hareketli ajan
Link102	Başmühendis	Kontrol operatörü 1	Üye-Üye (ÜÜ)	Hareketli ajan
Link103	Başmühendis	Kontrol operatörü 2	Üye-Üye (ÜÜ)	Hareketli ajan
Link104	Başmühendis	Kontrol operatörü 3	Üye-Üye (ÜÜ)	Hareketli ajan
Link105	Başmühendis	Kontrol operatörü 4	Üye-Üye (ÜÜ)	Hareketli ajan
Link106	Başmühendis	Kontrol operatörü 5	Üye-Üye (ÜÜ)	Hareketli ajan
Link107	Başmühendis	Kontrol operatörü 6	Üye-Üye (ÜÜ)	Hareketli ajan
Link108	Başmühendis	Kontrol operatörü 7	Üye-Üye (ÜÜ)	Hareketli ajan
Link109	Başmühendis	Kontrol operatörü 8	Üye-Üye (ÜÜ)	Hareketli ajan
Link110	Başmühendis	Kontrol operatörü 9	Üye-Üye (ÜÜ)	Hareketli ajan
Link111	Başmühendis	Kontrol operatörü 10	Üye-Üye (ÜÜ)	Hareketli ajan
Link112	Başmühendis	Kontrol operatörü 11	Üye-Üye (ÜÜ)	Hareketli ajan
Link113	Başmühendis	Kontrol operatörü 12	Üye-Üye (ÜÜ)	Hareketli ajan
Link114	Başmühendis	Kontrol operatörü 13	Üye-Üye (ÜÜ)	Hareketli ajan
Link115	Başmühendis	Kontrol operatörü 14	Üye-Üye (ÜÜ)	Hareketli ajan
Link116	Başmühendis	Kontrol operatörü 15	Üye-Üye (ÜÜ)	Hareketli ajan
Link117	Başmühendis	Bölüm Şefi	Üye-Üye (ÜÜ)	Hareketli ajan
Link118	Görev 17	Başmühendis	Görev-Üye (GÜ)	Hareketli ajan
Link119	Başmühendis	Bölüm Şefi	Üye-Üye (ÜÜ)	Hareketli ajan

EK 2

Otomatik Dizgi Hattı E3.0 Bağlantılar Listesi

Otomatik Dizgi Hattı				
Bağlantılar			Koordinasyon Ağı	Çevreyle Etkileşim
Link1	Görev 1	İstasyon 1		Görev-Çevre
Link2	Görev 1	Operatör 1	Görev-Üye (GÜ)	
Link 3	Görev 1	Bölüm Şefi 1	Görev-Üye (GÜ)	
Link4	Görev 1	Bölüm Şefi 2	Görev-Üye (GÜ)	
Link5	Görev 2	İstasyon 2		Görev-Çevre
Link6	Lehim makinesi	İstasyon 2		Araç-Çevre
Link7	Görev 2	Lehim makinesi	Görev-Araç (GA)	
Link8	Sensör 1	Lehim Makinesi	Araç-Araç (AA)	
Link9	Görev 3	İstasyon 3		Görev-Çevre
Link10	Dizgi makinesi 1	İstasyon 3		Araç-Çevre
Link11	Dizgi makinesi 2	İstasyon 3		Araç-Çevre
Link12	Görev 3	Bölüm Şefi 1	Görev-Üye (GÜ)	
Link13	Görev 3	Bölüm Şefi 2	Görev-Üye (GÜ)	
Link14	Bölüm Şefi 1	Makara 1	Üye-Araç (ÜA)	
Link15	Makara 1	Dizgi makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link16	Bölüm Şefi 1	Makara 2	Üye-Araç (ÜA)	
Link17	Makara 2	Dizgi makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link18	Bölüm Şefi 1	Makara 3	Üye-Araç (ÜA)	
Link19	Makara 3	Dizgi makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link20	Bölüm Şefi 1	Makara 4	Üye-Araç (ÜA)	
Link21	Makara 4	Dizgi makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link22	Bölüm Şefi 1	Makara 5	Üye-Araç (ÜA)	
Link23	Makara 5	Dizgi makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link24	Bölüm Şefi 1	Makara 6	Üye-Araç (ÜA)	
Link25	Makara 6	Dizgi makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link26	Bölüm Şefi 1	Makara 7	Üye-Araç (ÜA)	
Link27	Makara 7	Dizgi makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link28	Bölüm Şefi 1	Makara 8	Üye-Araç (ÜA)	
Link29	Makara 8	Dizgi makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link30	Bölüm Şefi 1	Makara 9	Üye-Araç (ÜA)	
Link31	Makara 9	Dizgi makinesi 2	Araç-Araç (AA)	

Link32	Bölüm Şefi 1	Makara 10	Üye-Araç (ÜA)	
Link33	Makara 10	Dizgi makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link34	Bölüm Şefi 1	Makara 11	Üye-Araç (ÜA)	
Link36	Makara 11	Dizgi makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link36	Bölüm Şefi 1	Makara 12	Üye-Araç (ÜA)	
Link37	Makara 12	Dizgi makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link38	Bölüm Şefi 1	Makara 13	Üye-Araç (ÜA)	
Link39	Makara 13	Dizgi makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link40	Bölüm Şefi 1	Makara 14	Üye-Araç (ÜA)	
Link41	Makara 14	Dizgi makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link42	Bölüm Şefi 1	Makara 15	Üye-Araç (ÜA)	
Link43	Makara 15	Dizgi makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link44	Bölüm Şefi 1	Makara 16	Üye-Araç (ÜA)	
Link45	Makara 16	Dizgi makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link46	Bölüm Şefi 2	Makara 1	Üye-Araç (ÜA)	
Link47	Makara 1	Dizgi makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link48	Bölüm Şefi 2	Makara 2	Üye-Araç (ÜA)	
Link49	Makara 2	Dizgi makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link50	Bölüm Şefi 2	Makara 3	Üye-Araç (ÜA)	
Link51	Makara 3	Dizgi makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link52	Bölüm Şefi 2	Makara 3	Üye-Araç (ÜA)	
Link53	Makara 3	Dizgi makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link54	Bölüm Şefi 2	Makara 4	Üye-Araç (ÜA)	
Link55	Makara 4	Dizgi makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link56	Bölüm Şefi 2	Makara 5	Üye-Araç (ÜA)	
Link57	Makara 5	Dizgi makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link58	Bölüm Şefi 2	Makara 6	Üye-Araç (ÜA)	
Link59	Makara 6	Dizgi makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link60	Bölüm Şefi 2	Makara 7	Üye-Araç (ÜA)	
Link61	Makara 7	Dizgi makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link62	Bölüm Şefi 2	Makara 8	Üye-Araç (ÜA)	
Link63	Makara 8	Dizgi makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link64	Bölüm Şefi 2	Makara 9	Üye-Araç (ÜA)	
Link65	Makara 9	Dizgi makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link66	Bölüm Şefi 2	Makara 10	Üye-Araç (ÜA)	
Link67	Makara 10	Dizgi makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link68	Bölüm Şefi 2	Makara 11	Üye-Araç (ÜA)	

Link69	Makara 11	Dizgi makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link70	Bölüm Şefi 2	Makara 12	Üye-Araç (ÜA)	
Link71	Makara 12	Dizgi makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link72	Bölüm Şefi 2	Makara 13	Üye-Araç (ÜA)	
Link73	Makara 13	Dizgi makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link74	Bölüm Şefi 2	Makara 14	Üye-Araç (ÜA)	
Link75	Makara 14	Dizgi makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link76	Bölüm Şefi 2	Makara 15	Üye-Araç (ÜA)	
Link77	Makara 15	Dizgi makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link78	Bölüm Şefi 2	Makara 16	Üye-Araç (ÜA)	
Link79	Makara 16	Dizgi makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link80	Görev 4	İstasyon 3		Görev-Çevre
Link81	Bulut	Görev 4	Araç-Görev (AA)	
Link82	Görev 4	Bölüm Şefi 1	Görev-Üye (GÜ)	
Link83	Bölüm Şefi 1	Bilgisayar 1	Üye-Araç (ÜA)	
Link84	Bilgisayar 1	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link85	Bölüm Şefi 1	Bilgisayar 2	Üye-Araç (ÜA)	
Link86	Bilgisayar 2	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link87	Görev 4	Bölüm Şefi 2	Görev-Üye (GÜ)	
Link88	Bölüm Şefi 2	Bilgisayar 1	Üye-Araç (ÜA)	
Link89	Bilgisayar 1	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link90	Bölüm Şefi 2	Bilgisayar 2	Üye-Araç (ÜA)	
Link91	Bilgisayar 2	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link92	Görev 5	İstasyon 3		Görev-Çevre
Link93	Görev 5	Dizgi makinesi 1	Görev-Araç (GA)	
Link94	Görev 5	Dizgi makinesi 2	Görev-Araç (GA)	
Link95	Görev 6	Bölüm Şefi 1	Görev-Üye (GÜ)	
Link96	Görev 6	Bölüm Şefi 2	Görev-Üye (GÜ)	
Link97	Bölüm Şefi 1	Makara 1	Üye-Araç (ÜA)	
Link98	Makara 1	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link99	Bölüm Şefi 1	Makara 2	Üye-Araç (ÜA)	
Link100	Makara 2	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link101	Bölüm Şefi 1	Makara 3	Üye-Araç (ÜA)	
Link102	Makara 3	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link103	Bölüm Şefi 1	Makara 4	Üye-Araç (ÜA)	
Link104	Makara 4	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link105	Bölüm Şefi 1	Makara 5	Üye-Araç (ÜA)	

Link106	Makara 5	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link107	Bölüm Şefi 1	Makara 6	Üye-Araç (ÜA)	
Link108	Makara 6	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link109	Bölüm Şefi 1	Makara 7	Üye-Araç (ÜA)	
Link110	Makara 7	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link111	Bölüm Şefi 1	Makara 8	Üye-Araç (ÜA)	
Link112	Makara 8	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link113	Bölüm Şefi 1	Makara 9	Üye-Araç (ÜA)	
Link114	Makara 9	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link115	Bölüm Şefi 1	Makara 10	Üye-Araç (ÜA)	
Link116	Makara 10	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link117	Bölüm Şefi 1	Makara 11	Üye-Araç (ÜA)	
Link118	Makara 11	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link119	Bölüm Şefi 1	Makara 12	Üye-Araç (ÜA)	
Link120	Makara 12	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link121	Bölüm Şefi 1	Makara 13	Üye-Araç (ÜA)	
Link121	Makara 13	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link122	Bölüm Şefi 1	Makara 14	Üye-Araç (ÜA)	
Link123	Makara 14	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link124	Bölüm Şefi 1	Makara 15	Üye-Araç (ÜA)	
Link125	Makara 15	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link126	Bölüm Şefi 1	Makara 16	Üye-Araç (ÜA)	
Link127	Makara 16	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link128	Bölüm Şefi 2	Makara 1	Üye-Araç (ÜA)	
Link129	Makara 1	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link130	Bölüm Şefi 2	Makara 2	Üye-Araç (ÜA)	
Link131	Makara 2	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link132	Bölüm Şefi 2	Makara 3	Üye-Araç (ÜA)	
Link133	Makara 3	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link134	Bölüm Şefi 2	Makara 4	Üye-Araç (ÜA)	
Link135	Makara 4	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link136	Bölüm Şefi 2	Makara 5	Üye-Araç (ÜA)	
Link137	Makara 5	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link138	Bölüm Şefi 2	Makara 6	Üye-Araç (ÜA)	
Link139	Makara 6	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link140	Bölüm Şefi 2	Makara 7	Üye-Araç (ÜA)	
Link141	Makara 7	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	

Link142	Bölüm Şefi 2	Makara 8	Üye-Araç (ÜA)	
Link143	Makara 8	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link144	Bölüm Şefi 2	Makara 9	Üye-Araç (ÜA)	
Link145	Makara 9	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link146	Bölüm Şefi 2	Makara 10	Üye-Araç (ÜA)	
Link147	Makara 10	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link148	Bölüm Şefi 2	Makara 11	Üye-Araç (ÜA)	
Link149	Makara 11	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link150	Bölüm Şefi 2	Makara 12	Üye-Araç (ÜA)	
Link151	Makara 12	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link152	Bölüm Şefi 2	Makara 13	Üye-Araç (ÜA)	
Link153	Makara 13	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link154	Bölüm Şefi 2	Makara 14	Üye-Araç (ÜA)	
Link155	Makara 14	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link156	Bölüm Şefi 2	Makara 15	Üye-Araç (ÜA)	
Link157	Makara 15	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link158	Bölüm Şefi 2	Makara 16	Üye-Araç (ÜA)	
Link159	Makara 16	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link160	Görev 7	İstasyon 4		Görev-Çevre
Link161	Montaj makinesi	İstasyon 4		Görev-Çevre
Link162	Görev 7	Montaj makinesi	Görev-Araç (GA)	
Link163	Görev 8	İstasyon 5		Görev-Çevre
Link164	Fırın 1	İstasyon 5		Araç-Çevre
Link165	Fırın 2	İstasyon 5		Araç-Çevre
Link166	Fırın 3	İstasyon 5		Araç-Çevre
Link167	Fırın 4	İstasyon 5		Araç-Çevre
Link168	Görev 8	Fırın operatörü	Görev-Üye (GÜ)	
Link169	Fırın operatörü	Fırın 1	Üye-Araç (ÜA)	
Link170	Fırın operatörü	Fırın 2	Üye-Araç (ÜA)	
Link171	Fırın operatörü	Fırın 3	Üye-Araç (ÜA)	
Link172	Fırın operatörü	Fırın 4	Üye-Araç (ÜA)	
Link 173	Görev 9	İstasyon 5		Görev-Çevre
Link174	Görev 9	Fırın 1	Görev-Araç	
Link175	Görev 9	Fırın 2	Görev-Araç	
Link176	Görev 9	Fırın 3	Görev-Araç	
Link177	Görev 9	Fırın 4	Görev-Araç	
Link178	Görev 10	İstasyon 6		Görev-Çevre

Link179	SAKİ makinesi 1	İstasyon 6		Araç-Çevre
Link180	SAKİ makinesi 2	İstasyon 6		Araç-Çevre
Link181	SAKİ makinesi 3	İstasyon 6		Araç-Çevre
Link182	SAKİ makinesi 4	İstasyon 6		Araç-Çevre
Link183	Bilgisayar 3	İstasyon 6		Araç-Çevre
Link184	Bilgisayar 4	İstasyon 6		Araç-Çevre
Link185	Bilgisayar 5	İstasyon 6		Araç-Çevre
Link186	Bilgisayar 6	İstasyon 6		Araç-Çevre
Link187	Görev 10	SAKİ makinesi 1	Görev-Araç (GA)	
Link188	SAKİ makinesi 1	Bilgisayar 3	Araç-Araç (AA)	
Link189	Görev 10	SAKİ makinesi 2	Görev-Araç (GA)	
Link190	SAKİ makinesi 2	Bilgisayar 4	Araç-Araç (AA)	
Link191	Görev 10	SAKİ makinesi 3	Görev-Araç (GA)	
Link192	SAKİ makinesi 3	Bilgisayar 5	Araç-Araç (AA)	
Link193	Görev 10	SAKİ makinesi 4	Görev-Araç (GA)	
Link194	SAKİ makinesi 4	Bilgisayar 6	Araç-Araç (AA)	
Link195	Görev 11	İstasyon 6		Görev-Çevre
Link196	Görev 11	SAKİ operatörü 1	Görev-Üye (GÜ)	
Link197	Görev 11	Bilgisayar 3	Görev-Araç (GA)	
Link198	Bilgisayar 3	SAKİ operatörü 1	Araç-Üye (AÜ)	
Link199	Görev 11	SAKİ operatörü 2	Görev-Üye (GÜ)	
Link200	Görev 11	Bilgisayar 4	Görev-Araç (GA)	
Link201	Bilgisayar 4	SAKİ operatörü 2	Araç-Üye (AÜ)	
Link202	Görev 11	SAKİ operatörü 3	Görev-Üye (GÜ)	
Link203	Görev 11	Bilgisayar 5	Görev-Araç (GA)	
Link204	Bilgisayar 5	SAKİ operatörü 3	Araç-Üye (AÜ)	
Link205	Görev 11	SAKİ operatörü 4	Görev-Üye(GÜ)	
Link206	Görev 11	Bilgisayar 6	Görev-Araç (GA)	
Link207	Bilgisayar 6	SAKİ operatörü 3	Araç-Üye (AÜ)	
Link208	Görev 12	SAKİ operatörü 1	Görev-Üye (GÜ)	
Link209	Görev 12	SAKİ operatörü 2	Görev-Üye (GÜ)	
Link210	Görev 12	SAKİ operatörü 3	Görev-Üye (GÜ)	
Link211	Görev 12	SAKİ operatörü 4	Görev-Üye (GÜ)	
Link212	Görev 13	Bölüm Şefi 1	Görev-Üye (GÜ)	
Link213	Görev 13	Bölüm Şefi 2	Görev-Üye (GÜ)	
Link213	Görev 13	Görev 1	Görev-Görev (GG)	
Link214	Görev 13	Görev 2	Görev-Görev (GG)	

Link214	Görev 13	Görev 3	Görev-Görev (GG)	
Link215	Görev 13	Görev 4	Görev-Görev (GG)	
Link216	Görev 13	Görev 5	Görev-Görev (GG)	
Link217	Görev 13	Görev 6	Görev-Görev (GG)	
Link218	Görev 13	Görev 7	Görev-Görev (GG)	
Link219	Görev 13	Görev 8	Görev-Görev (GG)	
Link220	Görev 13	Görev 9	Görev-Görev (GG)	
Link221	Görev 13	Görev 10	Görev-Görev (GG)	
Link222	Görev 13	Görev 11	Görev-Görev (GG)	
Link223	Görev 13	Görev 12	Görev-Görev (GG)	
Link224	Görev 14	Başmühendis	Görev-Üye (GÜ)	
Link225	Görev 14	Görev 13	Görev-Görev (GG)	
Link226	Görev 15	Başmühendis	Görev-Üye (GÜ)	
Link227	Başmühendis	Bölüm Şefi 1	Üye-Üye (ÜÜ)	
Link228	Başmühendis	Bölüm Şefi 2	Üye-Üye (ÜÜ)	

EK 3

Manuel Montaj Hattı Endüstri 4.0 Bağlantılar Listesi

Manuel Montaj Hattı				
Bağlantılar			Koordinasyon Ağı	Çevreyle Etkileşim
Link1	Görev 0	Bölüm Şefi	Görev-Üye (GÜ)	
Link2	Bölüm Şefi	Bulut	Üye-Araç (ÜA)	
Link 3	Görev 1	Arabacı	Görev-Üye (GÜ)	Hareketli ajan
Link4	Görev 2	İstasyon 1		Görev-Çevre
Link5	Görev 3	İstasyon 1		Görev-Çevre
Link6	Görev 4	İstasyon 2		Görev-Çevre
Link7	Görev 5	İstasyon 2		Görev-Çevre
Link8	Görev 6	İstasyon 3		Görev-Çevre
Link9	Görev 7	İstasyon 3		Görev-Çevre
Link10	Görev 8	İstasyon 4		Görev-Çevre
Link11	Görev 2	Bulut	Görev-Araç (GA)	
Link12	Bulut	Tablet Ekran 1	Araç-Araç (AA)	
Link13	Bulut	Tablet Ekran 2	Araç-Araç (AA)	
Link14	Bulut	Tablet Ekran 3	Araç-Araç (AA)	
Link15	Bulut	Tablet Ekran 4	Araç-Araç (AA)	
Link16	Bulut	Tablet Ekran 5	Araç-Araç (AA)	
Link17	Bulut	Tablet Ekran 6	Araç-Araç (AA)	
Link18	Bulut	Tablet Ekran 7	Araç-Araç (AA)	
Link19	Bulut	Tablet Ekran 8	Araç-Araç (AA)	
Link20	Görev 3	Tablet Ekran 1	Görev-Araç (GA)	
Link21	Görev 3	Operatör 1	Görev-Üye (GÜ)	
Link22	Tablet Ekran 1	Operatör 1	Araç-Üye (AÜ)	
Link23	Operatör 1	Operatör 2	Üye-Üye (ÜÜ)	
Link24	Görev 4	Tablet Ekran 2	Görev-Araç (GA)	
Link25	Görev 4	Operatör 2	Görev-Üye (GÜ)	
Link26	Tablet Ekran 2	Operatör 2	Araç-Üye (AÜ)	
Link27	Operatör 2	Operatör 3	Üye-Üye (ÜÜ)	
Link28	Görev 5	Tablet Ekran 3	Görev-Araç (GA)	
Link29	Görev 5	Operatör 3	Görev-Üye (GÜ)	
Link30	Tablet Ekran 3	Operatör 3	Araç-Üye (AÜ)	
Link31	Operatör 3	Operatör 4	Üye-Üye (ÜÜ)	
Link32	Görev 6	Tablet Ekran 4	Görev-Araç (GA)	

Link33	Görev 6	Operatör 4	Görev-Üye (GÜ)	
Link34	Tablet Ekran 4	Operatör 4	Araç-Üye (AÜ)	
Link35	Operatör 4	Operatör 5	Üye-Üye (ÜÜ)	
Link36	Görev 7	Tablet Ekran 5	Görev-Araç (GA)	
Link37	Görev 7	Operatör 5	Görev-Üye (GÜ)	
Link38	Tablet Ekran 5	Operatör 5	Araç-Üye (AÜ)	
Link39	Operatör 5	Operatör 6	Üye-Üye (ÜÜ)	
Link40	Görev 8	Tablet Ekran 6	Görev-Araç (GA)	
Link41	Görev 8	Operatör 6	Görev-Üye (GÜ)	
Link42	Tablet Ekran 6	Operatör 6	Araç-Üye (AÜ)	
Link43	Operatör 6	Operatör 7	Üye-Üye (ÜÜ)	
Link44	Görev 9	Tablet Ekran 7	Görev-Araç (GA)	
Link45	Görev 9	Operatör 7	Görev-Üye (GÜ)	
Link46	Tablet Ekran 7	Operatör 7	Araç-Üye (AÜ)	
Link47	Operatör 7	Flux makinesi	Üye-Araç (ÜÜ)	
Link48	Görev 10	İstasyon 5		Görev-Çevre
Link49	Flux makinesi	İstasyon 5		Araç-Çevre
Link50	Görev 10	Flux makinesi	Görev-Araç (GA)	
Link51	Flux Makinesi	Lehim Makinesi	Araç-Araç (AA)	
Link52	Görev 11	İstasyon 6		Görev-Çevre
Link53	Lehim makinesi	İstasyon 6		Araç-Çevre
Link54	Görev 11	Lehim makinesi	Görev-Araç (GA)	
Link55	Görev 12	Arabacı	Görev-Üye (GÜ)	Hareketli ajan
Link56	Görev 13	İstasyon 7		Görev-Çevre
Link57	Elektrik dayanıklılık ölçüm cihazı 1	İstasyon 7		Araç-Çevre
Link58	Elektrik dayanıklılık ölçüm cihazı 2	İstasyon 7		Araç-Çevre
Link59	Elektrik dayanıklılık ölçüm cihazı 3	İstasyon 7		Araç-Çevre
Link60	Elektrik dayanıklılık ölçüm cihazı 4	İstasyon 7		Araç-Çevre
Link61	Elektrik dayanıklılık ölçüm cihazı 5	İstasyon 7		Araç-Çevre
Link62	Görev 13	Elektrik dayanıklılık ölçüm cihazı 1	Görev-Araç (GA)	
Link63	Görev 13	Elektrik dayanıklılık ölçüm cihazı 2	Görev-Araç (GA)	
Link64	Görev 13	Elektrik dayanıklılık ölçüm cihazı 3	Görev-Araç (GA)	
Link65	Görev 13	Elektrik dayanıklılık ölçüm cihazı 4	Görev-Araç (GA)	

Link66	Görev 13	Elektrik dayanıklılık ölçüm cihazı 5	Görev-Araç (GA)	
Link67	Elektrik dayanıklılık ölçüm cihazı 1	Kontrol operatörü 1	Araç-Üye (AÜ)	
Link68	Elektrik dayanıklılık ölçüm cihazı 2	Kontrol operatörü 2	Araç-Üye (AÜ)	
Link69	Elektrik dayanıklılık ölçüm cihazı 3	Kontrol operatörü 3	Araç-Üye (AÜ)	
Link70	Elektrik dayanıklılık ölçüm cihazı 4	Kontrol operatörü 4	Araç-Üye (AÜ)	
Link71	Elektrik dayanıklılık ölçüm cihazı 5	Kontrol operatörü 5	Araç-Üye (AÜ)	
Link72	Görev 14	İstasyon 8		Görev-Çevre
Link73	Elektrik kontrol kablosu 1	İstasyon 8		Araç-Çevre
Link74	Elektrik kontrol kablosu 2	İstasyon 8		Araç-Çevre
Link75	Elektrik kontrol kablosu 3	İstasyon 8		Araç-Çevre
Link76	Elektrik kontrol kablosu 4	İstasyon 8		Araç-Çevre
Link77	Elektrik kontrol kablosu 5	İstasyon 8		Araç-Çevre
Link78	Elektrik kontrol kablosu 6	İstasyon 8		Araç-Çevre
Link79	Elektrik kontrol kablosu 7	İstasyon 8		Araç-Çevre
Link80	Elektrik kontrol kablosu 8	İstasyon 8		Araç-Çevre
Link81	Görev 14	Elektrik kontrol kablosu 1	Görev-Araç (GA)	
Link82	Görev 14	Elektrik kontrol kablosu 2	Görev-Araç (GA)	
Link83	Görev 14	Elektrik kontrol kablosu 3	Görev-Araç (GA)	
Link84	Görev 14	Elektrik kontrol kablosu 4	Görev-Araç (GA)	
Link85	Görev 14	Elektrik kontrol kablosu 5	Görev-Araç (GA)	
Link86	Görev 14	Elektrik kontrol kablosu 6	Görev-Araç (GA)	
Link87	Görev 14	Elektrik kontrol kablosu 7	Görev-Araç (GA)	
Link88	Görev 14	Elektrik kontrol kablosu 8	Görev-Araç (GA)	
Link89	Elektrik kontrol kablosu 1	Kontrol operatörü 6	Araç-Üye (AÜ)	
Link90	Elektrik kontrol kablosu 2	Kontrol operatörü 7	Araç-Üye (AÜ)	
Link91	Elektrik kontrol kablosu 3	Kontrol operatörü 8	Araç-Üye (AÜ)	
Link92	Elektrik kontrol kablosu 4	Kontrol operatörü 9	Araç-Üye (AÜ)	
Link93	Elektrik kontrol kablosu 5	Kontrol operatörü 10	Araç-Üye (AÜ)	
Link94	Elektrik kontrol kablosu 6	Kontrol operatörü 11	Araç-Üye (AÜ)	
Link95	Elektrik kontrol kablosu 7	Kontrol operatörü 12	Araç-Üye (AÜ)	
Link96	Elektrik kontrol kablosu 8	Kontrol operatörü 13	Araç-Üye (AÜ)	
Link97	Görev 15	İstasyon 9		Görev-Çevre

Link98	Bilgisayar yazılımlı kontrol makinesi 1	İstasyon 9		Araç-Çevre
Link99	Bilgisayar yazılımlı kontrol makinesi 2	İstasyon 9		Araç-Çevre
Link100	Görev 15	Bilgisayar yazılımlı kontrol makinesi 1	Görev-Araç (GA)	
Link101	Görev 15	Bilgisayar yazılımlı kontrol makinesi 2	Görev-Araç (GA)	
Link102	Bilgisayar yazılımlı kontrol makinesi 1	Kontrol operatörü 14	Araç-Üye (AÜ)	
Link103	Bilgisayar yazılımlı kontrol makinesi 2	Kontrol operatörü 15	Araç-Üye (AÜ)	
Link104	Görev 16	Bölüm Şefi	Görev-Üye (GÜ)	Hareketli ajan
Link105	Görev 16	Görev 0	Görev-Görev (GG)	
Link106	Görev 16	Görev 1	Görev-Görev (GG)	
Link107	Görev 16	Görev 2	Görev-Görev (GG)	
Link108	Görev 16	Görev 3	Görev-Görev (GG)	
Link109	Görev 16	Görev 4	Görev-Görev (GG)	
Link110	Görev 16	Görev 5	Görev-Görev (GG)	
Link111	Görev 16	Görev 6	Görev-Görev (GG)	
Link112	Görev 16	Görev 7	Görev-Görev (GG)	
Link113	Görev 16	Görev 8	Görev-Görev (GG)	
Link114	Görev 16	Görev 9	Görev-Görev (GG)	
Link115	Görev 16	Görev 10	Görev-Görev (GG)	
Link116	Görev 16	Görev 11	Görev-Görev (GG)	
Link117	Görev 16	Görev 12	Görev-Görev (GG)	
Link118	Görev 16	Görev 13	Görev-Görev (GG)	
Link119	Görev 16	Görev 14	Görev-Görev (GG)	
Link120	Görev 16	Görev 15	Görev-Görev (GG)	
Link121	Görev 17	Başmühendis	Görev-Üye (GÜ)	Hareketli ajan
Link122	Başmühendis	Bulut	Görev-Araç (GA)	Hareketli ajan
Link123	Görev 18	Bulut	Görev-Araç (GA)	
Link124	Görev 18	Tablet 1	Görev-Araç (GA)	
Link125	Görev 18	Operatör 1	Görev-Üye (GÜ)	
Link126	Bulut	Tablet 1	Araç-Araç (AA)	
Link127	Tablet 1	Operatör 1	Araç-Üye (AÜ)	
Link128	Görev 18	Tablet 2	Görev-Araç (GA)	
Link129	Görev 18	Operatör 2	Görev-Üye (GÜ)	
Link130	Bulut	Tablet 2	Araç-Araç (AA)	
Link131	Tablet 2	Operatör 2	Araç-Üye (AÜ)	
Link132	Görev 18	Tablet 3	Görev-Araç (GA)	

Link133	Görev 18	Operatör 3	Görev-Üye (GÜ)	
Link134	Bulut	Tablet 3	Araç-Araç (AA)	
Link135	Tablet 3	Operatör 3	Araç-Üye (AÜ)	
Link136	Görev 18	Tablet 4	Görev-Araç (GA)	
Link134	Görev 18	Operatör 4	Görev-Üye (GÜ)	
Link135	Bulut	Tablet 4	Araç-Araç (AA)	
Link136	Tablet 4	Operatör 4	Araç-Üye (AÜ)	
Link137	Görev 18	Tablet 5	Görev-Araç (GA)	
Link138	Görev 18	Operatör 5	Görev-Üye (GÜ)	
Link139	Bulut	Tablet 5	Araç-Araç (AA)	
Link140	Tablet 5	Operatör 5	Araç-Üye (AÜ)	
Link141	Görev 18	Tablet 6	Görev-Araç (GA)	
Link142	Görev 18	Operatör 6	Görev-Üye (GÜ)	
Link143	Bulut	Tablet 6	Araç-Araç (AA)	
Link144	Tablet 6	Operatör 6	Araç-Üye (AÜ)	
Link145	Görev 18	Tablet 7	Görev-Araç (GA)	
Link146	Görev 18	Operatör 7	Görev-Üye (GÜ)	
Link147	Bulut	Tablet 7	Araç-Araç (AA)	
Link148	Tablet 7	Operatör 7	Araç-Üye (AÜ)	
Link149	Görev 18	Tablet 8	Görev-Araç (GA)	
Link150	Görev 18	Kontrol operatörü 1	Üye-Üye (ÜÜ)	
Link151	Bulut	Tablet 8	Araç-Araç (AA)	
Link152	Tablet 8	Kontrol operatörü 1	Araç-Üye (AÜ)	
Link153	Görev 18	Tablet 9	Görev-Araç (GA)	
Link154	Görev 18	Kontrol operatörü 2	Üye-Üye (ÜÜ)	
Link155	Bulut	Tablet 9	Araç-Araç (AA)	
Link156	Tablet 9	Kontrol operatörü 2	Araç-Üye (AÜ)	
Link157	Görev 18	Tablet 10	Görev-Araç (GA)	
Link158	Görev 18	Kontrol operatörü 3	Üye-Üye (ÜÜ)	
Link159	Bulut	Tablet 10	Araç-Araç (AA)	
Link160	Tablet 10	Kontrol operatörü 3	Araç-Üye (AÜ)	
Link161	Görev 18	Tablet 11	Görev-Araç (GA)	
Link162	Görev 18	Kontrol operatörü 4	Üye-Üye (ÜÜ)	
Link163	Bulut	Tablet 11	Araç-Araç (AA)	
Link164	Tablet 11	Kontrol operatörü 4	Araç-Üye (AÜ)	
Link165	Görev 18	Tablet 12	Görev-Araç (GA)	
Link166	Görev 18	Kontrol operatörü 5	Üye-Üye (ÜÜ)	

Link167	Bulut	Tablet 12	Araç-Araç (AA)	
Link168	Tablet 12	Kontrol operatörü 5	Araç-Üye (AÜ)	
Link170	Görev 18	Tablet 13	Görev-Araç (GA)	
Link171	Görev 18	Kontrol operatörü 6	Üye-Üye (ÜÜ)	
Link172	Bulut	Tablet 13	Araç-Araç (AA)	
Link173	Tablet 13	Kontrol operatörü 6	Araç-Üye (AÜ)	
Link174	Görev 18	Tablet 14	Görev-Araç (GA)	
Link175	Görev 18	Kontrol operatörü 7	Üye-Üye (ÜÜ)	
Link176	Bulut	Tablet 14	Araç-Araç (AA)	
Link177	Tablet 14	Kontrol operatörü 7	Araç-Üye (AÜ)	
Link178	Görev 18	Tablet 15	Görev-Araç (GA)	
Link179	Görev 18	Kontrol operatörü 8	Üye-Üye (ÜÜ)	
Link180	Bulut	Tablet 15	Araç-Araç (AA)	
Link181	Tablet 15	Kontrol operatörü 8	Araç-Üye (AÜ)	
Link182	Görev 18	Tablet 16	Görev-Araç (GA)	
Link183	Görev 18	Kontrol operatörü 9	Üye-Üye (ÜÜ)	
Link184	Bulut	Tablet 16	Araç-Araç (AA)	
Link185	Tablet 16	Kontrol operatörü 9	Araç-Üye (AÜ)	
Link186	Görev 18	Tablet 17	Görev-Araç (GA)	
Link187	Görev 18	Kontrol operatörü 10	Üye-Üye (ÜÜ)	
Link188	Bulut	Tablet 17	Araç-Araç (AA)	
Link189	Tablet 17	Kontrol operatörü 10	Araç-Üye (AÜ)	
Link190	Görev 18	Tablet 18	Görev-Araç (GA)	
Link191	Görev 18	Kontrol operatörü 11	Üye-Üye (ÜÜ)	
Link192	Bulut	Tablet 18	Araç-Araç (AA)	
Link193	Tablet 18	Kontrol operatörü 11	Araç-Üye (AÜ)	
Link194	Görev 18	Tablet 19	Görev-Araç (GA)	
Link195	Görev 18	Kontrol operatörü 12	Üye-Üye (ÜÜ)	
Link196	Bulut	Tablet 19	Araç-Araç (AA)	
Link197	Tablet 19	Kontrol operatörü 12	Araç-Üye (AÜ)	
Link198	Görev 18	Tablet 20	Görev-Araç (GA)	
Link199	Görev 18	Kontrol operatörü 13	Üye-Üye (ÜÜ)	
Link200	Bulut	Tablet 20	Araç-Araç (AA)	
Link201	Tablet 20	Kontrol operatörü 13	Araç-Üye (AÜ)	
Link202	Görev 18	Bilgisayar 1	Görev-Araç (GA)	
Link203	Görev 18	Kontrol operatörü 14	Üye-Üye (ÜÜ)	
Link204	Bulut	Bilgisayar 1	Görev-Araç (GA)	

Link205	Bilgisayar 1	Kontrol operatörü 14	Araç-Üye (AÜ)	
Link206	Görev 18	Bilgisayar 2	Görev-Araç (GA)	
Link207	Görev 18	Kontrol operatörü 15	Üye-Üye (ÜÜ)	
Link208	Bulut	Bilgisayar 2	Görev-Araç (GA)	
Link209	Bilgisayar 2	Kontrol operatörü 15	Araç-Üye (AÜ)	
Link210	Görev 19	Başmühendis	Görev-Üye (GÜ)	Hareketli ajan
Link211	Bulut	Başmühendis	Araç-Üye (AÜ)	
Link212	Görev 20	Başmühendis	Görev-Üye (GÜ)	Hareketli ajan
Link213	Görev 20	Görev 16	Görev-Görev (GG)	Hareketli ajan
Link214	Başmühendis	Bölüm Şefi	Üye-Üye (ÜÜ)	Hareketli ajan

EK 4

Otomatik Dizgi Hattı Endüstri 4.0 Koordinasyon Ağı

Otomatik Dizgi Hattı				
Bağlantılar			Koordinasyon Ağı	Çevreyle Etkileşim
Link1	Görev 1	İstasyon 1		Görev-Çevre
Link2	Görev 1	Operatör 1	Görev-Üye (GÜ)	
Link 3	Görev 1	Bölüm Şefi 1	Görev-Üye (GÜ)	
Link4	Görev 1	Bölüm Şefi 2	Görev-Üye (GÜ)	
Link5	Görev 2	İstasyon 2		Görev-Çevre
Link6	Lehim makinesi	İstasyon 2		Araç-Çevre
Link7	Görev 2	Lehim makinesi	Görev-Araç (GA)	
Link8	Sensör 1	Lehim Makinesi	Araç-Araç (AA)	
Link9	Dizgi makinesi 1	İstasyon 3		Araç-Çevre
Link10	Sensör 2	İstasyon 3		Araç-Çevre
Link11	Sensör 3	İstasyon 3		Araç-Çevre
Link12	Sensör 4	İstasyon 3		Araç-Çevre
Link13	Sensör 5	İstasyon 3		Araç-Çevre
Link14	Sensör 6	İstasyon 3		Araç-Çevre
Link15	Sensör 7	İstasyon 3		Araç-Çevre
Link16	Sensör 8	İstasyon 3		Araç-Çevre
Link17	Sensör 9	İstasyon 3		Araç-Çevre
Link18	Dizgi Makinesi 1	Sensör 2	Araç-Araç (AA)	
Link19	Dizgi Makinesi 1	Sensör 3	Araç-Araç (AA)	
Link20	Dizgi Makinesi 1	Sensör 4	Araç-Araç (AA)	
Link21	Dizgi Makinesi 1	Sensör 5	Araç-Araç (AA)	
Link22	Dizgi Makinesi 1	Sensör 6	Araç-Araç (AA)	
Link23	Dizgi Makinesi 1	Sensör 7	Araç-Araç (AA)	
Link24	Dizgi Makinesi 1	Sensör 8	Araç-Araç (AA)	
Link25	Dizgi Makinesi 1	Sensör 9	Araç-Araç (AA)	
Link26	Dizgi makinesi 2	İstasyon 3		Araç-Çevre
Link27	Sensör 10	İstasyon 3		Araç-Çevre
Link28	Sensör 11	İstasyon 3		Araç-Çevre
Link29	Sensör 12	İstasyon 3		Araç-Çevre
Link30	Sensör 13	İstasyon 3		Araç-Çevre
Link31	Sensör 14	İstasyon 3		Araç-Çevre
Link32	Sensör 15	İstasyon 3		Araç-Çevre

Link33	Sensör 16	İstasyon 3		Araç-Çevre
Link34	Sensör 17	İstasyon 3		Araç-Çevre
Link35	Dizgi Makinesi 2	Sensör 10	Araç-Araç (AA)	
Link36	Dizgi Makinesi 2	Sensör 11	Araç-Araç (AA)	
Link37	Dizgi Makinesi 2	Sensör 12	Araç-Araç (AA)	
Link38	Dizgi Makinesi 2	Sensör 13	Araç-Araç (AA)	
Link39	Dizgi Makinesi 2	Sensör 14	Araç-Araç (AA)	
Link40	Dizgi Makinesi 2	Sensör 15	Araç-Araç (AA)	
Link41	Dizgi Makinesi 2	Sensör 16	Araç-Araç (AA)	
Link42	Dizgi Makinesi 2	Sensör 17	Araç-Araç (AA)	
Link43	Görev 3	İstasyon 3		Görev-Çevre
Link44	Görev 3	Bölüm Şefi 1	Görev-Üye (GÜ)	
Link45	Görev 3	Bölüm Şefi 2	Görev-Üye (GÜ)	
Link46	Bölüm Şefi 1	Makara 1	Üye-Araç (ÜA)	
Link47	Makara 1	Dizgi makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link48	Bölüm Şefi 1	Makara 2	Üye-Araç (ÜA)	
Link49	Makara 2	Dizgi makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link50	Bölüm Şefi 1	Makara 3	Üye-Araç (ÜA)	
Link51	Makara 3	Dizgi makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link52	Bölüm Şefi 1	Makara 3	Üye-Araç (ÜA)	
Link53	Makara 3	Dizgi makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link54	Bölüm Şefi 1	Makara 4	Üye-Araç (ÜA)	
Link55	Makara 4	Dizgi makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link56	Bölüm Şefi 1	Makara 5	Üye-Araç (ÜA)	
Link57	Makara 5	Dizgi makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link58	Bölüm Şefi 1	Makara 6	Üye-Araç (ÜA)	
Link59	Makara 6	Dizgi makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link60	Bölüm Şefi 1	Makara 7	Üye-Araç (ÜA)	
Link61	Makara 7	Dizgi makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link62	Bölüm Şefi 1	Makara 8	Üye-Araç (ÜA)	
Link63	Makara 8	Dizgi makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link64	Bölüm Şefi 1	Makara 9	Üye-Araç (ÜA)	
Link65	Makara 9	Dizgi makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link66	Bölüm Şefi 1	Makara 10	Üye-Araç (ÜA)	
Link67	Makara 10	Dizgi makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link68	Bölüm Şefi 1	Makara 11	Üye-Araç (ÜA)	
Link69	Makara 11	Dizgi makinesi 2	Araç-Araç (AA)	

Link70	Bölüm Şefi 1	Makara 12	Üye-Araç (ÜA)	
Link71	Makara 12	Dizgi makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link72	Bölüm Şefi 1	Makara 13	Üye-Araç (ÜA)	
Link73	Makara 13	Dizgi makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link74	Bölüm Şefi 1	Makara 14	Üye-Araç (ÜA)	
Link75	Makara 14	Dizgi makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link76	Bölüm Şefi 1	Makara 15	Üye-Araç (ÜA)	
Link77	Makara 15	Dizgi makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link78	Bölüm Şefi 1	Makara 16	Üye-Araç (ÜA)	
Link79	Makara 16	Dizgi makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link80	Bölüm Şefi 2	Makara 1	Üye-Araç (ÜA)	
Link81	Makara 1	Dizgi makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link82	Bölüm Şefi 2	Makara 2	Üye-Araç (ÜA)	
Link83	Makara 2	Dizgi makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link84	Bölüm Şefi 2	Makara 3	Üye-Araç (ÜA)	
Link85	Makara 3	Dizgi makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link86	Bölüm Şefi 2	Makara 3	Üye-Araç (ÜA)	
Link87	Makara 3	Dizgi makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link88	Bölüm Şefi 2	Makara 4	Üye-Araç (ÜA)	
Link89	Makara 4	Dizgi makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link90	Bölüm Şefi 2	Makara 5	Üye-Araç (ÜA)	
Link91	Makara 5	Dizgi makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link92	Bölüm Şefi 2	Makara 6	Üye-Araç (ÜA)	
Link93	Makara 6	Dizgi makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link94	Bölüm Şefi 2	Makara 7	Üye-Araç (ÜA)	
Link95	Makara 7	Dizgi makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link96	Bölüm Şefi 2	Makara 8	Üye-Araç (ÜA)	
Link97	Makara 8	Dizgi makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link98	Bölüm Şefi 2	Makara 9	Üye-Araç (ÜA)	
Link99	Makara 9	Dizgi makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link100	Bölüm Şefi 2	Makara 10	Üye-Araç (ÜA)	
Link101	Makara 10	Dizgi makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link102	Bölüm Şefi 2	Makara 11	Üye-Araç (ÜA)	
Link103	Makara 11	Dizgi makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link104	Bölüm Şefi 2	Makara 12	Üye-Araç (ÜA)	
Link105	Makara 12	Dizgi makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link106	Bölüm Şefi 2	Makara 13	Üye-Araç (ÜA)	

Link107	Makara 13	Dizgi makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link108	Bölüm Şefi 2	Makara 14	Üye-Araç (ÜA)	
Link109	Makara 14	Dizgi makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link110	Bölüm Şefi 2	Makara 15	Üye-Araç (ÜA)	
Link111	Makara 15	Dizgi makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link112	Bölüm Şefi 2	Makara 16	Üye-Araç (ÜA)	
Link113	Makara 16	Dizgi makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link114	Görev 4	İstasyon 3		Görev-Çevre
Link115	Bulut	Görev 4	Araç-Görev (AA)	
Link116	Görev 4	Bölüm Şefi 1	Görev-Üye (GÜ)	
Link117	Bölüm Şefi 1	Bilgisayar 1	Üye-Araç (ÜA)	
Link118	Bilgisayar 1	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link119	Bölüm Şefi 1	Bilgisayar 2	Üye-Araç (ÜA)	
Link120	Bilgisayar 2	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link121	Görev 4	Bölüm Şefi 2	Görev-Üye (GÜ)	
Link122	Bölüm Şefi 2	Bilgisayar 1	Üye-Araç (ÜA)	
Link123	Bilgisayar 1	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link124	Bölüm Şefi 2	Bilgisayar 2	Üye-Araç (ÜA)	
Link125	Bilgisayar 2	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link126	Görev 5	İstasyon 3		Görev-Çevre
Link127	Görev 5	Dizgi makinesi 1	Görev-Araç (GA)	
Link128	Görev 5	Dizgi makinesi 2	Görev-Araç (GA)	
Link129	Görev 6	Sensör 2	Görev-Araç (GA)	
Link130	Görev 6	Sensör 3	Görev-Araç (GA)	
Link131	Görev 6	Sensör 4	Görev-Araç (GA)	
Link132	Görev 6	Sensör 5	Görev-Araç (GA)	
Link133	Görev 6	Sensör 7	Görev-Araç (GA)	
Link134	Görev 6	Sensör 8	Görev-Araç (GA)	
Link135	Görev 6	Sensör 9	Görev-Araç (GA)	
Link136	Görev 6	Sensör 10	Görev-Araç (GA)	
Link137	Görev 6	Sensör 11	Görev-Araç (GA)	
Link138	Görev 6	Sensör 12	Görev-Araç (GA)	
Link139	Görev 6	Sensör 13	Görev-Araç (GA)	
Link140	Görev 6	Sensör 14	Görev-Araç (GA)	
Link141	Görev 6	Sensör 15	Görev-Araç (GA)	
Link142	Görev 6	Sensör 16	Görev-Araç (GA)	
Link143	Görev 6	Sensör 17	Görev-Araç (GA)	

Link144	Sensör 2	Bulut	Araç-Araç (AA)	
Link145	Sensör 3	Bulut	Araç-Araç (AA)	
Link146	Sensör 4	Bulut	Araç-Araç (AA)	
Link147	Sensör 5	Bulut	Araç-Araç (AA)	
Link148	Sensör 7	Bulut	Araç-Araç (AA)	
Link149	Sensör 8	Bulut	Araç-Araç (AA)	
Link150	Sensör 9	Bulut	Araç-Araç (AA)	
Link151	Sensör 10	Bulut	Araç-Araç (AA)	
Link152	Sensör 11	Bulut	Araç-Araç (AA)	
Link153	Sensör 12	Bulut	Araç-Araç (AA)	
Link154	Sensör 13	Bulut	Araç-Araç (AA)	
Link155	Sensör 14	Bulut	Araç-Araç (AA)	
Link156	Sensör 15	Bulut	Araç-Araç (AA)	
Link157	Sensör 16	Bulut	Araç-Araç (AA)	
Link158	Sensör 17	Bulut	Araç-Araç (AA)	
Link159	Görev 7	Bulut	Görev-Araç (GA)	
Link160	Bulut	Bölüm Şefi 1 Cep Telefonu	Araç-Araç (AA)	
Link161	Bölüm Şefi 1 Cep Telefonu	Bölüm Şefi 1	Araç-Üye (AÜ)	
Link162	Bulut	Bölüm Şefi 2 Cep Telefonu	Araç-Araç (AA)	
Link163	Bölüm Şefi 2 Cep Telefonu	Bölüm Şefi 2	Araç-Üye (AÜ)	
Link164	Görev 8	Bölüm Şefi 1	Görev-Üye (GÜ)	
Link165	Görev 8	Bölüm Şefi 2	Görev-Üye (GÜ)	
Link166	Bölüm Şefi 1	Makara 1	Üye-Araç (ÜA)	
Link167	Makara 1	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link168	Bölüm Şefi 1	Makara 2	Üye-Araç (ÜA)	
Link169	Makara 2	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link170	Bölüm Şefi 1	Makara 3	Üye-Araç (ÜA)	
Link171	Makara 3	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link172	Bölüm Şefi 1	Makara 4	Üye-Araç (ÜA)	
Link173	Makara 4	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link174	Bölüm Şefi 1	Makara 5	Üye-Araç (ÜA)	
Link175	Makara 5	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link 176	Bölüm Şefi 1	Makara 6	Üye-Araç (ÜA)	
Link177	Makara 6	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link178	Bölüm Şefi 1	Makara 7	Üye-Araç (ÜA)	

Link179	Makara 7	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link180	Bölüm Şefi 1	Makara 8	Üye-Araç (ÜA)	
Link181	Makara 8	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link182	Bölüm Şefi 1	Makara 9	Üye-Araç (ÜA)	
Link183	Makara 9	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link184	Bölüm Şefi 1	Makara 10	Üye-Araç (ÜA)	
Link185	Makara 10	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link186	Bölüm Şefi 1	Makara 11	Üye-Araç (ÜA)	
Link187	Makara 11	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link188	Bölüm Şefi 1	Makara 12	Üye-Araç (ÜA)	
Link189	Makara 12	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link190	Bölüm Şefi 1	Makara 13	Üye-Araç (ÜA)	
Link191	Makara 13	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link192	Bölüm Şefi 1	Makara 14	Üye-Araç (ÜA)	
Link193	Makara 14	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link194	Bölüm Şefi 1	Makara 15	Üye-Araç (ÜA)	
Link195	Makara 15	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link196	Bölüm Şefi 1	Makara 16	Üye-Araç (ÜA)	
Link197	Makara 16	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link198	Bölüm Şefi 2	Makara 1	Üye-Araç (ÜA)	
Link199	Makara 1	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link200	Bölüm Şefi 2	Makara 2	Üye-Araç (ÜA)	
Link201	Makara 2	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link202	Bölüm Şefi 2	Makara 3	Üye-Araç (ÜA)	
Link203	Makara 3	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link204	Bölüm Şefi 2	Makara 4	Üye-Araç (ÜA)	
Link205	Makara 4	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link206	Bölüm Şefi 2	Makara 5	Üye-Araç (ÜA)	
Link207	Makara 5	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link208	Bölüm Şefi 2	Makara 6	Üye-Araç (ÜA)	
Link209	Makara 6	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link210	Bölüm Şefi 2	Makara 7	Üye-Araç (ÜA)	
Link211	Makara 7	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link212	Bölüm Şefi 2	Makara 8	Üye-Araç (ÜA)	
Link213	Makara 8	Dizgi Makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link214	Bölüm Şefi 2	Makara 9	Üye-Araç (ÜA)	
Link215	Makara 9	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	

Link216	Bölüm Şefi 2	Makara 10	Üye-Araç (ÜA)	
Link217	Makara 10	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link218	Bölüm Şefi 2	Makara 11	Üye-Araç (ÜA)	
Link219	Makara 11	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link220	Bölüm Şefi 2	Makara 12	Üye-Araç (ÜA)	
Link221	Makara 12	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link222	Bölüm Şefi 2	Makara 13	Üye-Araç (ÜA)	
Link223	Makara 13	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link223	Bölüm Şefi 2	Makara 14	Üye-Araç (ÜA)	
Link224	Makara 14	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link225	Bölüm Şefi 2	Makara 15	Üye-Araç (ÜA)	
Link226	Makara 15	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link227	Bölüm Şefi 2	Makara 16	Üye-Araç (ÜA)	
Link228	Makara 16	Dizgi Makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link229	Görev 9	İstasyon 4		Görev-Çevre
Link230	Montaj makinesi	İstasyon 4		Görev-Çevre
Link231	Görev 9	Montaj makinesi	Görev-Araç (GA)	
Link232	Görev 10	İstasyon 5		Görev-Çevre
Link233	Fırın 1	İstasyon 5		Araç-Çevre
Link234	Fırın 2	İstasyon 5		Araç-Çevre
Link235	Fırın 3	İstasyon 5		Araç-Çevre
Link236	Fırın 4	İstasyon 5		Araç-Çevre
Link237	Görev 10	Fırın operatörü	Görev-Üye (GÜ)	
Link238	Fırın operatörü	Fırın 1	Üye-Araç (ÜA)	
Link239	Fırın operatörü	Fırın 2	Üye-Araç (ÜA)	
Link240	Fırın operatörü	Fırın 3	Üye-Araç (ÜA)	
Link241	Fırın operatörü	Fırın 4	Üye-Araç (ÜA)	
Link242	Görev 11	İstasyon 5		Görev-Çevre
Link243	Görev 11	Fırın 1	Görev-Araç	
Link244	Görev 11	Fırın 2	Görev-Araç	
Link245	Görev 11	Fırın 3	Görev-Araç	
Link246	Görev 11	Fırın 4	Görev-Araç	
Link247	Görev 12	İstasyon 6		Görev-Çevre
Link248	SAKİ makinesi 1	İstasyon 6		Araç-Çevre
Link249	SAKİ makinesi 2	İstasyon 6		Araç-Çevre
Link250	SAKİ makinesi 3	İstasyon 6		Araç-Çevre
Link251	SAKİ makinesi 4	İstasyon 6		Araç-Çevre

Link252	Bilgisayar 3	İstasyon 6		Araç-Çevre
Link253	Bilgisayar 4	İstasyon 6		Araç-Çevre
Link254	Bilgisayar 5	İstasyon 6		Araç-Çevre
Link255	Bilgisayar 6	İstasyon 6		Araç-Çevre
Link256	Görev 12	SAKİ makinesi 1	Görev-Araç (GA)	
Link257	SAKİ makinesi 1	Bilgisayar 3	Araç-Araç (AA)	
Link258	Görev 12	SAKİ makinesi 2	Görev-Araç (GA)	
Link259	SAKİ makinesi 2	Bilgisayar 4	Araç-Araç (AA)	
Link260	Görev 12	SAKİ makinesi 3	Görev-Araç (GA)	
Link261	SAKİ makinesi 3	Bilgisayar 5	Araç-Araç (AA)	
Link262	Görev 12	SAKİ makinesi 4	Görev-Araç (GA)	
Link263	SAKİ makinesi 4	Bilgisayar 6	Araç-Araç (AA)	
Link264	Görev 13	İstasyon 6		Görev-Çevre
Link265	Yapay Zeka Yazılım	İstasyon 6		Araç-Çevre
Link266	Görev 13	Yapay Zekâ Yazılım	Görev-Araç (GA)	
Link267	Bilgisayar 3	Yapay Zekâ Yazılım	Araç-Araç (AA)	
Link268	Bilgisayar 4	Yapay Zekâ Yazılım	Araç-Araç (AA)	
Link269	Bilgisayar 5	Yapay Zekâ Yazılım	Araç-Araç (AA)	
Link270	Bilgisayar 6	Yapay Zekâ Yazılım	Araç-Araç (AA)	
Link271	Bulut	Yapay Zekâ Yazılım	Araç-Araç (AA)	
Link272	Yapay Zekâ Yazılım	SAKİ makinesi 1	Araç-Araç (AA)	
Link273	Yapay Zekâ Yazılım	SAKİ makinesi 2	Araç-Araç (AA)	
Link274	Yapay Zekâ Yazılım	SAKİ makinesi 3	Araç-Araç (AA)	
Link275	Yapay Zekâ Yazılım	SAKİ makinesi 4	Araç-Araç (AA)	
Link276	Görev 14	SAKİ makinesi 1	Görev-Araç (GA)	
Link277	Görev 14	SAKİ makinesi 2	Görev-Araç (GA)	
Link278	Görev 14	SAKİ makinesi 3	Görev-Araç (GA)	
Link279	Görev 14	SAKİ makinesi 4	Görev-Araç (GA)	
Link280	Görev 15	SAKİ operatörü 1	Görev-Üye (GÜ)	
Link281	Görev 15	SAKİ operatörü 2	Görev-Üye (GÜ)	
Link282	Görev 15	Görev 13	Görev-Görev (GG)	
Link283	Görev 15	Görev 14	Görev-Görev (GG)	
Link284	Görev 16	Bölüm Şefi 1	Görev-Üye (GÜ)	
Link285	Görev 16	Bölüm Şefi 2	Görev-Üye (GÜ)	
Link286	Görev 16	Görev 2	Görev-Görev (GG)	
Link287	Görev 16	Görev 4	Görev-Görev (GG)	
Link288	Görev 16	Görev 5	Görev-Görev (GG)	

Link289	Görev 16	Görev 7	Görev-Görev (GG)	
Link290	Görev 16	Görev 8	Görev-Görev (GG)	
Link291	Görev 16	Görev 9	Görev-Görev (GG)	
Link292	Görev 16	Görev 10	Görev-Görev (GG)	
Link293	Görev 16	Görev 11	Görev-Görev (GG)	
Link294	Görev 16	Görev 12	Görev-Görev (GG)	
Link295	Görev 16	Görev 13	Görev-Görev (GG)	
Link296	Görev 16	Görev 14	Görev-Görev (GG)	
Link297	Görev 17	Başmühendis	Görev-Üye (GÜ)	
Link298	Görev 17	Görev 16	Görev-Görev (GG)	
Link299	Görev 18	Başmühendis	Görev-Üye (GÜ)	
Link300	Başmühendis	Bölüm Şefi 1	Üye-Üye (ÜÜ)	
Link301	Başmühendis	Bölüm Şefi 2	Üye-Üye (ÜÜ)	