



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

**ENDÜSTRİ 4.0 OTOMOTİV SEKTÖRÜNDEKİ YERİ VE MAKİNE
VERİMLİLİĞİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA**

SEDEF AKYOL KILIÇ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ İREM DÜZDAR ARGUN**

DÜZCE, 2021

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ 4.0 OTOMOTİV SEKTÖRÜNDEKİ YERİ VE MAKİNE
VERİMLİLİĞİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA

Sedef AKYOL KILIÇ tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi İrem DÜZDAR ARGUN

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi İrem DÜZDAR ARGUN

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Yıldız ŞAHİN

Kocaeli Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Barış KANTOĞLU

Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 23/06/2021

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

23 Haziran 2021

SEDEF AKYOL KILIÇ



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi İrem DÜZDAR ARGUN'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili eşim Ömer KILIÇ'a, annem Filiz AKYOL'a ve babam Bülent AKYOL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Varlığı ile hayatıma mutluluk katan kızım Rüya Nisa KILIÇ'a teşekkür ederim.

23 Haziran 2021

Sedef AKYOL KILIÇ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMALAR.....	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. ENDÜSTRİ 4.0 VE FABRİKALAR.....	4
2.1. AKILLI FABRİKALAR	4
2.2. ENDÜSTRİ 4.0 TEKNOLOJİLERİ	5
2.2.1. Büyük Veri.....	5
2.2.2. Robotlar	6
2.2.3. Simülasyon	6
2.2.4. Sistem Entegrasyonu.....	6
2.2.5. Nesnelerin İnterneti	6
2.2.6. Siber Güvenlik.....	6
2.2.7. Bulut Bilişim	6
2.2.8. Eklemeli Üretim (3D yazıcı)	7
2.2.9. Arttırılmış Gerçeklik	7
3. LİTERATÜR	8
4. MATERYAL VE YÖNTEM	13
4.1. VERİMLİLİK ÖLÇÜM MODELLERİ	13
4.1.1. Kurosawa Modelleri.....	13
4.1.1.1. Oranlarla İşgücü Verimliliği Modeli	13
4.1.1.2. Değişken Yapılı Hiyerarşik Ağırlıklı Ortalama İşgücü Verimliliği İndeks Sayı Sistemi Modeli.....	14
4.1.1.3. Toplam Verimlilik Ve Karlılığın Ölçümü ve Analizi Modeli	15
4.2. TOPLAM EKİPMAN ETKİNLİĞİ (TEE).....	15
4.3. YALIN ÜRETİM TEKNİKLERİ.....	16
4.4. ENDÜSTRİ 4.0 İLE YALIN ÜRETİM SİSTEMİ ARASINDAKİ İLİŞKİ....	18
4.5. BAYES AĞI.....	20
5. UYGULAMA	22
5.1. İŞ GÜCÜ VERİMİNİN HESAPLANMASI	23
5.2. MEVCUT DURUM ANALİZİ.....	27
5.3. DİJİTALLEŞME SONRASI HATTA İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI....	28
5.4. BAYES AĞI MODELİ	31
5.4.1. Durum Senaryoları	38
5.4.2. Duyarlılık Analizi	40
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	47

7. KAYNAKLAR.....	49
ÖZGEÇMİŞ.....	53



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 4.1. Kurusawa'nın adam-saat yapısı.....	14
Şekil 4.2. Yalın üretimin boyutları gruplanmış.....	16
Şekil 4.3. Toyota üretim sistemi.....	17
Şekil 4.4. Yalın üretim ve Endüstri 4.0'ın ortaklıklar.....	19
Şekil 5.1. Çalışmanın akış şeması.....	22
Şekil 5.2. Manuel montaj hattı iş akış şeması.....	24
Şekil 5.3. Otomatik montaj hattı iş akış şeması.....	25
Şekil 5.4. 2018 Yılı manuel genel işçilik verimliliği.....	26
Şekil 5.5. 2019 Yılı manuel ve otomatik genel işçilik verimliliği.....	27
Şekil 5.6. Duruş pareto grafiği.....	28
Şekil 5.7. Hata tanım yüzde grafiği.....	29
Şekil 5.8. Bayes ağı öncül yapısı.....	34
Şekil 5.9. Bayes ağı.....	36
Şekil 5.10. Anket sonucuna göre mevcut durum.....	38
Şekil 5.11. Kaynak değişkenine göre en iyi durum senaryosu.....	39
Şekil 5.12. Kaynak değişkenine göre en kötü durum senaryosu.....	39
Şekil 5.13. Bütçe için en iyi senaryo.....	41
Şekil 5.14. Bütçe için en kötü senaryo.....	41
Şekil 5.15. Yeni aparat yaptırma için en iyi senaryo.....	43
Şekil 5.16. Yeni aparat yaptırma için en kötü senaryo.....	43
Şekil 5.17. Performans %100 yüksek durumu.....	45
Şekil 5.18. Performans %100 düşük durumu.....	45

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Günümüz fabrikalar ile akıllı fabrikaların karşılaştırılması.	5
Çizelge 4.1. En yaygın kullanılan verimlilik ölçüm modelleri.	13
Çizelge 4.2. Yalın üretim ve Endüstri 4.0'ın ilişkisi.	19
Çizelge 5.1. Manuel ve otomatik tezgah karşılaştırılması sonuçları.	27
Çizelge 5.2. Mekanik arıza detay duruş dakikaları.	29
Çizelge 5.3. Alınan önlemler ve etkileri.	30
Çizelge 5.4. İyileştirmeler sonrasında hattın performansı.	30
Çizelge 5.5. Kaizen öncesi ve sonrası TEE hesaplaması.	31
Çizelge 5.6. Verimlilik değişkenleri.	33
Çizelge 5.7. Kaynak değişkenleri.	33
Çizelge 5.8. Çözüm değişkenleri.	34
Çizelge 5.9. Kaynak ve çözüm değişkenleri matrisi.	35
Çizelge 5.10. Çözüm ve verimlilik değişkenleri matrisi.	35
Çizelge 5.11. Kaynak değişkenleri anket sonucu.	36
Çizelge 5.12. Çözüm değişkenleri anket sonucu.	37
Çizelge 5.13. Verimlilik değişkenleri anket sonucu.	37
Çizelge 5.14. Mevcut durum, en iyi durum ve en kötü durum senaryosu.	40
Çizelge 5.15. Bütçe için en iyi ve en kötü senaryo.	42
Çizelge 5.16. Yeni aparat yaptırma için en iyi ve en kötü senaryo.	44
Çizelge 5.17. Performans için en iyi ve en kötü senaryo.	46

KISALTMALAR

TEE

Toplam ekipman etkinliği



ÖZET

ENDÜSTRİ 4.0 OTOMOTİV SEKTÖRÜNDEKİ YERİ VE MAKİNE VERİMLİLİĞİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA

Sedef AKYOL KILIÇ

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İrem DÜZDAR ARGUN

Haziran 2021, 52 sayfa

Günümüzde işletmeler yüksek verim, düşük maliyet, müşteri memnuniyeti ve en önemlisi ise zamandan kazanç elde etmek için dijitalleşme ile hızlı gelişen dünyaya uyum sağlamayı amaçlamaktadır. Dünya piyasalarında üretici firma sektörlerinin başında yer alan otomotiv sektörü de dijitalleşmede yerini almaktadır. Çalışmada incelenen firma, otomotiv yedek parçası üretimiyle sektördeki yerini almaktadır. İşletme dijitalleşmeye geçişte hem tezgâh hem de yazılımsal olarak yatırımlar yapmıştır. Bu süreçteki amaç işletmenin dijitalleşmeye geçişiyle tezgah verimliliğini arttırmak istemesidir. Çalışmada toplam ekipman etkinliğini hesaplayarak verimliliği olumsuz yönde etkileyen duruşlara Kaizen çalışması uygulanmıştır. Kaizen çalışmasının sonucunda verimlilikte artış gözlenmiştir. Dijitalleşme ile temelde uzman bilgisine daha çok ihtiyaç doğmuştur. Verimliliğin daha da arttırılabilmesi için güçlü olasılık teorisine sahip olması ve tutarsız olasılıkların ortadan kaldırılması nedeni ile Bayes ağı kullanılmıştır. Çalışmanın uygulama kısmında ki en önemli noktası toplam ekipman etkinliği bileşenlerinin, Bayes ağının verimlilik değişkeni olarak ağ senaryosu oluşturulması ve uzman görüşleri ile verimliliği arttıracak öneriler sunulmuş olmasıdır.

Anahtar sözcükler: Bayes ağı, Dijitalleşme, Kaizen, Otomotiv sektörü, Toplam ekipman etkinliği.

ABSTRACT

THE PLACE OF INDUSTRY 4.0 IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY AND AN APPLICATION ON MACHINE EFFICIENCY

Sedef AKYOL KILIÇ

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Mechanical
Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. İrem DÜZDAR ARGUN

June 2021, 52 pages

At the present time, businesses aim to adapt to the rapidly developing world with digitalization in order to gain high efficiency, low cost, customer satisfaction and most importantly, time. The automotive sector, which is at the forefront of the manufacturing company sectors in the world markets, also takes its place in digitalization. The company examined in the study takes its place in the sector with the production of automotive spare parts. The company has invested in both machine and software in the transition to digitalization. The aim in this process is that the business wants to increase the efficiency of the machine with the transition to digitalization. In the study, Kaizen study was applied to the postures that adversely affected the efficiency by calculating the total equipment efficiency. As a result of the Kaizen study, an increase in productivity was observed. With digitalization, there has been a greater need for expert knowledge. In order to further increase the efficiency, Bayesian network is used because of its strong probability theory and elimination of inconsistent probabilities. The most important point in the application part of the study is the creation of a network scenario as the efficiency variable of the total equipment efficiency components of the Bayesian network and suggestions to increase efficiency with expert opinions.

Keywords: Automotive industry, Bayesian network, Digitalization, Kaizen, Overall equipment effectiveness.

1. GİRİŞ

İlk Sanayi Devrimi'nden sonraki devrimlerden bu yana, su ve buharla çalışan makinelerden, elektrik ve dijital otomatik üretime kadar, insanların makineleri basit, verimli ve kalıcı bir şekilde çalıştırabilmeleri için üretim sürecini daha az karmaşık, otomatik ve sürdürülebilir hale getirdiler. Endüstri 4.0 terimi, ürünlerin yaşam döngüsünün tüm değer zincirinde yeni bir organizasyon ve kontrol düzeyi olarak tanımlanan ve giderek bireyselleşen müşteri gereksinimlerine yönelik dördüncü sanayi devrimi anlamına gelir. Endüstri 4.0'ın temel amacı, sipariş yönetimi, araştırma ve geliştirme, üretim devreye alma, ürünlerin kullanımına ve geri dönüştürülmesinden teslimat gibi alanları etkileyen bireysel müşteri ihtiyaçlarını karşılamaktır. Endüstri 4.0 ile Bilgisayar Tümeleşik arasındaki temel fark imalattır. Bu fark imalatta çalışan faktördür. Üretimde bilgisayar entegreli Endüstri 4.0 işçisiz üretim olarak kabul edildi. Endüstri 4.0 paradigması, sensörler, cihazlar ve kurumsal varlıklar gibi fiziksel öğelerin hem birbirine hem de İnternet'e bağlanmasını teşvik eder. Üretim süreci, yalnızca esnekliği artırmaya yardımcı olan ve muhtemelen koordinasyon karmaşıklığının azalmasına neden olan ardışık işlem adımlarının bilgilerini paylaşan küçük değer odaklı birimlere bölünmüştür [1].

Bir Alman stratejik girişimi olan Endüstri 4.0, üretim teknolojilerinin yükseltildiği akıllı fabrikalar yaratmayı hedefliyor. Endüstri 4.0 çağında, üretim sistemleri, fiziksel süreçleri izleyebilir, fiziksel süreçlerini oluşturabilir. Gerçek zamanlı iletişim yoluyla akıllı kararlar veren insanlar, makineler, sensörler vb. ile üretim sistemi teknolojilerini akıllı üretim süreçleriyle birleştirdiler. Endüstri 4.0 ile teknolojik çağ zincirleri, üretim değer zincirleri ve iş modelleri ile yeni endüstri değer temeli oluşturacaktır. Endüstri 4.0 bağlamında, üretim sistemleri akıllı bir seviyeye güncellenir. Akıllı üretim, dinamik ve küresel bir pazara hitap etmek için esnek, akıllı ve yeniden yapılandırılabilir üretim süreçleri elde etmek için gelişmiş bilgi ve üretim teknolojilerinden yararlanır. Tüm fiziksel süreçlerin ve bilgi akışlarının ne zaman ve nerede olursa olsun erişilebilir olmasını sağlar. Bütünsel üretim tedarik zincirlerinde, birden çok endüstride, küçük ve orta ölçekli işletmeler ve büyük şirketlerde ihtiyaç duyulmaktadır. Akıllı üretim cihazları veya makineleri etkinleştirmek için temel teknolojiler, geçmiş deneyimlere ve

öğrenme kapasitelerine dayalı olarak farklı durum ve gereksinimlere yanıt olarak davranışlarını değiştirmektedir [2].

İlk sanayi devriminden bu yana tüm sektörler daha fazla teknoloji kullanarak büyümüşlerdir. Bu büyümedeki en büyük paya sahip olan üretim ise iyileştirme çalışmaları yaparak, bilgisayarla takip edilen sistemler ve otomasyon sistemleri kullanarak müşteri odaklı, daha verimli bir yalın üretim yönetimi felsefesi ile ilerlemiştir [3].

Artan rekabet ortamı üretim birimlerini dijitalleşmeye yöneltti. Üretimin başarıya ulaşmasında konusunda Endüstri 4.0 yenilikçi otomasyon sistemleri ile katkıda bulunur. Yenilikçi yöntemleri ile dijital ortam, üretim esnekliği, müşteri memnuniyeti, zamanında üretim ve düşük maliyet konularında yalın üretimin önündeki engellerin aşılması konusunda destek sağlar [4].

Gelişen küresel piyasa üreticileri yüksek kaliteli hizmet sunmaya teşvik eder. Bu rekabetçi ortamda üreticiler yalın üretim yaklaşımı ile verimlilik artırma odaklanır [5]. Dünya çapında da en yaygın kullanılan imalat performans göstergelerinden biri de Toplam Ekipman Etkinliği (TEE) [6]. TEE ölçüm göstergeleri kullanılabilirlik, performans ve kalite olmak üzere 3 ana kategoride ele alınır [5].

İşletmeler rekabet koşullarında daha fazla üretkenlik için hızlı ve büyük veri sorunları ile başa çıkmak zorundadır. Endüstri 4.0 ile sistemlere bütünleşmiş teknolojiler tahminleme yöntemleri ile iç içe kullanılmaktadır. Bu sistemler doğrudan makine performanslarını etkileyen yöntemlerdir. Tahmin araçları belirsizlikleri, açıklayabilecek bilgiye dönüştürülmesi ve daha gerçekçi kararlar alınmasına olanak sunduğundan oldukça önemlidir [7]. Belirsizliği bulmak için olasılıkçı bir yaklaşım gerekir. Belirsiz bilgiler ile akıl yürütme konusunda uzmanlaşmış ve yaygın olarak kullanılan grafiklerden biri de Bayes ağıdır. Bu ağ, değişkenler arasında bilgiyi ve nedensel bağımlılıklarını temsil edecek çözüm alternatifleri sunar. Üretimdeki israfı ve verimsizliği ortadan kaldırmayı amaçlayan yalın üretim yöntemleri içinde belirsizliği Bayes ağı senaryoları ile çözümlenebilir [8]. Yalın üretim ile Bayes ağının beraber kullanıldığı çalışmalar literatürde de yer almaktadır. Özcan Akçaoğlunun çalışmasında yalın üretim tekniklerinden değer akışı haritalama tekniği ile Bayes ağı birlikte kullanılmıştır. Bayes ağı yapısı işletmenin kaynakları, çözüm alternatifleri ve problemler arasında ki ilişki üzerine oluşturulmuş. Problemler, Değer akış haritalama yöntemi kullanılarak tespit

edilen darboğazlar Bayes ağ yapısında problemler olarak ele alınmış. Uzman görüşlerinden destek alınarak senaryo çalışmaları yapılmış ve firmaya çözüm alternatifleri aktarılmış [9]. Literatürde yer alan Ang Yu çalışmasında [10] ve Büyüközkan ve ark. [8] çalışmasında Bayes inanç ağı, işletme performansına etki eden yalın yöntemler ile arasındaki ilişki üzerine kurularak senaryo çalışmaları uygulanmış.

Bu çalışmada otomotiv yedek parça üreticisi olan işletme, en önemli amaçlarından biri olan tezgâh verimliliğini arttırmak amacıyla dijitalleşme ile otomasyona geçmiştir. Çalışmada incelenen otomatik tezgâhın dijitalleşmeye geçtikten sonraki mevcut TEE'yi hesaplanmıştır. Toplam Ekipman Etkinliğine etki eden 3 ana bileşenlerden biri olan performansı arttırmak amacı ile yalın üretim yöntemlerinden Kaizen çalışması uygulanmıştır. Kaizen çalışmasının amacı gereksiz duruşları azaltmaktır. Çalışmanın devamında ise hem dijitalleşme ile meydana gelen hem de yalın üretim teknikleri uygulanırken ortaya çıkan belirsiz durumlar için en iyi çözüm alternatifi sunacağı düşünüldükçe Bayes ağı tercih edilmiştir. Ağ yapısı oluşturulurken verimlilik değişkeni olarak Toplam Ekipman Etkinliğine etki eden 3 ana bileşen ele alınarak gerekli kaynak değişkenleri belirlenmiş ve değişkenlerin arasında ki bağımlılıklar belirlenerek çözüm alternatiflerine ulaşılmıştır. Tüm bu uygulamaların kullanım amacı belirlenen hattın TEE'sini arttırmak içindir.

2. ENDÜSTRİ 4.0 VE FABRİKALAR

2.1. AKILLI FABRİKALAR

Akıllı fabrika terimi, tutarlı bir tanım olmamasına rağmen, endüstride pratik ve bilimsel olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla kullanılan birkaç başka terim daha vardır: U– Fabrika, nesnelerin fabrikası, gerçek zaman çerçevesindeki fabrika veya geleceğin akıllı fabrikası terimleri yer almaktadır. Bilim adamları akıllı üretim terimini kullanıyor. Her şeye rağmen, bu başarı hikayesi uzun ve dolambaçlı bir yoldur. Gelecekteki üretim literatürünün analizine dayanarak, akıllı fabrika için istenen özellikler esneklik ve yeniden yapılandırılabilirlik, düşük maliyet ve değişkenlik ilgili olacaktır. Bu işlevlerden bazılarını ulaşmanın bir yolu ise ürün/süreç teknolojisi ve organizasyonun uygulanmasına göre modülerlik uygulamaktır. Akıllı Fabrika, bir üretim çözümdür. Böylece esnek ve uygulanabilir üretim sağlar. Dünya koşulları içerisinde ki artan dinamik ve hızla değişen üretim tesislerinde ki sorunları çözebilecek süreçlerde karmaşık hale gelecektir. Bu özel çözüm, otomasyonla ilgili olabilir. Üretimde yazılım, donanım ve mekanik alanlarındaki optimizasyonlar gereksiz iş gücü ve kaynak israfının azalmasıyla sonuçlanır. İnternet teknolojisinin hızlı gelişimi ile ve ağ sistemlerini düşünmek mümkündür. Özetle, akıllı makinelerin yakın gelecek de işleri, üretim süreçlerini ve üretim sistemlerini şekillendirecektir [11].

Akıllı fabrikalar, sensörler aracılığıyla iş ihtiyacını tespit edebilir, internet üzerinden diğer üretim araçlarıyla iletişim kurabilir ve bilgileri bulut sistemlerinden büyük veriler olarak üretimi yakalayabilir [12].

Akıllı fabrikalarda üretim için Endüstri 4.0 ve siber-fiziksel sistemlerin entegrasyonu oldukça önemlidir. Bu entegrasyon imalat sistemine de uyarlanır. Entegrasyon sayesinde geleneksel üretimin sahip olamayacağı yüksek verim ve üretim esnekliğine sahip olunabilir. Çizelge 2.1 de günümüz fabrikalar ile akıllı fabrikaların karşılaştırılması ele alınmıştır [13].

Çizelge 2.1. Günümüz fabrikalar ile akıllı fabrikaların karşılaştırılması.

	Veri Kaynağı	Günümüz Fabrikaları		Akıllı Fabrikalar (Endüstri 4.0 Tabanlı)	
		Özellikler	Teknolojiler	Özellikler	Teknolojiler
Bileşen	Sensör	Hasas	Akıllı sensörler ve arıza tespiti	Kendi kendine tetikte olma, Kendi kendine tahmin	Arıza izleme ve kalan yaşam tahmini
Makine	Kontrolör	Üretilbilirlik ve Performans	Durum tabanlı izleme ve teşhis	Kendi kendine tetikte farkındalık, Kendi kendine tahmin, Kendi kendine karşılaştırma	Tahmini süre ve arıza önleme
Üretim Sistemi	Ağ Sistemi	Verimlilik	Verimsiz operasyonlar: iş ve atık azaltma	Kendi kendine yapılandırma Kendi kendine bakım, Kendi kendine organize	Esnek kontrol sistemleri ile endişesiz ön görülebilirlik

Geleneksel firmalarda üretim planlama, internet tabanlı sistemler ile üretimi izleme, lojistik operasyonlarının takibi gibi konularda vakitten sağlanan kazanç ve doğru bilgiye ulaşmadaki kolaylıktan ötürü içerisinde yer alınan çağ ile endüstri 4.0 geçiş ihtiyacı olarak düşünülmektedir. Farklı sektörlerde yer alan hizmet veya mamül üreten işletmelerde rekabet ortamında tutunabilmek için endüstri 4.0 teknolojileri ile entegre olarak prestijlerini bir üst düzeye taşımışlardır [13].

Büyük verileri raporlayabilmek ve geleceğe yönelik yatırım kararlarını doğru verebilmek adına işletmeler dijital çağa geçebilmeyi istemektedir. Bunun için yapılacak olan yatırımlar desteklenmelidir.

2.2. ENDÜSTRİ 4.0 TEKNOLOJİLERİ

Endüstri 4.0'ın dokuz ayağı bütünleştikten edildikten sonra, otomatik ve optimize edilmiş bir üretim akışına dönüşürecektir. Bu durum, tedarikçiler, üreticiler arasında geleneksel üretim ilişkilerinde, müşteri ve makineler arasında da daha fazla verimlilik ve değişikliğe yol açar [1].

2.2.1. Büyük Veri

Büyük Veri dört boyuttan oluşur: Veri hacmi, veri türü, veri hızı ve veri çeşitliliğidir. İşletmeye fayda sağlamak için veriler saklanır. Fakat saklanan bu veriler için altyapı ve maliyet gerekmektedir [14].

2.2.2. Robotlar

Endüstri 4.0'a geçişteki en önemli nokta insandan kaynaklı hataların azaltılmasıdır. Bu durumda en önemli rol robotik sisteme aittir. Robot sisteme geçiş ile üretim çıktısını ve verimliliği arttırmak için sistemler oluşturulmuştur [15].

2.2.3. Simülasyon

Endüstri 4.0 ile gerçek zamanlı verilerden yararlanarak üretim operasyonlarında simülasyonlardan yararlanılacaktır [16]. Üretim tesisi içerisinde sanal devreye almak adına 2D ve 3d sanal simülasyonlar oluşturulabilir. Üretim simülasyonlarının kullanımında duruş sürelerini kısaltma de değiştirmenin yanı sıra üretim sırasında ki yapılan hataları düzeltmeye de yardımcı olabilir [1].

2.2.4. Sistem Entegrasyonu

Endüstri 4.0 ana noktalarından biride birimlerin birbiri ile uyumlu çalışmasıdır. Bu uyumlu çalışmayı sürekli kılmak için her noktada entegrasyon sağlanması gerekmektedir. Bu sayede işletmeler daha verimli çalışma imkanına erişecektir [17].

2.2.5. Nesnelerin İnterneti

Her şeyin dijital alanda birbiri ile bağlantılı olduğu anlamına gelir. Tüm veriler birbirlerine bağlı bütünleşik ilerlediğini ifade eder. Nesnelerin interneti ile nesnelere veriler elde edilir [18].

2.2.6. Siber Güvenlik

Firmaların büyük data ile çalışmaları siber güvenlik düzeyine önem vermelerine neden olmuştur. Rekabet çağında firmaların verileri saldırılara daha hazırlık olmasını gerekmektedir. Şifreleme ve güvenlik duvarı gibi önemlerle saldırı için tedbirler alınmaktadır [1].

İşletmelerin verimliliği arttırmak siber fiziksel sistemler kullanır. Kullanım amacı üretimin kontrol etmek, gözetlemek ve şeffaflık sağlamaktır [19].

2.2.7. Bulut Bilişim

Bulut sistemi internet tabanlıdır. İnternet ile verilere her yerden ulaşabilme imkanı sunmaktadır. Dijitalleşme ile işletmelerde büyük verileri ve daha hızlı elde bilme olanağını sunmaktadır [20].

2.2.8. Eklemeli Üretim (3D yazıcı)

Bilgisayar üzerinde ki nesnelere 3D yazıcılar yardımı ile gerçek nesnelere dönüştüren yazıcıdır [21].

2.2.9. Arttırılmış Gerçeklik

Görüntüler, sesler ve grafikler ile oluşturulan gerçek ortam algısı oluşturulmuş bilgisayar çıktılarıdır. Üretici firmalar karmaşık üretim hatlarında kullanmaktadır [22].



3. LİTERATÜR

Kahya ve Polat çalışmasında Excel VBA ara yüzü tasarlanarak 28 gün boyunca 3 tezgah için üretim takip edilmiş ve tezgah verimlilikleri oranlarla iş gücü modeli ile hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda mesleki eğitime teşvik, motivasyon için liderlik özelliğine sahip usta başları ile çalışma, bilişim sistemlerine makine ve teknoloji bakımında yatırım yapılmasına karar kılınmıştır. Model, istenilen bilgiye ulaşmada üst yöneticilere kolaylık sağlamıştır [23].

Özsever ve arkadaşlarının çalışmasında işletmede verimlilik analizinin takibi için yazılım teknolojilerinden olan Microsoft Visual Studio.NET kullanılarak günlük üretim takip formu oluşturuluyor. Daha çok bu kullanım alanı küçük işletmelerde manuel olarak operatör girişi ile üretim kayıplarını kontrol etmek hem de geçmişe dönük verilerin saklanması amaçlı tasarlanan karar destek sistemidir. Gözlenen verileri oranlarla iş gücü modeli kullanarak nasıl hesaplanması gerektiği belirtilmiştir [24].

Özveri ve arkadaşlarının çalışmasında, günlük gazete basım matbaasında iki farklı TEE yaklaşımının uygulanabilirliğinin test edilmesi ele alınmıştır ve bu süre zarfında eski ve yeni yaklaşım olarak 6 ay boyunca veriler toparlanmıştır. Yalın üretim tekniklerinden toplam verimli bakım kısmı ele alınmıştır. Eskiden 2500parça/dk 0,485 sn de çıkan ürün yeni iyileştirme ile 1500parça/dk 0,408sn düşmüştür ve bu doğrultuda verimli bakım uygulayarak verim de TEE %20 artış göstermiştir [25].

Azizi'nin çalışmasında, fayans üretim firmasında ekipman etkinliği analizi yapılmak istenmiştir. Makine performansını TEE, üretkenliği arttırmak içinde veri analizini istatistiksel kalite kontrol kullanılarak yapmışlar. Otonom bakım verilerini belirlemek içinde DAMIC kullanılmıştır. Cam hattı 6 ay boyunca hata oranı ve makine performansı olarak gözlenmiştir, kalite performansı için SPC ile veriler analiz edilmiş ve otonom bakımdan önceki durum izlenmiştir. Otonom bakım için kök nedenler ve aksiyon planları belirlenmiş ve fırçalarda toz nedeni ile çok fazla vakit kaybedildiği tespit edilmiş ve otonom bakım formları bu doğrultuda yenilenerek mekanik arıza süresi 2502 dakikadan 1161 dakikaya düşmüş, TEE %22'den %28'e yükseldiği gözlenmiş [26].

Fam ve arkadaşlarının çalışmasında, tuvalet kağıdı üretimi yapan firmada Ocak 2015 - Aralık 2015 yılları arasındaki veriler üzerinde çalışılmıştır. Firmada maliyeti düşürmek, yüksek kalitede ürünler üretmek için için yalın ekip kuruldu, Ishikawa balık kılığı yöntemi ile 5 israf belirlendi. Değer akış haritalama yöntemi ile üretim tanıtılmış. Toplam varyasyonda toplam ekipman etkinliği %74,77 olarak kaydedilmiştir. Firma makine ayar süresini ve makinenin arıza süresini azaltma ve düşük kaliteli kâğıtlar satın almamak için alternatif tedarikçi düşünmeye karar verilmiş [5].

Çelik çalışmasında, çelik sektöründe faaliyet gösteren firmada 1 yıllık veri üzerinden israfı minimize etmek adına soğuk çekme hattından süreç hatalarını belirleyip poke-yoke ile uygulanarak 12 poke yoke önleyici aksiyon alındı. toplam ekipman etkinliği %59,35'den %70,18'e yükselmiştir. Performans verilerine göre, hata kaynaklı 16362 dakikalık (272,7 saat) kayıp zaman kullanılabilir hale gelmiştir. Kalite problemleri kaynaklı üretilen ve teslim edilemeyen 1342 ton hatalı ürün için harcanan zaman (355,5 saat) kazanılmıştır. Diğer bir ifadeyle, Poka Yoke uygulamaları ile üretim hattında toplamda 628,2 saat/yıl (2512,8 ton) Kullanılabilir zaman elde edilmiştir [27].

Singh ve arkadaşlarının çalışmasında, şeker fabrikasında ki 4 ayrı istasyondaki genel verimliliğin artırılması sağlanmıştır. Herkes görevine katkıda bulunarak küçük iyileştirme yaptı ve rutin basit işlerde hata yapılmamaya çalışıldı. Sonuç olarak iyileştirmelerle genel toplam ekipman etkinliği %2 ile %8 oranında arttı, kesinti 7 ile 22 dk azaltıldı, red oranı 22-33 tona azaldı, setup 2 ile 6 dk daha azaltıldı [28].

Acar ve Çakırkaya çalışmasında makarna üretimi yapan firmada 1 aylık incelenen veriler doğrultusunda 2 adet uzun 2 adet kısa toplamda 4 hattan 210 ton üretim kapasitene sahip hattın duruşları analiz edilerek neden durduğu ile ilgili plansız duruşlar otonom bakım kapsamında 4 saat 15 dk ,5s denetlemesi ile 1 saat 15 dk ve kalıp değişimi ile 30 dk iyileştirme yapılarak hat toplam ekipman etkinliği %93.8'den %94,7'lere yükseliyor [29].

Ante ve arkadaşlarının çalışmasında BOSH performans ölçüm sistemleri baz alınarak KPI ağacı oluşturulmuştur. Fabrikanın üretkenliğini arttırmak için üretim süreçlerini izlemek ve kontrol etmek amacı ile kurgulanmıştır. Firmalar endüstri 4.0'a üretimden kolay veri toplama analiz etme, kaliteyi artırma ve hataları önemek için şirketi başarıya götürecek kriterler belirlenerek ağaç oluşturulmuştur. bu uygulamada 8 farklı proje kodu ile doğrudan verimlilik, dolaylı üretkenlik, TEE, uygunluk, hatalar ve maliyetler tablosu çıkarılmıştır. KPI ağacından 8 madde bilgi teknolojileri, lojistik, akıllı süper market, tam

zamanında izleme, MES, akıllı/akıllı olmayan makine bağlantıları, yeterlilik matrisi ve tedarikçi konuları proje maddesi olarak ele alınmış. Çalışmanın sonucunda Endüstri 4.0 ile verilere daha hızlı anlık erişebilme ve analiz sürelerinin kolaylaşp kısılması. Bu uygulamada 8 farklı proje için doğrudan verimlilik +%2 arttı, dolaylı üretkenlik +%2 arttı, TEE +%1 arttı, uygunluk +%7 arttı, hatalar -%25 azaldı ve maliyet -75k€ azaldı [30].

Görener'in çalışmasında aspratör üreten firmada toplam ekipman etkinliği, performans, planlanan makine uygunluğu ve kalite değerleri literatürde ideal değerler olarak kabul edilen oranlarla kıyaslanmıştır. Rekabetçi ortamda firma kendi içerisinde ekipmanlarını verimli kullanabiliyor mu analizi yapmak için bu çalışma yapılmıştır. Üretimin 2 haftası incelenmiştir. Tezgâh 2 vardiya, 5günden ve 8 saat olarak ele alınarak TEE hesaplanmış. Çalışma sadece hesaplama yapıp fabrikanın mevcut durumunu ortaya koymuştur. Makine değer uygunluğunun tekrar araştırılmasına, ekipman etkinliği için kalıp değiştirme süresinin azaltılması için çalışmaların başlamasına karar vermiş [31].

Temiz ve arkadaşlarının çalışmasında döküm sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede 8 günlük hat incelenerek yükleme seviyesi hesaplanmış. Duruşlar pareto analizi ile 3 gruba ayrılmış her grup kendi içinde incelenmiş daha sonrada mevcut TEE elde edilmiştir. TEE %56 olarak bulunmuştur. Makalede ki amaç işletmenin TEE'sinin çok düşük ve kayıt altında olmaması sebebi ile daha uzun vadede TEE datası tutabilmek için bilgi sistemi tasarlanıp C# ara yüzü ve SQL veritabanı kullanılarak kodlanmış ve datalar bu şekilde saklanmış. Uygulamanın yazılma amacı ise üretim esnasında gerçekleşen planlı ve plansız duruş bilgileri ve hatalı parça miktarları da veri tabanlarında tutulacak ve TEE değerleri hesaplanarak operatörlerin ve yöneticilerin daha hızlı ve sağlıklı kararlar vermeleri sağlamak amacı ile yapılmıştır [32].

Acosta ve arkadaşlarının çalışmasında optimizasyon için akıllı üretim sistemlerinden makine öğrenimi üretim maliyetlerini ve genel ekipman verimliliğini arttırmak için bu çalışma yapılmıştır. Doğrulama için 3 eksenli yer değiştirme ile yatay şerit testeresi kullanıldı. Kesme sistemi şeması çizilerek parametreleri otomatik kontrol etmek için tasarlanmış kapalı döngü anlatıldı. Üretim kesme parametreleri belirlenerek otomasyon sisteminde kalite kontrol sistemi uygulandı. Yapay görme bileşenleri tanımlayarak analiz edildi. Üretim maliyetlerini ve genel ekipman verimliliğini arttırmak için akıllı fabrikaya geçebilmek adına kesme parametreleri dijital ortamlarda hesaplanıp hassasiyetleri belirlenerek TEE değerinin artışını gözlenmek istenmiştir. Kullanılan ileri makine öğrenimi ile TEE %46,34'den %99,95'lere kaçır çıkarıldı [33].

Li ve arkadaşlarının çalışmada Bayes ağı yalın girişimlerle ilişkili riskleri değerlendirmek ve potansiyel riskleri en aza indirmek için kullanılmıştır. Amaç sınırlı kaynaklar ile doğru veriye odaklanmaktır. Çalışmanın uygulamada amacı yanlış üretimin önüne geçmek içindir. Değişkenler, mühendislik değişkeni, envanter denetimi, yuvalama ve parça doğruluğudur. İncelemeler sonucunda yanlış parçanın üretilmesine neden olan iki olasılık mevcuttur. Bu olasılıklar ya envanter denetiminin ya da yuvalama ayarlamasının yanlış olmasıdır. Çalışmanın sonucunda envanter denetiminin doğru olmama ihtimali daha yüksek çıkmıştır [34].

Liu ve arkadaşlarının çalışmada yalın uygulamalar ve kurumsal performans arasında ki ilişki meta-analiz ile incelenmiş ve inceleme sonucuna göre Bayes ağı inşa edilmiştir. Yalın uygulamalar anket sonuçlarına dayanmaktadır. Bu makalede birleştirme küme analiz yöntemi ile yalın uygulamalara operasyonel performans ve operasyonel olmayan performans olasılık dağılımı elde edilmiş. Bu uygulama Netica programına aktarılmış ve analiz sonuçları yorumlanmıştır. Bu analizler, yalın uygulamalar seviyesi değiştiğinde, operasyonel performansla operasyonel olmayan performanstan daha büyük bir etkiye sahip olduğunu gözlemlemişler. Bu yalın uygulamalar doğrudan ürün kalitesini, maliyetini ve diğer operasyonel unsurları etkilemesinden kaynaklanıyor olabileceği ileri sürülmüştür [35].

Lee ve arkadaşlarının çalışmasında endüstri 4.0 ile ortaya çıkan belirsiz ortamda en iyi tahmin yönetimi olduğundan Bayes ağı kullanılmıştır. Üreticinin mühendislik sorunları üzerinde uzman kişilerden ve geçmiş verileri kullanarak ağ yapısı oluşturulmuştur. Ağ sonucunda tavsiye olarak makine ömrü için Enterprise resource planning (ERP) destekli optimize edilmiş bakımlı planlamanın yapılması, üretim hattı için bilgi akışının daha şeffaf olması ve işçilik maliyetini düşürecek ortamın hazırlamasıdır [7].

Schenkelberg ve arkadaşlarının çalışmasında endüstri 4.0 geçmiş işletme için bilgiye dayalı bakımın firmaya karlılık sağlayıp sağlamayacağını öğrenmek amacı ile çalışma yapılmıştır. Reaktör soğutucusu için yapılmıştır. Amaç kayıp tespitini kolaylaştırmak için Bayes ağı uygulanmıştır. Planlanmış ve planlanmamış duruşları için işletmenin bütçesi ile ilişkilendirilerek kurulmuştur. Sonuç olarak karlılığı dikkate alarak uygun bir bakım stratejisi seçilmiştir [36].

Papananias ve arkadaşlarının çalışmasında üretim karmaşık ve birbiri ile ilişkili bir yer olduğundan birçok belirsizliğide barındırır. Parça kalitesi için ilişkili belirsizlikleri

belirlemek amacı ile Bayes ağı kullanılmıştır. Sonucunda imalat maliyeti ve hizmet ömrü göz önüne alınarak endüstri 4.0 akıllı fabrikalarına ajan tabanlı kontrol önerilmiştir [37].

Jayaram çalışmasında tedarik zinciri düzeyinde maliyetleri düşürebilmek, kazancı artırabilmek, kaynak tüketimini azaltma ve genel verimliliği arttırmak için endüstri 4.0 ile beraber altı sigma yalın çalışması yapılmış. Süreçlerde optimizasyon için Bayes ağından destek alınabileceğini değinilmiş. Çalışmanın sonucunda özel etiketler geliştirilerek herhangi bir mal değişikliği ve hırsızlığın önüne geçerek sahte ürünleri kolayca tespit edilmesi önerisine varılmıştır [38].

Xu çalışmasında, işletmede dönen makine hatalarının belirlenmesi için uzman destekleri ile Bayes ağı geliştirilmiştir. Bayes ağ yapısı bilgi, makine arızları ve çalışma koşulları temel alınarak oluşturulmuştur. Çalışmanın sonucunda ilk aşamada ısıl bükme ve yatak sorunu olarak bulunmuştur. Yatak arızasının sebebinin rulman aşınması olduğu sonucuna varılmıştır [39].

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. VERİMLİLİK ÖLÇÜM MODELLERİ

Farklı amaçlar, farklı ürün tipleri ve farklı ölçüm birimleri için literatürde en yaygın kullanım alanına sahip verimlilik ölçüm modelleri Çizelge 4.1 de kısaca anlatılmıştır [22].

Çizelge 4.1. En yaygın kullanılan verimlilik ölçüm modelleri.

Yöntemin adı	Kullanılan Modeller	Kullanış Amacı
David J. Sumanth Modeli [22]	Ürün odaklı model ele alınır	Bireysel ürünler için toplam verimliliği ölçmek amacı ile kullanılır.
Veri Zarflama Analizi [24]	Birden fazla girdi ile birden fazla çıktı elde edilen üretim tipi ele alınır.	Mal yada hizmet açısından birbirlerine benzer ekonomik karar birimlerinin parametresiz etkinlik ölçmek için kullanılır
M.R. Ramsay Modeli [24]	Hammadde ve malzemenin maliyeti ve çıktının maliyeti ele alınır.	Hammaddeyi malzeme veya hizmete dönüştürmede ne ölçüde etken olduğunu hesaplamak için kullanılır.
Jackson ve Petterson Yaklaşımı [24]	Farklı iş tiplerine uygundur	Verimliliğe değer katan işlerin toplam zamana oranı ile zaman açısından verimliliği hesaplamak için ele alınır.
Kurosawa Modeli [22]	İşletmelere uygun işgücü verimliliği, kişi yıl verimliliği ve karlılık verimliliği ölçümler için kullanılır	Verimlilik ölçüm kriterleri olarak geçmiş analizi ve gelecek planlamalarını değerlendirmek için hesaplanan yöntemdir.

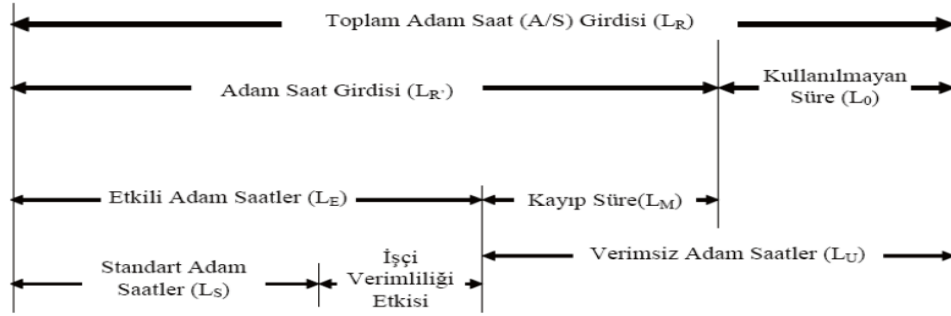
Model tipleri içerisinde şirket verimliliklerinin hesaplanması, istenilen hedef noktasına gelmesi adına yol gösterici olacağı düşünülen Kurosawa modeli ele alınıp iş gücü verimlilikleri hesaplanmıştır.

4.1.1. Kurosawa Modelleri

4.1.1.1. Oranlarla İşgücü Verimliliği Modeli

Personellerden sorumlu grup liderlerinin, iş gücünü doğru ve aktif bir biçimde kullanabilmesi, üst düzey yöneticilerine günlük raporlamalarında bilgileri daha kolay bir şekilde aktarabilmesi için oranlarla işgücü verimliliği modeli ele alınmıştır. Bu modelin avantajlı olmasının nedenlerinden biri, eskiye dönük verilerin kolay erişilebilir olmasıdır.

Kurosawa, modelin kolayca anlaşılabilmesi için, adam / saat yapısını açık bir şekilde tanımlamıştır. Kurosawa'nın oluşturduğu bu yapı Şekil 4.1 de verilmiştir [24].



Şekil 4.1. Kurosawa'nın adam-saat yapısı.

Oranlarla işgücü verimliliği modeli verimlilik formülleri ise aşağıdaki şekildedir [24]:

$$\text{Etkili Adam Saat} \quad L_E = L_R - L_U \quad (3.1)$$

$$\text{Standart Adam Saat} \quad Q * \text{Standart Süre} \quad (3.2)$$

$$\text{Verimsiz Adam Saat} \quad L_U = L_{OY} + L_{OU} + L_{OO} + L_{OS} \quad (3.3)$$

$$\text{İşgücü Verimliliği} \quad P_L = L_S / L_E \quad (3.4)$$

$$\text{Yönetim Sorumluluğu Altındaki İşgücü Verimliliği} \quad P_{OY} = L_E / (L_E + L_{OY}) \quad (3.5)$$

$$\text{Ustabaşı Sorumluluğu Altındaki İşgücü Verimliliği} \quad P_{OU} = L_E / (L_E + L_{OU}) \quad (3.6)$$

$$\text{Operatör Sorumluluğu Altındaki İşgücü Verimliliği} \quad P_{OO} = L_E / (L_E + L_{OO}) \quad (3.7)$$

$$\text{Seyrek Elemanlardan Kaynaklanan İşgücü Verimliliği} \quad P_{OS} = L_E / (L_E + L_{OS}) \quad (3.8)$$

$$\text{Etkili Adam Saatlerin Toplam Adam Saatlere Oranı} \quad P_E = L_E - L_R \quad (3.9)$$

$$\text{Genel Süreç Verimliliği} \quad P_G = L_S - L_R \quad (3.10)$$

4.1.1.2. Değişken Yapılı Hiyerarşik Ağırlıklı Ortalama İşgücü Verimliliği İndeks Sayı Sistemi Modeli

İş gücü verimliliğinin kaynağını kişi-yıl etkisi üzerinden ele alan modeldir. Metot'un sistemi, çalışma günü ile çalışılmayan gün, çalışabilen gün içerisinde çalışılan ve kullanılmayan iş gücü saatlerini, çalışan süre içerisinde de kayıp etkili süre durumlarını belirlemek için tasarlanmıştır [22].

4.1.1.3. Toplam Verimlilik Ve Karlılığın Ölçümü ve Analizi Modeli

Modelin amacı toplam maliyet verimliliğini karlılıkla ilişkilendirerek cari fiyatlarla ölçülebilen gelir ve gider arasındaki bağlantıyı ele alır. Bu modeli kullanan şirketler aynı zamanda yer aldıkları sektörün ortalama yapısı ve eğilimleriyle karşılaştırılarak değerlendirilebilir [22].

4.2. TOPLAM EKİPMAN ETKİNLİĞİ (TEE)

Firmaların gelişime açık önemli bir alanı verimliliğidir. Verimliliğin en iyi ölçüm göstergelerinden biri TEE'dir. Dünya çapında da imalat sektöründe yaygın olarak kullanılan performans göstergelerinden biri TEE değeridir. Endüstrilerde dijitalleşmenin artması ile üretim verilerinin otomatik olarak elde edilmesine ve analiz edilebilmesine olanak sağladı. TEE verilerinin kullanılabilirliği, toplanan verilerin niteliğine ve gerçekliğine bağlıdır [6].

TEE, önemli üretim verileri kaynağını kullanır. Kullandığı kaynakları 3 ayrı kategoriye yerleştirir ve sürekli kullanım için bir ölçüm göstergesi sağlar. TEE formülü üretim sürecinin kullanılabilirliği, performansı ve kalitesinden oluşur. Kullanılabilirliği ölçmek için üç unsur gerekir ve bu unsurlar iş yerinde kullanılan zamana bağlıdır. Performans için fiili üretim çıktısı ve planlanan üretim çıktısı olmak üzere iki kategori vardır. Fiili üretim çıktısı gerçekleşen üretim adedi iken planlanan çıktı tezgâh başına belirlenen kapasiteye bağlıdır. Kalitenin hesaplanması ise ret edilen ölçüye bağlıdır [5].

Nakajima tarafından TEE yaklaşımında kullanılan formül ile kullanılabilirlik açısından parametrelerin hesabı yapılmaktadır. Gibbons ve Burgess tarafından sunulan TEE yaklaşımında, Nakajima tarafından sunulan TEE yaklaşımı ile benzer formülasyona sahiptir. Nakajima'nın sunduğu TEE yaklaşımında üretim süresi ile ilgili veriler performans ve kalite parametrelerinin hesaplanmasında kullanılırken, Gibbons ve Burgess'in sunduğu TEE yaklaşımındaki hesaplamalar üretilen miktara göre yapılır. Buna göre Gibbons ve Burgess tarafından geliştirilen yeni TEE hesaplamaları aşağıdaki gibi yapılır [25].

$$\text{Kullanılabilirlik} = (\text{Çalışma Zamanı}) / (\text{Planlı Üretim Zamanı}) \quad (3.11)$$

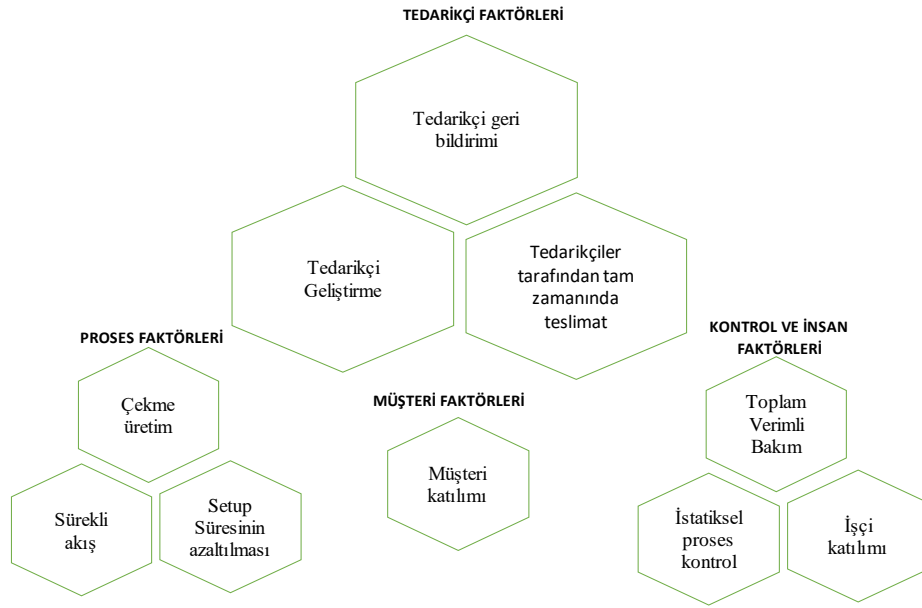
$$\text{Performans} = (\text{Gerçekleşen Üretim Miktarı}) / (\text{Yapılabilir Üretim Miktarı}) \quad (3.12)$$

$$\text{Kalite} = (\text{İyi Parça Miktarı}) / (\text{Toplam Parça Miktarı}) \quad (3.13)$$

$$TEE = \text{Kullanılabilirlik} \times \text{Performans} \times \text{Kalite} \quad (3.14)$$

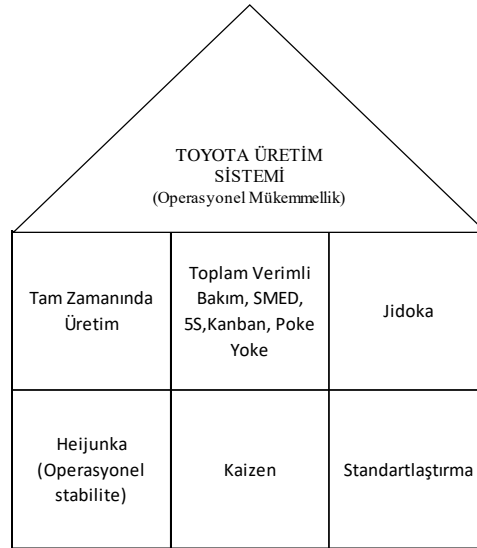
4.3. YALIN ÜRETİM TEKNİKLERİ

Yalın Üretim, çeşitli endüstriyel uygulamaları içeren çok yönlü bir üretim yaklaşımı olarak tanımlanabilir. Taichii Ohno'nun girişimleriyle Toyota üretim sisteminin kavramsallaştırılmasından gelişti. Yalınlığın merkezi gücü olan üretimde, planlanan uygun zamanda bitmiş ürünleri oluşturmak için aerodinamik bir süreç akışı oluşturmaktır. Sanders ve ark., 2016, çalışmasında Şekil 4.2 de belirtildiği gibi on faktörle yalın üretimin boyutları gruplandırılmıştır [3]. Çalışmamızda proses faktörlerinde iyileştirme yaparak hattın daha verimli kullanılması amaçlanmıştır.



Şekil 4.2. Yalın üretimin boyutları gruplanmış.

Yalın düşünme, organizasyonda atık olarak görülen şeylerin azaltılmasına odaklanan bir yöntem felsefesidir. Üretim sürecinde israfı azaltırken, şirketin müşteri değerine odaklanmasına izin verir. Toyota üretim sistemi genellikle bir ev ile tanımlanır. Bu evi oluşturan sütunlar Şekil 4.3 de görüldüğü gibidir [40].



Şekil 4.3. Toyota üretim sistemi.

Tam zamanında üretim, zamanında üretim yapılabilmesi adına malzemelerin taşındığı bir operasyon sistemini ifade etmek için kullanılır. Böylece, sistem ve hizmetler tam zamanında teslim edilir [41].

Kaizen, iyileştirme olarak tanımlanır. İşletmelerde uygulandığında, yöneticilerden işçilere kadar tüm çalışanları kapsayan sürekli iyileştirme anlamına gelir. Kaizen demek küçük iyileştirmeler ile gelişmedir [42].

Kanban, esasen belirli bir ürünün tüm aşamalarında montajı ve üretimi için gerekli tüm bilgileri içeren ve ürünün tamamlanma yolunu açıklayan plastik bir karttır. Çizelgeleme ve stok kontrollü çok aşamalı bir sistemdir. Kartlar ile üretim akışı ve stok kontrolü yapılarak daha az süreç içi çalışma ve üretim süresi ile yüksek kapasite kullanımını ve yüksek üretim hacmini kolaylaştırır [43].

Jidoka, imalat dünyasında hem teknik hem sistem anlamına gelir. Teknik olarak, "Jidoka", bir operatörün birden çok makineye katılmasına izin vermek için insan faaliyetini makine döngülerinden ayırmayı amaçlayan bir dizi otomasyon sistemi tasarım ilkesini açıklar [44].

Poke-Yoke, hata engelleme anlamına gelen terimdir. İş yapan kişinin hata yapmasını önleyen yalın üretim tekniğidir [40].

Tek rakamlı dakikalarda model değişimi, kurulum süresini iyileştirmek için geliştirilmiş bir yöntemdir [45].

Değer akışı haritalama, başlangıçta Toyota Üretim Sistemindeki yöntem ve Rother &

Shook tarafından ayrı bir yöntem olarak tanıtıldı. İşletme içinde değer akışlarının koşullarına bütünsel bir genel bakış elde etmek için basit ama çok etkili bir yöntemdir. Mevcut durumun analizine dayalı, hedef odaklı planlanır ve uygulanır. Değer katan ve katmayan faaliyetleri içerir. Bir ürün hizmet veya mal yaratmak için tüm işlevsel süreçler, kontrol ve yönlendirme faaliyetleri ve ayrıca bilgi akışı faaliyetlerinin bütünüdür [46].

5S, çalışma alanını temiz, verimli ve güvenli bir şekilde organize etmenin Japon yöntemidir.

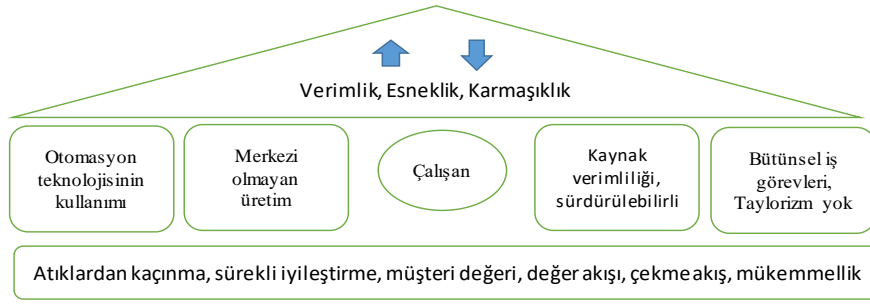
Basit ama güçlü bir kalite uygulaması olan 5S, bir işyerindeki israfı belirlemeye ve ortadan kaldırmaya yardımcı olur. Aynı zamanda bir organizasyonda üretken ve kaliteli bir ortam oluşturmaya ve sürdürmeye yardımcı olurken genellikle işletmelerde basit gözden kaçan sorunlara bakmaya zorlanır [47].

Heijunka, işe varış sırasının değişkenliğini kontrol etmektir. Daha yüksek kapasite kullanımına izin verir, ayrıca üretim programındaki iniş ve çıkışları önler [48].

4.4. ENDÜSTRİ 4.0 İLE YALIN ÜRETİM SİSTEMİ ARASINDAKİ İLİŞKİ

Üretim esnasında israfı azaltmak amacı ile geliştirilen yalın üretim metotlarının ortak hedefi düşük maliyet, yüksek müşteri memnuniyeti ve kaliteli ürün çıktısı elde etmektir. Yalın üretim teknikleri farklı alanda kullanılabilen çok boyutlu bir tekniktir. Firmaların dijital çağa geçmesindeki amaçta da yalın üretim teknikleri ile aynı hedefleri kapsamaktadır. Dijitalleşme ile yalın tekniklerin uygulanmasını kolaylaştırma, hızlı aksiyon girişiminde bulunma ve kararların gerçeğe yakın sonuçlar verme adımlarında olumlu bir ilişkide ilerledikleri ortaya koymuştur [49].

Endüstri 4.0 teknolojileri, yalın üretim tekniklerinin uygulanması ile daha verimli kullanması sağlanmıştır. Dijitalleşmeye geçişte üretimdeki karmaşıklığa ve esneklik paylarına destek olur. Endüstri 4.0 teknolojileri ile yalın üretim yöntemlerinin arasındaki ilişki Şekil 4.4 de gösterilmiştir [50].



Şekil 4.4. Yalın üretim ve Endüstri 4.0'ın ortaklıklar.

Yalın Üretim tekniği ile Endüstri 4.0 teknolojileri arasındaki ilişki Çizelge 4.2 de verilmiştir. Arasındaki ilişkinin değerlendirilmiş ve öneriler verilmiştir [48].

Çizelge 4.2. Yalın üretim ve Endüstri 4.0'ın ilişkisi.

	Veri Analitiği	Gömülü Sistemler	Robotik Sistemler	Endüstriyel İnternet	Bulut Sistemleri	Simülasyon	Sanal ve Arttırılmış Gerçeklik	Ekllemeli Üretim	Siber Güvenlik	Sensörler	RFID-RTLS Teknolojileri	Mobil Teknolojiler
Jidoka	X		X	X						X		X
Tam Zamanında Üretim				X	X			X	X		X	
Toplam Üretken Bakım	X			X		X	X			X	X	X
Kanban										X	X	X
Kaizen	X	X				X				X	X	
Sürekli Akış	X			X	X			X		X	X	X
Hüresel Üretim	X		X					X				
Heijunka	X	X	X									
Bilgisayarla Bütünleşik Üretim	X	X	X	X				X	X			X
SMED			X					X		X	X	
Poke-yoke										X		
Görsel Fabrika				X	X	X	X			X		X

Jidoka, dijitalleşmeyle gereksiz işgücünü azaltmak amacı ile tam otomasyona geçilmiştir. Tam zamanında üretim, çekme sistemine geçmesi ile endüstri 4.0 teknolojilerinden yararlanarak gerçek zamanlı veriler edilmesini sağlamıştır. Toplam üretken bakım, dijitalleşme ile simülasyon sistemlerinden ve sanal gerçeklerden yararlanır. Kanban sistemi, sinyallerin sensör ve mobil teknolojilerinden yararlanmasını sağlar. Kaizen, sistemlerin tam otomasyon sisteme geçmesini sağlayacak teknolojilerden destek alır.

Sürekli akış, devamlılık için teknolojilerden destek alır. Hücresel üretim, üretim sistemin kurulması için veri analitiğinden ve üretim sırasında robotik faaliyetlerden destek alır. Heijunka, üretimi düzgünleştirmek amacı ile robotik sistemlerden, veriler için ise veri analitiğinden destek alan yalın üretim tekniğidir. Bilgisayarla bütünleşik üretim, veri tabanının dijitalleşme ile entegrasyonun sağlanmasında kullanılır. SMED, ayar süresini azaltacak sistemlerden destek alır. Poke-yoke, hata yapmayı önleyecek tüm endüstri 4.0 teknolojilerinde yararlanır. Görsel fabrika, panolar, grafikler ve diyagramların daha dijitalleşmeye uygun kullanılması için endüstri 4.0 teknolojilerinden yararlanır [48].

Sonuç olarak kullanılan tüm yalın üretim teknikleri endüstri 4.0 ile entegrasyon sağlayarak aynı amaç doğrultusunda gelişim kaydetmiştir.

4.5. BAYES AĞI

Bayes ağı değişken koşullar için olasılıklı bir yaklaşım sağlayabilir ve riskleri modelleyebilir. Bu model iki bölümden oluşur. Birinci bölümü döngüsel olmayan ağı temsil eden grafikdir. İkinci bölüm ise değişkenler arasında koşullu olasılık dağılımını temsil eden parametrelerdir. Bayes ağına göre düğüm çiftleri arasındaki ilişki, karar vericilerin deneyimlerini özetleyen olasılık dağılımı biçiminde ifade edilir. Bayes ağ modeli için, $B = (V, E)$, burada V bir düğüm kümesini belirtir ve E , düğüm çiftleri arasındaki bir dizi yönlendirilmiş bağlantıyı ifade eder [51].

$$P(B/A)=(P(A/B)P(B))/(P(A)) \quad (3.15)$$

$P(A)$ A için olasılığı, $P(A/B)$ B'nin gerçekleşmiş olduğu yerde A'nın gerçekleşme olasılığını göstermektedir [52].

$$P(V)=P(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n)=\prod P(X_i | X_{pa}(X_i)) \quad (3.16)$$

$X_{pa}(X_i)$, X_i , $X_{pa}(X_i) \in V$ için üst düğümler kümesidir. i 'inci değişken için her koşullu olasılık dağılımı, $P(X_i | X_{pa}(X_i))$, p_i bir dizi koşullu olasılıktan oluşur [51].

$$p_i=P(x_i|x_{pa}(X_i)), i=1,2,\dots,I \quad (3.17)$$

x_i ve $x_{pa}(X_i)$ sırasıyla X_i ve $X_{pa}(X_i)$ 'ye atanan değerlerdir ve p_i , $X_{pa}(X_i) = x_{pa}(X_i)$ koşulu verildiğinde $X_i = x_i$ olasılığıdır [51].

Bayes ağı olasılıksal bir grafik modelidir. Yerleşim süreci bileşenlerini, ilgili risklerini ve bunların nedensel faktörlerini ve olasılıklarını temsil etmek için kullanılır. Bayes ağı inşası risk ve süreç haritalama yani kimlik belirleme ile başlar [52]. Bayes ağları,

sistematik olarak karar analizi ve senaryo aracı olarak kullanılır. Senaryo analizlerinin incelenmesinde önemli bir rol oynar. Belirsizlikler altında gözlemler ve uzman görüşleri ile karar parametrelerini değiştirerek planlarda performans artışı beklenir. Bayes ağının inşası iki aşamayı takip eder; nicel ve nitel aşama. Niteliksel aşamada, bir bilişsel yaklaşım, grafiklerin yapısını belirlemede kullanılır. Nicel ise bir alan bilgisine veya uzman fikirlerini yansıtan nedensel haritalara dayanmaktadır. Bayes haritası, alaka düzeyi ve nedenselliği temsil edecek şekilde ayarlandığında, sistem çeşitli durumların olasılığını vermiş olur [8].

Bayes ağları, bilgi ve belirsizliğin temsili ile işlenmesi için iyi belgelenmiş bir dizi avantaj sunar. Örneğin, Bayes ağlar insanlar tarafından anlaşılıp tasarlanabilir ve verilerden öğrenilebilir. Belirsizlik altında mantık yürütmek için gerçek zamanlı yetenekli algoritmalar mevcuttur. Ayrıca, Bayes ağları kullanılarak oluşturulan karar destek sistemleri geniş bir yelpazede karar stratejileri, açıklamalar ve çatışma analizleri gibi işlevsellikleri barındırır [53].

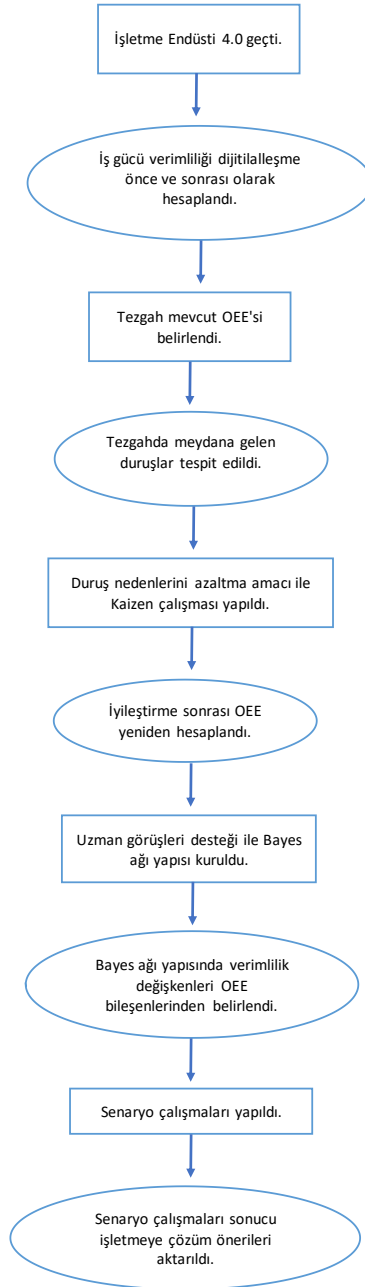
Bayes Ağları, koşullu bağımsızlığı tanımlamak ve olası nedensel sonuçları analiz etmek için rastgele değişkenler arasındaki etkili güçlü grafiklerdir. Bayes ağı elde etmek için sezgisel yöntemlerin güvenilir ve anlamlı bir model oluşturması adına uzman görüşlerinden yardım alınır [54].

Bayes ağı, mevcut yapının ve herhangi bir stratejik değişikliğin temel sonuçlarının gözlemlenmesine olanak tanıyan, karmaşık yapıları analiz etmeye yarar araçtır [55].

5. UYGULAMA

Otomotiv sektöründe yedek parça üreten bir firmanın montaj hattının Endüstri 4.0'a geçmesi sonucunda hattın verimliliğinin nasıl etkilendiği incelenmiştir.

Çalışmanın uygulama adımlarında,



Şekil 5.1. Çalışmanın akış şeması.

Bu çalışmadaki amaç işletmedeki iş gücü, makine donanımları daha verimli kullanmaktır. Otomotiv yedek parça üretimi yapan firmada rekabet ortamında yer edinebilmek, düşük maliyet ile üretim gerçekleştirirken de işgücü verimliliğini ve toplam ekipman etkinliğini artırmak amacı ile akıllı fabrika sistemine geçiş öncesi ve sonrası çıktıları ele alınmıştır. Bu çıktılar ile firmanın verimlilik analizleri incelenmiş ve verimlilik artışları kaydedilerek hatların güncel durumu ortaya konulmuştur.

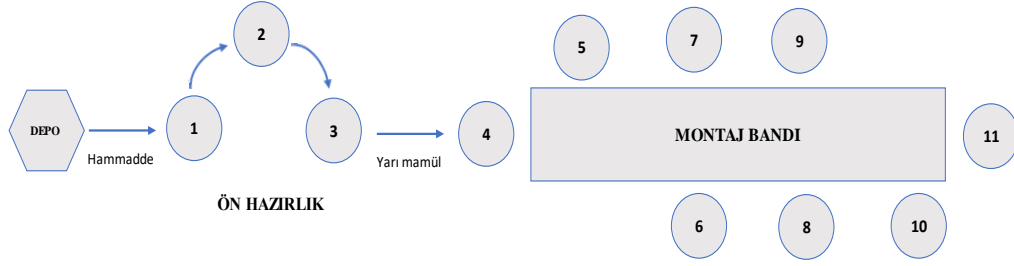
Bu çalışmada firmanın iş gücü verimliliğini hesaplamak için Kurosawa yöntemi kullanılmıştır. Çalışmadaki veriler 2018 yılı Ocak itibari ile başlayıp 2019 Aralık sonu itibari ile gözlenmiştir [56].

Firma içerisinde yer alan manuel hatlar otomasyon sistemine uyarlanmıştır. Manuel tezgâhlar için 2018 ve 2019 yılı, otomatik tezgâh için ise 2019 yılında ki günlük iş gücü verimlilikleri hesaplanmıştır. Toplam ekipman etkinliği için 2019 yılındaki mevcut durumu belirledikten sonra tezgâhta gerçekleşen duruşları azaltma çalışması yapılmıştır. Çalışmanın devamında 2020 senesinde ki durumu ile de kıyaslanmıştır. Verimliliğin artışını arttırmak için uzaman destekleri ile bayes ağı çalışması sonucu işletmeye çözüm alternatifleri sunularak tamamlanmıştır.

5.1. İŞ GÜCÜ VERİMİNİN HESAPLANMASI

Şirketin kullandığı ERP sisteminde günlük girilen müşteri siparişleri planlama departmanı tarafına iş emri talebi olarak düşmektedir. Bu talepler planlamacılar tarafından iş emri olarak sistemde hat bazında oluşturulmaktadır. Her bir kodun hangi hatlarda yapılacağı ilk numune çalışmaları ile sipariş girilmeden önce sisteme girilmektedir. Oluşturulan iş emri gerekli tezgâhlara planlanarak, günlük depolara iş emri olarak teslim edilir ve işler depo personelleri tarafından hazırlanır. Deponun hazırladığı işler alana geldikten sonra manuel hatlarda yapılacak ise ilk önce masa ön hazırlığı olarak adlandırılan alanda işleme alınır. Operasyon aşık yağlanarak başlar sonrasında aşık yatağa çakılır daha sonrasında sıvama operasyonu tamamlanır. Masa ön hazırlığı için 3 personel bu işlemleri tamamlar. 8 istasyonlu montaj bandına gelen ürün için 11 masa personeli tarafından montajlama işlemini gerçekleştirilir. Hattın iş akışı Şekil 5.2 de detaylı olarak gösterilmiştir.

MAUNEL MONTAJ HATTI

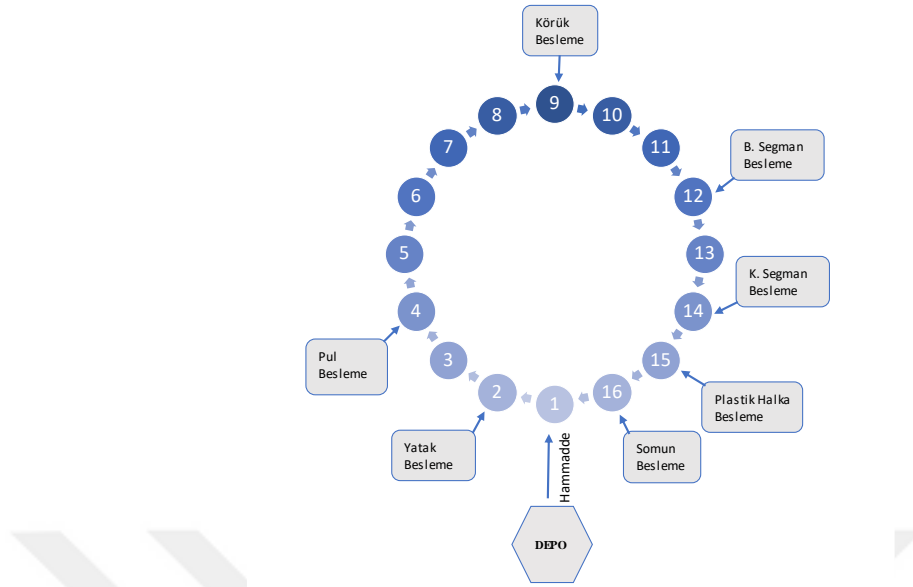


1. İstasyon	Aşık Yağlama	5. İstasyon	Körük takma	9. İstasyon	Küçük segman takma
2. İstasyon	Aşığı yatağa çakma	6. İstasyon	Büyük çakma	10. İstasyon	Plastik segman ve somun takma
3. İstasyon	Aşık çakılan yatağı sıvama	7. İstasyon	Büyük çakma	11. İstasyon	Silme-regale dizme
4. İstasyon	Aşık dip kısmını yağlama	8. İstasyon	Körük İndirgeme		

Şekil 5.2. Manuel montaj hattı iş akış şeması.

Otomatik hatta ise depo personeli tarafından hazırlanan işler alana bırakılır otomatik montaj makinesinin destek elemanı tarafından hatta ait olan 7 besleme ünitesi doldurulur. O sırada tezgâhta ki operatör gelen iş için makine ayarlamalarını gerçekleştirir ve ayarı tamamlanan tezgâh, operatör tarafından ilk istasyon adımı olan gövdeyi yerleştirerek başlatılır. Manuellerde yapılması gereken tüm adımları otomatik hat robotik sistem üzerinden istasyonlarda devam eder ve daha sonra tüm operasyonlarını tamamlanan ürünler çıkış hattından, tezgâh dışına konveyör sistemi ile sonlandırılır. Destek eleman yağını temizleyerek kasalara yerleştirir. Otomatik hat iş akışında 2 personel yeterli olmaktadır. Otomatik hattın iş akışı Şekil 5.3 de detaylı olarak gösterilmiştir.

OTOMATİK MONTAJ HATTI



1. İstasyon	Ürün yükleme	6. İstasyon	Gövdeyi 180 derece çevirme	11. İstasyon	Körük besleme -2	16. İstasyon	Somun takma
2. İstasyon	Aşık yağlama-Aşık besleme	7. İstasyon	Salınım kontrol	12. İstasyon	Büyük alt segman takma	17. İstasyon	Tahliye
3. İstasyon	Gövdeye yataklı aşık çakma	8. İstasyon	Aşık dip kısmını yağlama	13. İstasyon	Sızdırmazlık kontrolü		
4. İstasyon	Pul besleme	9. İstasyon	Körük (toz lastiği) koniği	14. İstasyon	Küçük alt segman takma		
5. İstasyon	Pres ile sıvama	10. İstasyon	Körük besleme -1	15. İstasyon	Plastik halka takma		

Şekil 5.3. Otomatik montaj hattı iş akış şeması.

Dijitalleşme ile 17 personelin yapması gereken iş yükü 2 personele indirgenmiştir. Fakat firmada manuel tezgah ile üretim yapılması durdurulmamıştır. Stratejik olarak sipariş adedi yüksek olan ürünlerin otomatik tezgahla yapılması, sipariş adedi düşük lotlara sahip ürünlerin ve çok tip ayar gerektiren işlerin ise manuel tezgahlarda devam etmesi kararı ile 2018 yılında tüm ürün tiplerinin manuel hatlarda üretildiği, 2019 yılında ise alınan karar doğrultusunda ürünlerin hat bazlı planlanarak üretim yapıldığı hali ile hesaplanmıştır.

Oranlarla İşgücü Modelin hesaplamasında izlenen yollar;

- Toplam Adam Saat (LR)

Analiz yapılacak montaj bandında çalışan sayısı belirlendi. Firmanın belirlediği çalışma saati 7,5 saat baz alındı. Üretime katkıda bulunduğundan fazla mesai ve izin/rapor adam saat üzerinden hesaplandı.

$$LR = (\text{Toplam çalışan sayısı} * 7,5) + \text{Fazla Mesai}(\text{adam/saat}) - \text{İzin/Rapor}(\text{adam/saat}) \quad (5.1)$$

- Standart Adam Saat (LS)

$$LS = \frac{\text{Üretilen Parça Adedi}}{(\text{İşçilik Süresi/Ekip Sayısı})} \quad (5.2)$$

İşçilik süresi ve ekip sayısı arge tarafından belirlenen ERP sisteminde işlenen hazır veriler kullanılmıştır. Arge bu süreleri kronomentaj yönteminden destek alarak en optimal süreye göre belirlemiştir.

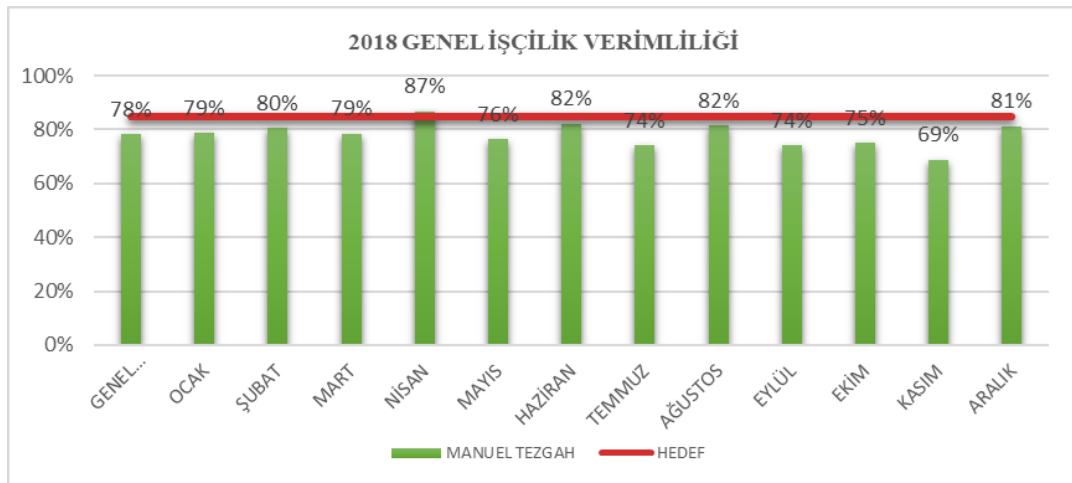
- Genel Süreç Verimliliği % (PG)

$$PG = LS / LR \quad (5.3)$$

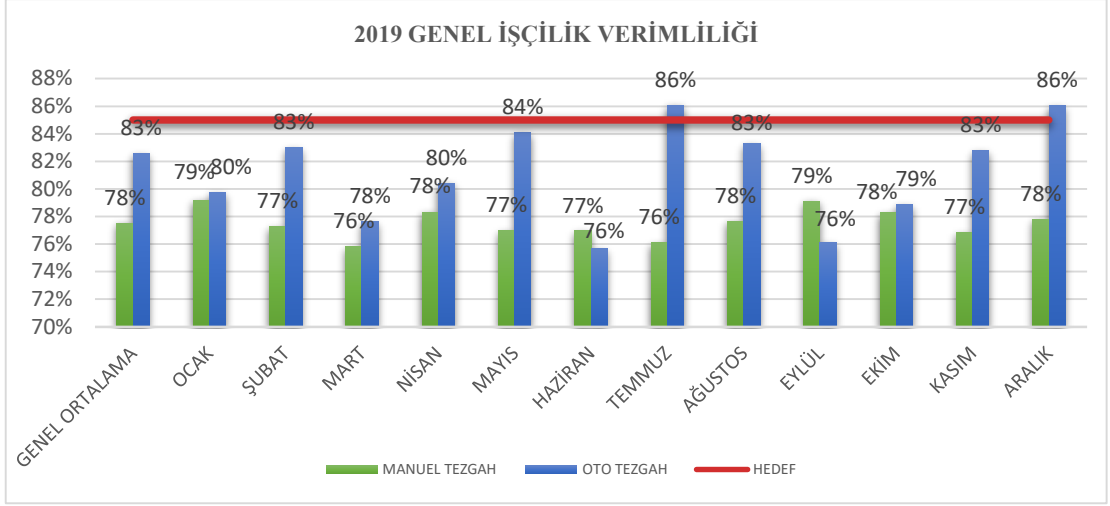
Standart adam saati toplam adam saate bölümünden elde edilen yüzde istenen hattın verimliliğini vermektedir.

Kurosawa modelinde yer alan toplam adam saat 7,5 saat üzerinden hesaplanmıştır. 3 vardiya çalışan bu hatlar için personeller 08/16:00, 16/00:00 ve 00/08:00 düzeninde 8 saatlik çalışma diliminde 30 dakika yemek molası vermektedir. Firmanın aldığı karar doğrultusunda 10 dakikalık çay molası hesaplanan standart zamandan düşmemektedir. İş analizi departmanı standart adam saati hesaplarken işçilik süresi ve ekip sayısı belirlemede REFA (devlet iş zamanları belirleme komisyonu) iş ve zaman etüdü sistemi kullanmıştır.

Bu bilgiler ışığında hatların verimlilikleri Şekil 5.4 ve Şekil 5.5 de belirtilmiştir.



Şekil 5.4. 2018 Yılı manuel genel işçilik verimliliği.



Şekil 5.5. 2019 Yılı manuel ve otomatik genel işçilik verimliliği.

Çıkan sonuçlar doğrultusunda 2018 yılı ve 2019 yılı manuel tezgâhlardaki genel iş gücü verimliliği %78 olarak aynı seyrederken 2019 yılı içerisinde otomatik hattın devreye alınması ile hat verimliliği %83'e ulaşmıştır.

Çıktılar sonucunda 17 personel ile çalışan hat 2 personele düşmüş, verimlilik ise %78'den %83'e ulaşmıştır.

5.2. MEVCUT DURUM ANALİZİ

Çalışmanın ilk adımı olan mevcut durum ortaya konulmuştur. Hattın Endüstri 4.0'a geçmeden önceki ve geçtikten sonraki iş gücü verimliliği ve durum kıyaslamaları belirlenmiştir. Bu adımdaki veriler 2018-2019 yılını kapsamaktadır. Çizelge 5.1 de belirttiği üzere hattın otomasyona geçmesi ile iş gücü verimliliği 0,78'den 0,83'e ulaşmıştır. Fakat şirket hedefi dünyaca kabul edilen %85 hedefi yakalamaktır [39].

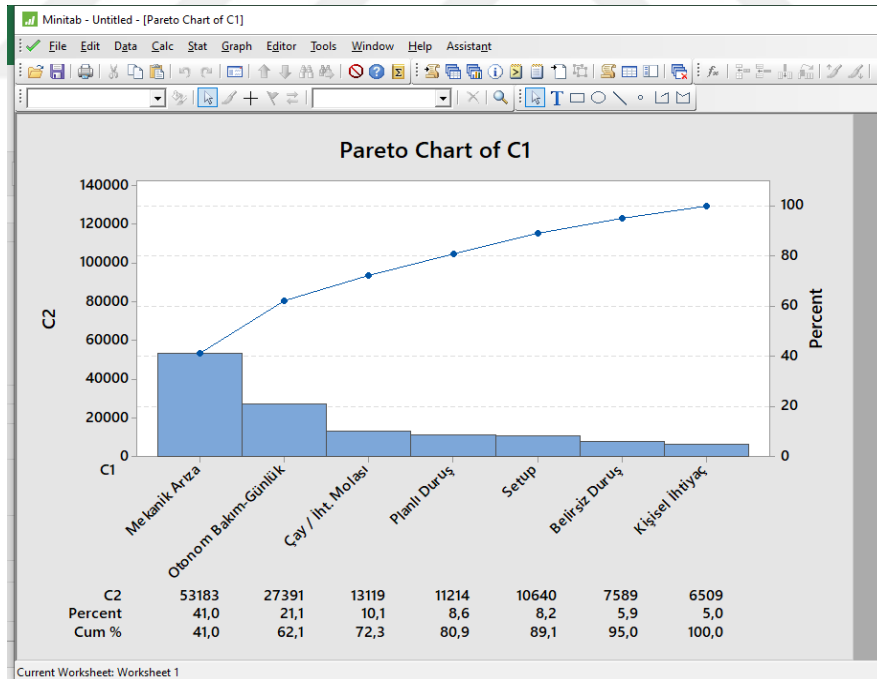
Çizelge 5.1. Manuel ve otomatik tezgah karşılaştırılması sonuçları.

Durum	Manuel Tezgâh	Otomatik Tezgâh
İş gücü verimliliği	0,78	0,83
Personel Sayısı	17	2
Sipariş miktarı	Küçük miktarda siparişler üretilecek	Büyük sipariş miktarda üretilecek
Ürün tipi	Her model çalışabilir	Her model tipini çalışamaz
Tezgâh maliyeti	Tezgâh yatırım maliyeti düşük	Tezgâh yatırım maliyeti yüksek

5.3. DİJİTALLEŞME SONRASI HATTA İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI

Dijitalleşme sonrasında hatta verimlilik artışı meydana gelmiş ama istenilen hedefte ulaşamadığı için tezgâhın performansını etkileyen tezgah duruşları ele alınmıştır. Dijitalleşme sonrasında otomatik hattın durumu için 2019 yılındaki tüm duruş detayları incelenmiştir. Duruş kodlarının analiz edilmesinin amacı TEE etkileyen performans bileşeninin artışı sağlamaktır. Eğer duruşlar azaltılır ise gerçekleşen üretim adedi artar ve performansta artış meydana gelir ve sonuç olarak TEE artar. Bu duruş kodları firmanın andon sistemlerinden rapor olarak günlük, aylık, yıllık veya istenilen tarih aralığında pratik bir biçimde alınabilmektedir. Akıllı fabrika sistemine geçişte kullanılan andon programları üretimin anlık olarak takip edilebilmesini, geçmişe dönük raporlara hızlıca ulaşabilmesini sağlamaktadır [57].

Duruş verileri Andon sistemi içerisinde bulunan hızlı rapor gezgininden çekilmiştir. 2019 yılındaki tezgâhta tüm beklèmelerin duruş kodları dakika cinsinden minitab'a aktarılarak Şekil 5.6 da görüldüğü gibi Pareto grafiğı çizilmiştir. En yüksek %41'lik dilim mekanik arıza olduğu tespit edilmiştir.



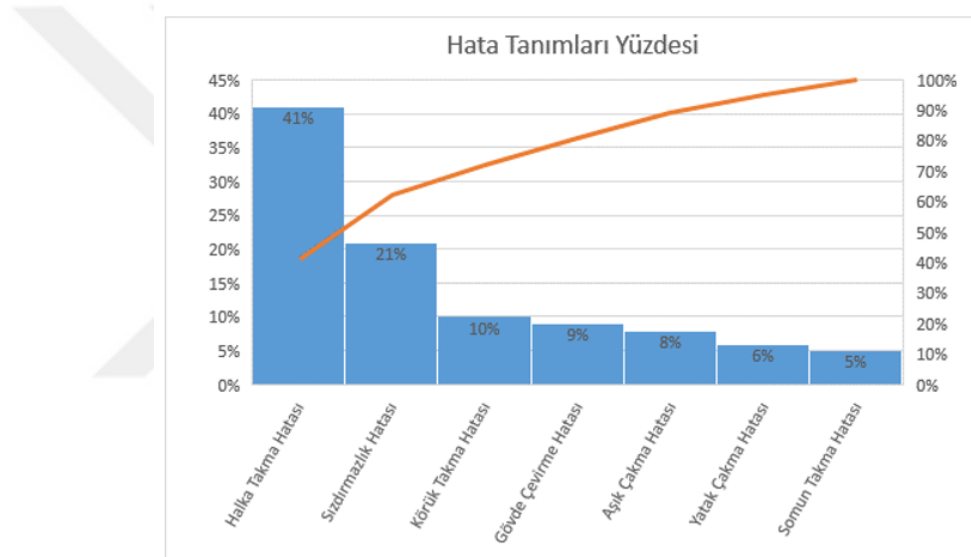
Şekil 5.6. Duruş pareto grafiğı.

En yüksek duruş koduna sahip olan mekanik arıza için 2019 yılında ay ölçeğinde tutulan hata tanımları ve duruş süre detayları Çizelge 5.2 de yer almaktadır.

Çizelge 5.2. Mekanik arıza detay duruş dakikaları.

Hata Tanımları	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	Genel Toplam
Halka Takma Hatası	1598	895	2568	4523	1222	5988	7569	5214	6589	6523	6984	3510	53.183
Sızdırmazlık Hatası	2500	1558	2569	2304	3580	4750	2680	1407	947	1731	1478	1887	27.391
Körük Takma Hatası	674	786	250	103	3442	2436	1001	1008	324	1210	1785	100	13.119
Gövde Çevirme Hatası	435	806	102	3156	147	842	2589	573	805	444	1080	235	11.214
Aşık Çakma Hatası	1143	857	558	876	2317	1000	759	950	985	359	247	589	10.640
Yatak Çakma Hatası	292	512	1563	1896	45	457	852	236	628	629	23	456	7.589
Somun Takma Hatası	250	650	581	336	560	458	782	456	564	394	1243	235	6.509

En yüksek hatanın halka takarken yaşandığı gözlenmiştir. Minitab’da elde edilen hataların duruş yüzdeleri Şekil 5.7 de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Hata tanım yüzde grafiği.

Verimliliğin artması adına yalın üretim tekniklerinden Kaizen metodu kullanılarak Çizelge 5.3 de yer aldığı gibi her duruş parametresi için aksiyon alınmıştır. Bu aksiyonlar sonucunda verimliliğinin %85'lere çıkacağı hedeflenmiştir. Duruşlar nedeni ile kaybedilen zamanın kazanılması amaçlanmıştır. Bu kazanımlar sayesinde gerçekleşen üretim adedinde de artış beklenmektedir.

Çizelge 5.3. Alınan önlemler ve etkileri.

Hata Kodu	Alınan Aksiyon	2019 yılı Kayıp (dk)	2020 Yılı Kayıp (dk)
Halka Takma Hatası	Konikleri yutması nedeniyle valfler değiştirildi.	12232,09	11060,945
Sızdırmazlık Hatası	Contalar değiştirildi	10636,6	4643,7811
Körük Takma Hatası	Çeneler aşındığından tezgah çeneleri değişti ve her aşındığında yavaşlama veya duruşlar meydana geldiğinden belli bir periyotta duruşa geçmeden çenelerin değişme kararı alındı.	10104,77	2996,2687
Aşık Çakma Hatası	Hava pistonlarından elektrikli pistona geçerek sistemin parametreleri elektronik olarak yapılması sağlanmıştır.	5850,13	1873,3831
Gövde Salınım Problemi	Merkezleme yaparak eksen kaçıklığının önüne geçildi.	7445,62	1025,6219

Dijitalleşme sonrası hattın performansını arttırmak ve gereksiz duruşları azaltmak amacıyla yalın çalışması yapılmıştır. İyileştirme sonucunda 2 nolu formül kullanılarak her hata kodu için performans yeniden hesaplanarak Çizelge 5.4 de gösterilmiştir. Yeni performansın nasıl hesaplandığını açıklamak gerekirse örneğin, gövde salınım problemi için yapılan merkezleme yöntemiyle eksen kaçıklığının önüne geçilerek günlük 16,9 dakikalık kazanç elde edilmiştir. Bu kazanç sonrası tezgâh günlük 1252 adet gerçekleştirebilir ve tezgâhın yapılabilir adedi 1350’dir. Tüm hata kodları için günlük adetler hesaplanmış ve yapılabilir adede bölünerek yeni performans hesaplanmıştır. Amaç her hata için iyileşme sağlanarak gerçekleşen üretim çıktısını arttırmaktır.

Çizelge 5.4. İyileştirmeler sonrasında hattın performansı.

Hata Kodu	2019-2020 Yılı İyileştirme Farkı (dk)	1 Günlük kazanç	Yapılabilir üretim Miktarı	Yeni gerçekleşen Üretim miktarı	Yeni Performans
Halka Takma Hatası	1171,14473	5,63050351	1350	1218,39151	0,90251223
Sızdırmazlık Hatası	1992,81891	9,58086012	1350	1230,24258	0,9112908
Körük Takma Hatası	3108,50134	14,944718	1350	1246,33415	0,92321048
Aşık Çakma Hatası	1876,74692	9,02282171	1350	1228,56847	0,91005072
Gövde Salınım Problemi	3519,99811	16,9230678	1350	1252,2692	0,92760682
Genel Performans		56,1019712	6750	6175,80591	0,91493421

Dijitalleşmeye geçtikten sonraki mevcut durum iyileşme öncesi ve otomatik hattın

duruşlarında Kaizen uygulandıktan sonraki süreç, iyileştirmeden sonrası durum olarak adlandırılmaktadır. Çizelge 5.5 de hattın iyileştirmeden önce ki ve iyileştirmeden sonra ki kullanılabilirlik, kalite ve performans çıktıları kıyaslanarak TEE'nin artışı gösterilmiştir. %80'lik duruş hatalarına uygulanan Kaizen çalışmaları istenilen hedefe ulaşılmasında başarı sağlamıştır.

Çizelge 5.5. Kaizen öncesi ve sonrası TEE hesaplaması.

Durum	Kullanılabilirlik	Performans	Kalite	TEE
İyileşme öncesi	93%	89%	100%	83%
İyileşme sonrası	93%	91%	100%	85%

5.4. BAYES AĞI MODELİ

İşletmenin otomasyona geçişiyle sistemde ortaya çıkan belirsizlikler için literatürde en yaygın kullanılan tahmin yöntemi olan Bayes ağı yapısı tercih edilmiştir. Çalışmanın üçüncü aşamasında, iyileştirmeler sonrasında tezgâh verimliliğinin %85'den yukarı çıkabilmesi için 4 uzman görüşü ile karar verme olasılıksal senaryoları oluşturularak ilenmiştir. Bu model, TEE bileşenlerinin temeli olan performans, kalite ve kullanılabilirliği artırabilecek çözüm alternatifleri ve kullanılacak kaynaklar arasındaki ilişkiler üzerine kurulmuştur. Çalışma üzerinde görüşlerinden destek alınacak uzmanlar akademisyen, planlama mühendisi, metot mühendisi ve üretim grup liderinden seçilmiştir.

Bayes ağı oluşturulurken Netica programı kullanılmıştır. Program, inanç ağları ve etki diyagramları ile çalışabilmek ve çeşitli türden çıkarımlar yapabilmek için en hızlı ve en modern algoritmaların kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Program bilinmeyen değişkenlere en uygun olasılıkları bulacaktır [58].

Bayes ağı modeli 6 kaynak değişkeni, 5 çözüm değişkeni ve 3 verimlilik değişkeni üzerinden oluşturulmuştur.

Çalışmamızın bu aşamasında amacımız TEE'nin nasıl yükselebileceği üzerindeki olası durumlar için uzman görüşlerini almaktır. Bu görüşler sonrasında işletmeye tavsiye senaryolarının aktarılmasıdır.

Bayes ağı yapısı kurulurken değişkenler için en önemli rol TEE bileşenleridir. Toplam ekipman etkinliğini arttırmak amacı ile kurulan ağ yapısının en önemli bileşeni verimlilik değişkenidir. Çünkü verimlilik değişkeni TEE parametreleridir.

Verimlilik değişkenleri;

Performans, tezgâh da saatlik üretim adedinin artırılması ile ölçülen değişkendir. TEE'yi arttıracak parametre olduğundan dolayı seçilmiştir. Kalite, tezgâhın istenilen ölçülere uygun parça sayısına bağlı TEE göstergesi olduğundan seçilmiştir. Kullanılabilirlik ise çalışma süresinin en verimli şekilde kullanarak aktif çalışma süresinin artırılmasını sağlamak amacı ile seçilmiştir.

Kaynak değişkenleri:

Bütçe, Firma içerisinde belirlenen mali kaynaktır. Tezgâh için planlanan durumları doğrudan etkilediği için seçilmiştir. Ekipman, tezgâh için gerekli olan gereçlerdir. Tezgâh robotik olduğundan farklı ürünleri yapabilmek için özel aparatlara ihtiyaç duyar ve bu sebepten dolayı kaynak değişkeni olarak seçilmiştir. Teknoloji ise Endüstri 4.0'a geçiş ile kurulan otomasyon sistemiyle çalışan tezgâh için teknoloji vazgeçilmez bir ihtiyaç olması nedeni ile seçilmiştir. İnsan kaynakları, robotik sistem olan tezgâhta çalışabilecek kalifiyeli personellere ihtiyaç duyulması ile seçilmiştir. Planlama tezgâhta yapılacak olan işlerin hangi sıra ve miktarla yapılması gerektiğine karar veren bölümdür. Tezgâhın direk verimliliği üzerinde müdahalesi olduğu için kaynak değişkeni olarak seçilmiştir. Bakım, tezgâh için yapılması gereken bakımlar en önemli değişken olduğundan seçilmiştir.

Çözüm değişkenleri:

Personel eğitimleri, tezgâhın daha verimli kullanılabilmesi için personele verilen eğitimin TEE'yi arttıracığı ön görüldüğü için seçilmiştir. Yeni aparat yaptırma, tezgâhın her modeli yapabilmesi veya aktif yaptığı modellerin aparatlarında yıpranma oldukça yenilenmesi durumunun TEE'yi arttıracığı ön görüldüğü için seçilmiştir. Doğru üretim planlama, tezgâha planlanan işlerin hem müşteriye zamanında teslimat göz önüne alarak hem de tezgâhın yapacağı işlerde daha az ayara girecek şekilde planlamak verimliliği arttıracığından seçilmiştir. Periyodik bakım, tezgâh da daha büyük arızalar meydana gelmemesi adına tezgâh üzerinde yapılan periyodik bakımdır. Verimliliği direk etkilediği için çözüm değişkeni olarak seçilmiştir. Otomasyon kullanma, tezgâh robotik sistem olsa da besleme üniteleri manuel'dir. Besleme ünitelerinde otomasyona geçmesi ile verimlilik daha da artacaktır.

Çizelge 5.6 da verimliliği arttırmak amacıyla dar boğaz değişkenleri belirlenirken, toplam ekipman etkinliğini etkileyen parametrelere dayandırılmıştır. Toplam ekipman etkinliğini etkileyen parametreler kalite, performans ve kullanılabilirliktir. 2 no’lu formülde belirtildiği gibi performansı doğrudan etkileyen bileşen üretim adedi, 3 no’lu formülde yer alan kalite bileşenini etkileyen kalitesiz ürün sayısı ve 1 no’lu formülde yer alan kullanılabilirlik ise çalışan süre zaman olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 5.6. Verimlilik değişkenleri.

Verimlilik Değişkenleri			
Performans	Fiili üretim çıktısı gerçekleşen üretim adedi iken planlanan çıktı tezgâh başına belirlenen potansiyele bağlıdır.	YÜKSEK	Verimlilik artışı
		DÜŞÜK	Verimlilik artışı
Kalite	Ret edilen adede bağlıdır.	YÜKSEK	Verimlilik artışı
		DÜŞÜK	Verimlilik artışı
Kullanılabilirlik	Kullanılan zamana bağlıdır	YÜKSEK	Verimlilik artışı
		DÜŞÜK	Verimlilik artışı

Çizelge 5.7 de verimliliği arttırmak için gerekli olan kaynak değişkenleri belirlenmiştir. Kaynak değişkenleri seçilirken üretim adedi arttırmak, kalitesiz ürün sayısını azaltmak ve çalışılan süreyi arttıracak değişkenler belirlenmiştir.

Çizelge 5.7. Kaynak değişkenleri.

KAYNAK DEĞİŞKENLERİ			
BÜTÇE	İşletmenin tüm gelir ve giderlerinin temsilidir.	ARTAR	Bütçe verimlilik artma olasılığı.
		AZALIR	Bütçe verimlilik azalma olasılığı.
EKİPMAN	Tezgah için gerekli olan araç gereçlerdir.	ARTAR	Ekipman verimlilik artma olasılığı.
		AZALIR	Ekipman verimlilik azalma olasılığı.
TEKNOLOJİ	Tezgah sisteminin tüm istasyonları ile otomasyon sistemiyle çalışması	ARTAR	Teknoloji verimlilik artma olasılığı.
		AZALIR	Teknoloji verimlilik azalma olasılığı.
İNSAN KAYNAKLARI	İşe uygun personel alımı ve alınan personellerin gerekli eğitimlerinin takip edilmesi	ARTAR	İnsan kaynakları verimlilik artma olasılığı.
		AZALIR	İnsan kaynakları verimlilik azalma olasılığı.
PLANLAMA	Hatta verilen işlerin akışları	ARTAR	Planlama verimlilik artma olasılığı.
		AZALIR	Planlama verimlilik azalma olasılığı.
BAKIM	Tezgahın arızalanması durumunda ki yapılacak tüm tamir işlemleri	ARTAR	Bakım verimlilik artma olasılığı.
		AZALIR	Bakım verimlilik azalma olasılığı.

Çizelge 5.8 de çözüm değişkenleri gösterilmiştir. Çözüm değişkenleri, seçilen kaynakları kullanarak verimliliği arttıracığı düşünülen değişkenlerden belirlenmiştir.

Çizelge 5.8. Çözüm değişkenleri.

ÇÖZÜM DEĞİŞKENLERİ			
Personel Eğitimleri	Tezgah ile ilgili gerekli eğitimlerin verilmesidir.	YAP	Personele eğitim yap
		YAPMA	Personele eğitim yapma
Yeni Aparat Yaptırma	Bozulan veya eskiyen aparatları yaptırmak	YAP	Yeni aparat yaptır
		YAPMA	Yeni aparat yaptırma
Doğru Üretim Planlama	Aynı tip ürün grıplarını bir araya gelecek şekilde üretimi planlamak	YAP	Doğru üretim planlama yap
		YAPMA	Doğru üretim planlama yapma
Periyodik Bakım	Düzenli olarak makine arıza vermden gerekli bakımları yaptırma	YAP	Periyodik bakım yap
		YAPMA	Periyodik bakım yapma
Otomasyon Kullanma	Personelelrin müdahale ettikleri noktalarıda otomasyona geçirme	YAP	Otomasyon kulan
		YAPMA	Otomasyon kulanma

Bayes ağı yapısı verimlilik değişkeni, kaynak değişkeni ve çözüm değişkeni ile Şekil 5.8 de belirtilen yapıda kurulmuştur.



Şekil 5.8. Bayes ağı öncül yapısı.

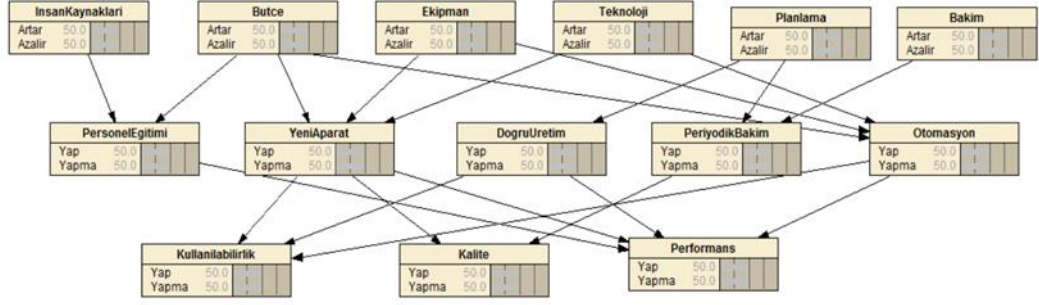
Bayes ağının yapısı oluşturulduktan sonra değişkenler arasındaki ilişki değerlendirme için ikili matrisler oluşturulmuştur. Bu ikili matrislerde Çizelge 5.9 da ele alınan kaynak ve çözüm değişkenleri, Çizelge 5.10 da ise çözüm ve verimlilik matrisleridir. Bu matrisler çalışmaya ait satır ve sütunlarda yer alan değişkenler arasında doğrudan ilişki var ise “1” olarak, ilişki yok ise “0” ve eğer değişkenler arasında ters orantılı ilişki var ise “-1” şeklinde yorumlanabilmesi için oluşturulmuştur.

Çizelge 5.9. Kaynak ve çözüm değişkenleri matrisi.

	Bütçe	Ekipman	Teknoloji	İnsan Kaynakları	Planlama	Bakım	Personel Eğitimleri	Yeni Aparat Yaptırma	Doğru Üretim Planlama	Periyodik Bakım	Otomasyon Kullanma
Bütçe	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1
Ekipman	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1
Teknoloji	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1
İnsan Kaynakları	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
Planlama	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0
Bakım	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
Personel Eğitimleri	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
Yeni Aparat Yaptırma	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0
Doğru Üretim Planlama	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
Periyodik Bakım	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0
Otomasyon Kullanma	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1

Çizelge 5.10. Çözüm ve verimlilik değişkenleri matrisi.

	Personel Eğitimleri	Yeni Aparat Yaptırma	Doğru Üretim Planlama	Periyodik Bakım	Otomasyon Kullanma	Kullanılabilirlik	Kalite	Performans
Personel Eğitimleri	1	0	0	0	0	0	0	1
Yeni Aparat Yaptırma	0	1	0	0	0	1	1	1
Doğru Üretim Planlama	0	0	1	0	0	1	0	1
Periyodik Bakım	0	0	0	1	0	0	1	0
Otomasyon Kullanma	0	0	0	0	1	0	0	1
Kullanılabilirlik	0	1	1	0	1	1	0	0
Kalite	0	1	0	1	0	0	1	0
Performans	1	1	1	0	1	0	0	1



Şekil 5.9. Bayes ağı.

Değişken matrisleri Netica programına aktarıldıktan sonra Şekil 5.9 da yer alan ağ ortaya çıkmıştır. Uzmanlardan destek alınarak 3 aşamalı anket çalışması yapılmış ve sonuçlar Netica programına girilmiştir. Bu anket aşamaları sırası ile kaynak değişkeni, çözüm değişkeni ve verimlilik değişkenleri üzerinde yapılmıştır.

Kaynak değişkenleri için artar ve azalır durumlar uzman kişi ile belirlenerek Çizelge 5.11 de gösterildiği gibi elde edilmiştir.

Çizelge 5.11. Kaynak değişkenleri anket sonucu.

Kaynaklar	Durumlar	Olasılıklar
BÜTÇE	Artar	85
	Azalır	15
	Toplam	100
EKİPMAN	Artar	70
	Azalır	30
	Toplam	100
TEKNOLOJİ	Artar	66
	Azalır	34
	Toplam	100
İNSAN KAYNAKLARI	Artar	65
	Azalır	35
	Toplam	100
PLANLAMA	Artar	75
	Azalır	25
	Toplam	100
BAKIM	Artar	55
	Azalır	45
	Toplam	100

Çizelge 5.12 de uzman değerlendirmeleri ile hazırlanan çözüm değişkeni anketinde kaynakları arttırma veya azaltma durumu değerlendirilirken, çözüm değişkeni için uygulama yap veya yapma olasılıklarını 100'e tamamlayacak şekildeki uzmanlar

değerlendirmiştir.

Çizelge 5.12. Çözüm değişkenleri anket sonucu.

Kaynaklar	Durumlar	Personel Eğitimleri			Yeni Aparat Yaptırma			Doğru Üretim Planlama			Periyodik Bakım			Otomasyon		
		Yap	Yapma	Toplam	Yap	Yapma	Toplam	Yap	Yapma	Toplam	Yap	Yapma	Toplam	Yap	Yapma	Toplam
Bütçe	Artar	80	20	100	85	15	100							95	5	100
	Azalırlr	50	50	100	20	80	100							20	80	100
Ekipman	Artar				70	30	100							60	40	100
	Azalırlr				60	40	100							40	60	100
Teknoloji	Artar				55	45	100							75	25	100
	Azalırlr				40	60	100							65	35	100
İnsan Kaynakları	Artar	95	5	100												
	Azalırlr	45	55	100												
Planlama	Artar							60	40	100	65	35	100			
	Azalırlr							40	60	100	60	40	100			
Bakım	Artar										70	30	100			
	Azalırlr										45	55	100			

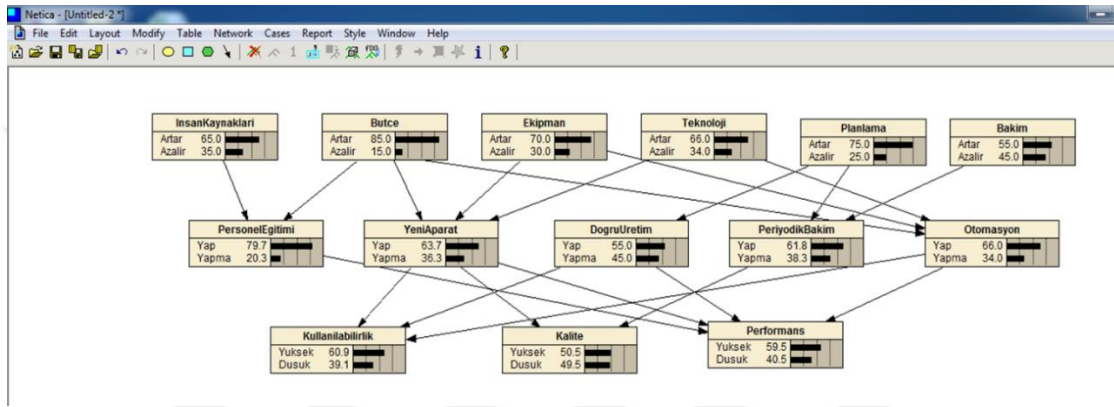
Çizelge 5.13 de yapılan verimlilik değişkeni anketinde çözüm değişkenleri için yap veya yapma durumu değerlendirilirken verimlilik değişkeni için yüksek düşük olasılıklarını 100'e tamamlanacak şekildeki anket sonucunu verir.

Çizelge 5.13. Verimlilik değişkenleri anket sonucu.

Çözüm	Durumlar	Kullanılabilirlik			Kalite			Performans		
		Yüksek	Düşük	Toplam	Yüksek	Düşük	Toplam	Yüksek	Düşük	Toplam
Personel Eğitimleri	Yap							65	35	100
	Yapma							45	55	100
Yeni Aparat Yaptırma	Yap	70	30	100	55	45	100	85	15	100
	Yapma	40	60	100	45	55	100	20	80	100
Doğru Üretim Planlama	Yap	85	15	100				55	45	100
	Yapma	35	65	100				45	55	100
Periyodik Bakım	Yap				55	45	100			
	Yapma				40	60	100			
Otomasyon	Yap							80	20	100
	Yapma							55	45	100

5.4.1. Durum Senaryoları

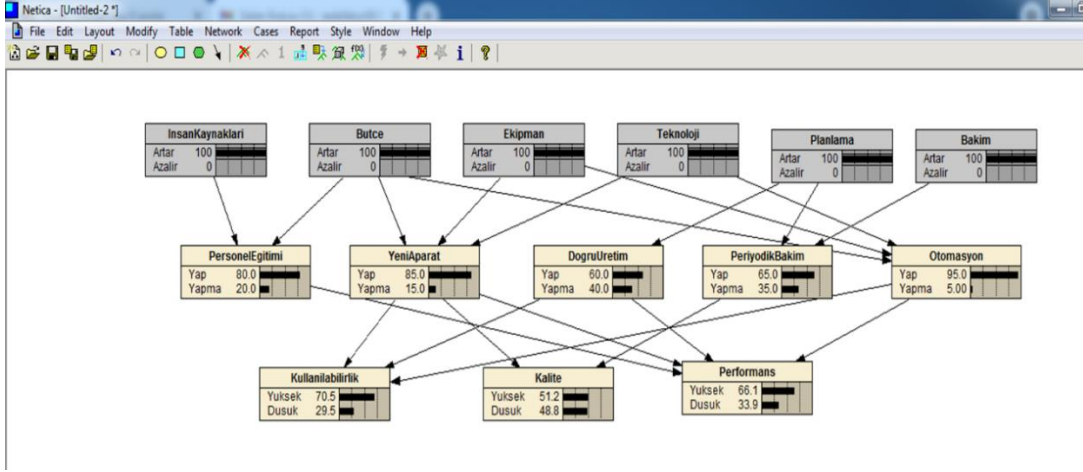
3 Aşamalı uzman değerlendirmeleri tamamlandıktan sonra Netica programına aktarılmış ve Şekil 5.10 da yer alan durum senaryosu elde edilmiştir. Elde edilen anket sonucunda verimliliği arttırma sorunu için kullanılabilirliğin yüksek olasılığı %60,9, kullanılabilirliğin düşük olasılığı %39,1, kalite yüksek olasılığı %50,5, kalite düşük olasılığı 49,5 ve performans için yüksek olasılığı %59,5 performans düşük olasılığı %40,5 sonucuna ulaşılmıştır. Kurulan model ile alınan değerlendirmeler sonucunda mevcut durum için verimliliğin artma olasılığı yüksek çıkmıştır.



Şekil 5.10. Anket sonucuna göre mevcut durum.

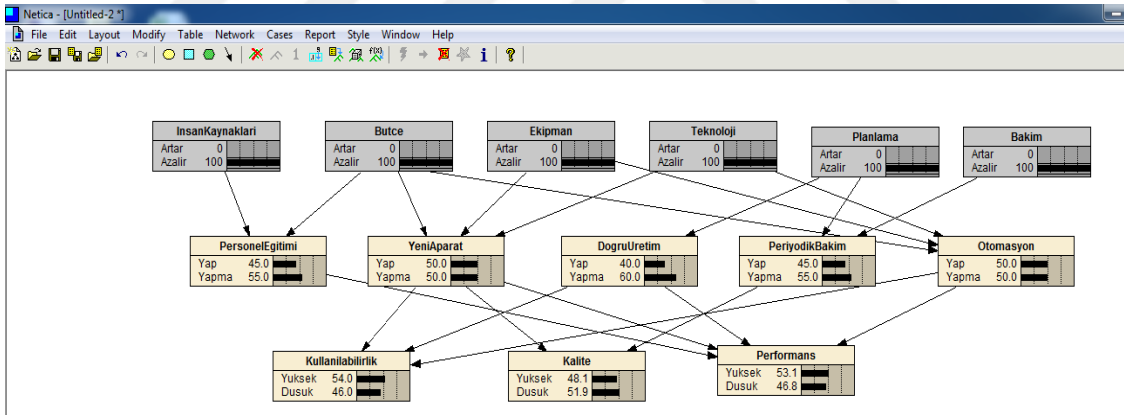
Mevcut durum üzerinden kaynaklar değişkenleri için en iyi durum ve en kötü durum senaryo analizleri için Netica programında Şekil 5.11 ve Şekil 5.12 de ki durumlar elde edilmiştir.

Şekil 5.11 de en iyi senaryoya göre verimlilik artışı için kullanılabilirliğin yüksek olasılığı %70,5 düşük olasılığı %29,5, kalite yüksek olasılığı %51,2 düşük olasılığı 48,8 ve performans için yüksek olasılığı %66,1 düşük olasılığı %33,9 sonucuna varılmıştır. En iyi senaryoya göre verimliliğin artacağını göstermektedir.



Şekil 5.11. Kaynak değişkenine göre en iyi durum senaryosu.

Şekil 5.12 de en kötü senaryoda verimlilik artışı için kullanılabilirliğin yüksek olasılığı %54 düşük olasılığı %46, kalite yüksek olasılığı %48,1 düşük olasılığı 51,9 ve performans için yüksek olasılığı %53,1 düşük olasılığı %46,8 sonucuna varılmıştır. Bu sonuç gösteriyor ki en kötü durum senaryosunda mevcut duruma göre verimlilik artışında düşüş yaşanacaktır.



Şekil 5.12. Kaynak değişkenine göre en kötü durum senaryosu.

Çizelge 5.14 de mevcut durum, en iyi durum senaryosu ve en kötü durum senaryosu için çıkan sonuçlar bir arada gösterilmiştir.

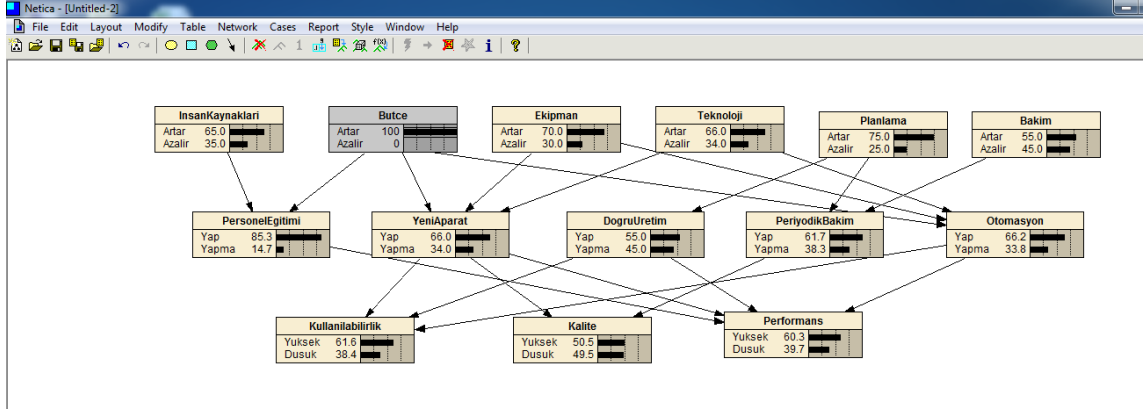
Çizelge 5.14. Mevcut durum, en iyi durum ve en kötü durum senaryosu.

Kaynak Değişkeni	Mevcut Durum Anket Çalışması		En İyi Durum Senaryo		En Kötü Durum Senaryo	
	Artar	Azalı	Artar	Azalı	Artar	Azalı
Bütçe	85	15	100	0	0	100
Ekipman	70	30	100	0	0	100
Teknoloji	66	34	100	0	0	100
İnsan Kaynakları	65	35	100	0	0	100
Planlama	75	25	100	0	0	100
Bakım	55	45	100	0	0	100
Çözüm Değişkeni	Mevcut Durum Anket Çalışması		En İyi Durum Senaryo		En Kötü Durum Senaryo	
	Yap	Yapma	Yap	Yapma	Yap	Yapma
Personel Eğitimleri	79,7	20,3	80	20	45	55
Yeni Aparat Yaptırma	63,7	36,3	85	15	50	50
Doğru Üretim Planlama	55	45	60	40	40	60
Periyodik Bakım	61,8	38,3	65	35	45	55
Otomasyon Kullanma	66	34	95	5	50	50
Verimlilik Değişkeni	Mevcut Durum Anket Çalışması		En İyi Durum Senaryo		En Kötü Durum Senaryo	
	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük
Kullanılabilirlik	60,9	39,1	70,5	29,5	54	46
Kalite	50,5	49,5	51,2	48,8	48,1	51,9
Performans	59,5	40,5	55,1	33,9	53,1	46,8

5.4.2. Duyarlılık Analizi

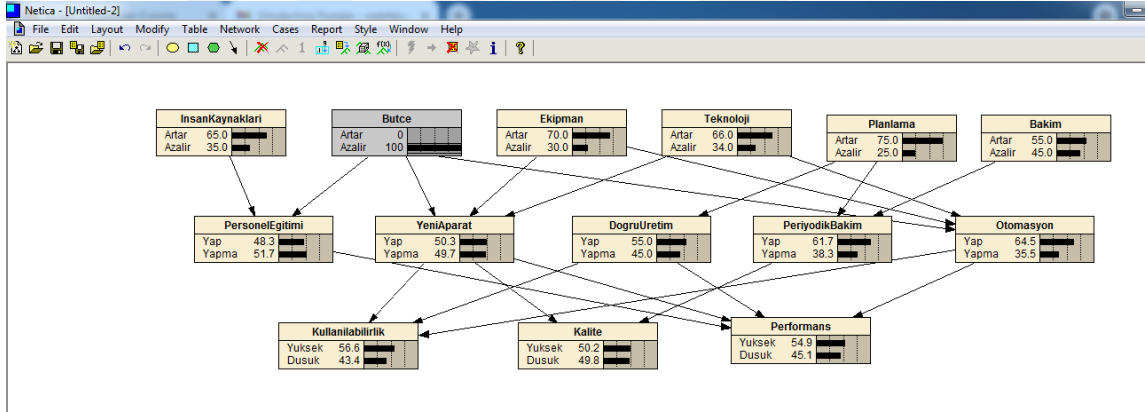
Modelin verimlilik üzerinde ki duyarlılığı için farklı değişken durumları seçilerek değişimleri gözlemlenecektir. Bu aşamada kaynak değişkeni olarak bütçe, çözüm değişkeni olarak yeni aparat yaptırma ve verimlilik değişkeni olarak performans seçilmiştir. Verimlilik artışını en çok etkileyen değişkenler olduğu düşünülerek belirlenmiştir.

Duyarlılık analizi ilk önce bütçe için yapılmıştır. Şekil 5.13 de bütçe için artma olasılığı %100 baz alınarak Netica programında ağ üzerinde gösterilmiştir. Buna göre bütçe için en iyi senaryoda kullanılabilirliğin yüksek olasılığı %61,6 ve düşük olasılığı %38,4'dür. Bütçe için en iyi senaryoda kalite yüksek olasılığı %50,5 ve düşük olasılığı 49,5'dir. Bütçe için en iyi senaryoda performans için yüksek olasılığı %60,3 ve düşük olasılığı %39,7 olarak gözlemlendi. Mevcut durum için verimliliğin, kullanılabilirlik ve performans artma olasılığı yüksektir, kalite için mevcut durum olasılığı değişmemiştir.



Şekil 5.13. Bütçe için en iyi senaryo.

Şekil 5.14 de bütçe azalma olasılığı için duruma bakıldığından kullanılabilirliğin yüksek olasılığı %56,6 düşük olasılığı %43,4, kalite yüksek olasılığı %50,2 düşük olasılığı 49,8 ve performans için yüksek olasılığı %54,9 düşük olasılığı %45,1 sonucuna ulaşılmıştır. Sonuç verimlilik artışında düşüş yaşanacağını göstermektedir.



Şekil 5.14. Bütçe için en kötü senaryo.

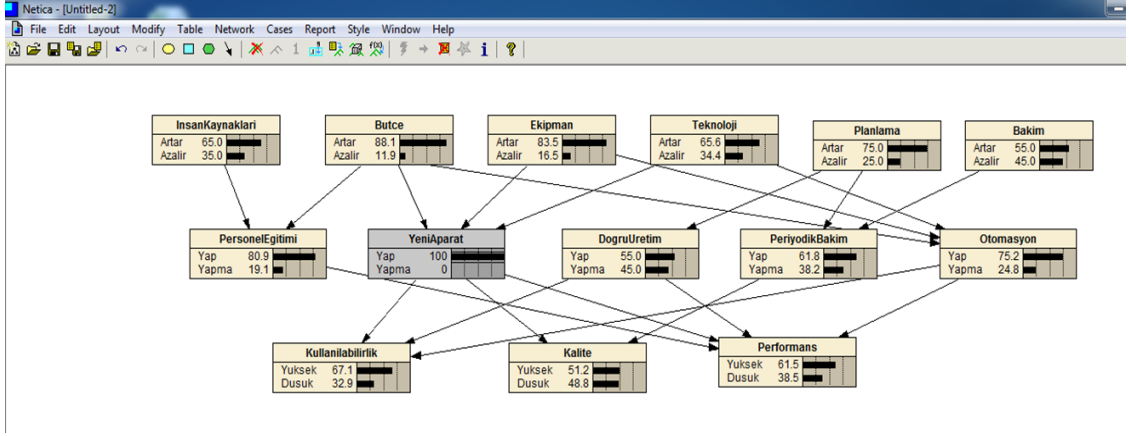
Bütçe için en iyi ve en kötü senaryo durumları mevcut durum ile karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.15 de gösterilmiştir.

Çizelge 5.15. Bütçe için en iyi ve en kötü senaryo.

Kaynak Değişkeni	Mevcut Durum Anket Çalışması		En İyi Durum Senaryo		En Kötü Durum Senaryo	
	Artar	Azalı	Artar	Azalı	Artar	Azalı
Bütçe	85	15	100	0	0	100
Ekipman	70	30	70	30	70	30
Teknoloji	66	34	66	34	66	34
İnsan Kaynakları	65	35	65	35	65	35
Planlama	75	25	75	25	75	25
Bakım	55	45	55	45	55	45
Çözüm Değişkeni	Mevcut Durum Anket Çalışması		En İyi Durum Senaryo		En Kötü Durum Senaryo	
	Yap	Yapma	Yap	Yapma	Yap	Yapma
Personel Eğitimleri	79,7	20,3	85,3	14,7	48,3	51,7
Yeni Aparat Yaptırma	63,7	36,3	66	34	50,3	49,7
Doğru Üretim Planlama	55	45	55	45	55	45
Periyodik Bakım	61,8	38,3	61,7	38,3	61,7	38,3
Otomasyon Kullanma	66	34	66,2	33,8	64,5	35,5
Verimlilik Değişkeni	Mevcut Durum Anket Çalışması		En İyi Durum Senaryo		En Kötü Durum Senaryo	
	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük
Kullanılabilirlik	60,9	39,1	61,6	38,4	56,6	43,4
Kalite	50,5	49,5	50,5	49,5	50,2	49,8
Performans	59,5	40,5	60,3	39,7	54,9	45,1

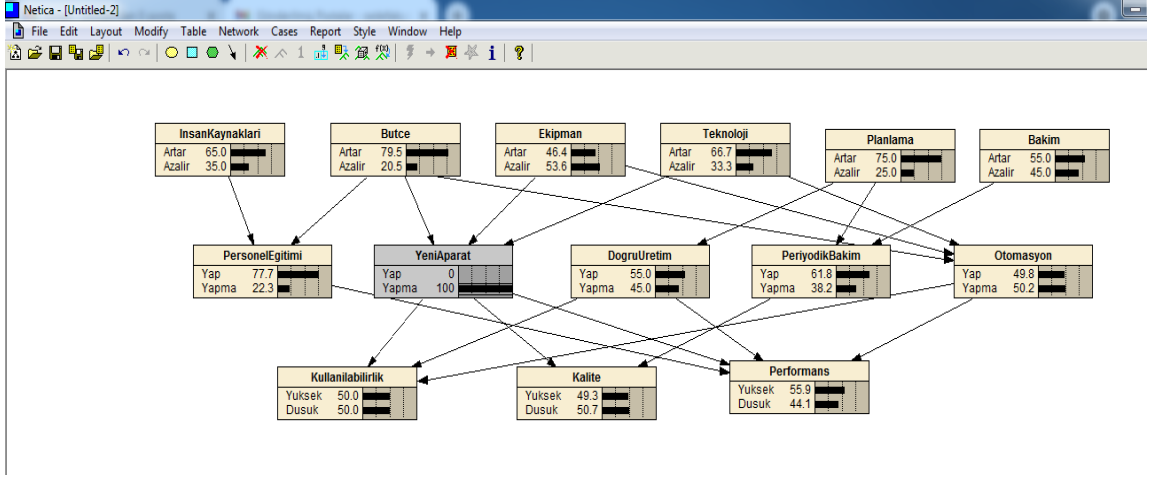
Duyarlılık analizinin seçilen çözüm değişkenlerinden yeni aparat yaptırma için en iyi ve en kötü senaryoları Şekil 5.15 ve Şekil 5.16 da gösterilmiştir.

Şekil 5.15 de yeni aparat yaptırma için en iyi senaryoda kullanılabilirliğin yüksek olasılığı %67,1 ve düşük olasılığı %32,9'dur. Yeni aparat yaptırma en iyi senaryoda kalite yüksek olasılığı %51,2 ve düşük olasılığı 48,8'dir. Yeni aparat yaptırmada en iyi senaryoda performans için yüksek olasılığı %61,5 ve düşük olasılığı %38,5 olarak Netica programında gözlemlenmiştir. Sonuç olarak verimlilikte artış yaşanacağı ön görülmüştür.



Şekil 5.15. Yeni aparat yaptırma için en iyi senaryo.

Şekil 5.16 da yeni aparat yaptırma için en kötü senaryoda kullanılabilirliğin yüksek olasılığı %50 ve düşük olasılığı %50. En kötü senaryoda kalite yüksek olasılığı %49,3 ve düşük olasılığı 50,7'dir. En kötü senaryoda performans için yüksek olasılığı %55,9 ve düşük olasılığı %44,1 Netica programında gözlemlenmiştir. Olasılık sonucunda verimlilikte düşüş yaşanacağı tespit edilmiştir.



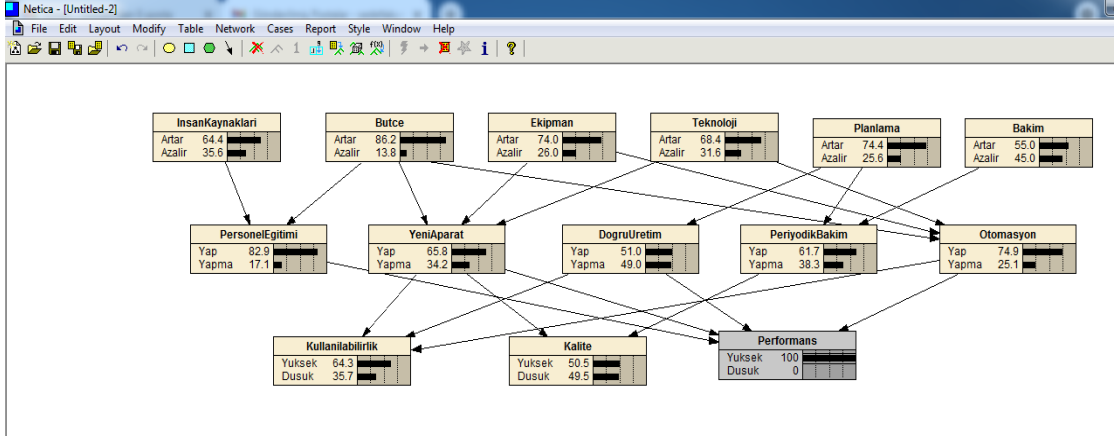
Şekil 5.16. Yeni aparat yaptırma için en kötü senaryo.

Çizelge 5.16. Yeni aparat yaptırma için en iyi ve en kötü senaryo.

Kaynak Değişkeni	Mevcut Durum Anket Çalışması		En İyi Durum Senaryo		En Kötü Durum Senaryo	
	Artar	Azalı	Artar	Azalı	Artar	Azalı
Bütçe	85	15	88,1	11,9	79,5	20,5
Ekipman	70	30	83,5	16,5	46,4	53,6
Teknoloji	66	34	65,6	34,4	66,7	33,3
İnsan Kaynakları	65	35	65	35	65	35
Planlama	75	25	75	25	75	25
Bakım	55	45	55	45	55	45
Çözüm Değişkeni	Mevcut Durum Anket Çalışması		En İyi Durum Senaryo		En Kötü Durum Senaryo	
	Yap	Yapma	Yap	Yapma	Yap	Yapma
Personel Eğitimleri	79,7	20,3	80,9	19,1	77,7	22,3
Yeni Aparat Yaptırma	63,7	36,3	100	0	0	100
Doğru Üretim Planlama	55	45	55	45	55	45
Periyodik Bakım	61,8	38,3	61,8	38,2	61,8	38,2
Otomasyon Kullanma	66	34	75,2	24,8	49,8	50,2
Verimlilik Değişkeni	Mevcut Durum Anket Çalışması		En İyi Durum Senaryo		En Kötü Durum Senaryo	
	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük
Kullanılabilirlik	60,9	39,1	67,1	32,9	50	50
Kalite	50,5	49,5	51,2	48,8	49,3	50,7
Performans	59,5	40,5	61,5	38,5	55,9	44,1

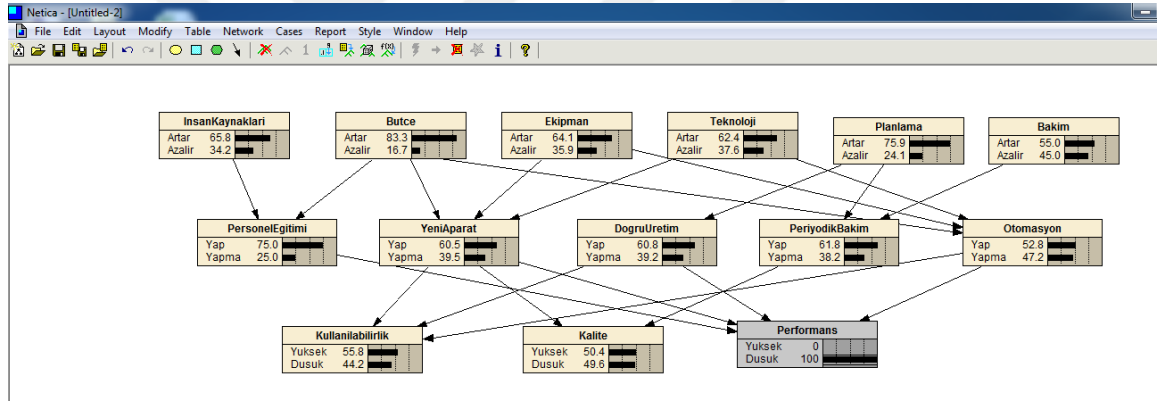
Duyarlılık analizinin üçüncü bileşeni olan performans için en iyi durum senaryosu ve en kötü durum senaryosu Şekil 5.17 ve Şekil 5.18 de gösterildiği gibidir.

Şekil 5.17 de performans için en iyi durum senaryosunda kullanılabilirliğin yüksek olasılığı %64,3 düşük olasılığı %35,7 ve kalite yüksek olasılığı %50,5 düşük olasılığı 49,5 sonucuna ulaşılmıştır. Bununla birlikte kullanılabilirlikte artış olacağı, kalitenin ise sabit kalacağı gözlemlendi.



Şekil 5.17. Performans %100 yüksek durumu.

Şekil 5.18 de performans için en kötü durum senaryosunda kullanılabilirliğin yüksek olasılığı %55,8 düşük olasılığı %44,2 ve kalite yüksek olasılığı %50,4 düşük olasılığı 49,6 sonucuna ulaşılmıştır. Bu durumda verimlilikte düşüş yaşanacağı ön görülmüştür.



Şekil 5.18. Performans %100 düşük durumu.

Performans için en iyi ve en kötü senaryo mevcut durum ile karşılaştırılmalı olarak Çizelge 5.17 de gösterilmiştir.

Çizelge 5.17. Performans için en iyi ve en kötü senaryo.

Kaynak Değişkeni	Mevcut Durum Anket Çalışması		En İyi Durum Senaryo		En Kötü Durum Senaryo	
	Artar	Azalı	Artar	Azalı	Artar	Azalı
Bütçe	85	15	86,2	13,8	83,3	16,7
Ekipman	70	30	74	26	64,1	35,9
Teknoloji	66	34	68,4	31,6	62,4	37,6
İnsan Kaynakları	65	35	64,4	35,6	65,8	34,2
Planlama	75	25	74,4	25,6	75,9	24,1
Bakım	55	45	55	45	55	45
Çözüm Değişkeni	Mevcut Durum Anket Çalışması		En İyi Durum Senaryo		En Kötü Durum Senaryo	
	Yap	Yapma	Yap	Yapma	Yap	Yapma
Personel Eğitimleri	79,7	20,3	82,9	17,1	75	25
Yeni Aparat Yaptırma	63,7	36,3	65,8	34,2	60,5	39,5
Doğru Üretim Planlama	55	45	51	49	60,8	39,2
Periyodik Bakım	61,8	38,3	61,7	38,3	61,8	38,2
Otomasyon Kullanma	66	34	74,9	25,1	52,8	47,2
Verimlilik Değişkeni	Mevcut Durum Anket Çalışması		En İyi Durum Senaryo		En Kötü Durum Senaryo	
	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük
Kullanılabilirlik	60,9	39,1	64,3	35,7	55,8	44,2
Kalite	50,5	49,5	50,5	49,5	50,4	49,6
Performans	59,5	40,5	100	0	0	100

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Artan rekabet ortamı ile Endüstri 4.0 hızlı ve daha kolay erişilebilir veri, anlık takip imkanı ve en önemlisi hatların daha verimli yönetilebilme imkânı sunması sebebi ile işletme dijitalleşmeye geçmiştir. Hat verimliliği hesaplanması amacı ile TEE kullanılmıştır.

İşletme otomasyona geçmesiyle birlikte iş gücündeki kayıpları ortadan kaldırmış ve verimliliğini %78'den %83'e çıkarmıştır. Böylelikle TEE'de artış gözlemlendi. İşletme tezgâhında daha verimli ortam hedeflediğinden yalın üretim yöntemleriyle koordineli analiz çalışması gerçekleştirildi. Tezgâhı daha verimli kılabilmek adına gerçekleşen duruşlar analiz edilerek duruşa sebebiyet veren nedenlere Kaizen çalışması yapıldı. İyileştirme çalışması sonucunda performansı artan tezgâhın TEE, %85'e yükseldi. Yalın sistemlerin uygulanması işletmenin karlılığını olumlu yönde etkilemiş oldu. Benzer çalışmalara Çelik (2020) çalışmasında [27] poke yoke uygulanarak TEE %59,35'den %70,18'e ulaştı, aynı şekilde Sigh ve ark. (2020) çalışmasında [28] kaizen uygulaması ile TEE %8 oranında arttı. Hem uygulamanın bu aşamasında hemde literatür taramasında gözlenen sonuç olarak yalın üretim yöntemleri ile uygulanan iyileştirmeler hattı daha verimli kılmaktadır.

Çalışmanın devamında hattın verimliliğini arttırmak amacı ile kaynak, verimlilik ve çözüm değişkenleri için Bayes Ağı modeli kurulmuştur. Modelin oluşturulmasında baz alınan en önemli nokta verimlilik değişkenidir. Çalışmanın ilk aşamasında verimlilik kriteri olarak TEE baz alınmıştır ve Bayes ağ yapısı kurulurken de verimlilik değişkenini olarak TEE bileşenleri olan kalite, performans ve kullanılabilirlik seçilmiştir. Ağ yapısının devamında verimliliği arttıracak çözüm değişkenleri ile ve çözüm değişkenlerinin bağlı olduğu kaynaklar belirlenmiştir. Uzman görüşlerinin desteği ile ağ yapısı için en iyi durum ve en kötü durum senaryo çalışmalar yapılmış ve verimlilik artışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. En iyi senaryo için personellere eğitim verme, yeni aparat yaptırma ve tezgâhın besleme ünitelerinin otomasyona geçmesi ile kullanılabilirlik ve kalite değişkenlerinin artacağı belirlenmiştir. Tezgâh otomasyon olduğundan hassastır ve ürün modellerine uygun aparatlar tasarlanmalıdır. Eğer tezgâha uygun olmayan veya eski aparatlar ile çalışmaya devam edilirse ayar süreleri uzayarak verimsizliğe de sebebiyet verecektir. Tezgâh robotik bir mekanizmaya sahip olduğundan manuel'e göre daha

karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu sebep ile otomatik tezgâhlarda personel eğitimi aldırılmalıdır. Tezgâha ait besleme üniteleri de otomasyona geçerse yükleme ve boşaltma sürelerinde kazanç sağlanacaktır. Sonuç olarak uzman desteği ile işletmeye verilen tavsiyeler uygulanır ise verimlilikte artış yaşanacağı beklenecektir.

İleriki çalışmalarda, uzman görüşleri ile işletmeye öneride bulunan tavsiyeler gerçekleştirildikten sonraki TEE verimlilikleri yeniden değerlendirilecektir.



7. KAYNAKLAR

- [1] S. Vaidya, P. Ambad ve S. Bhosle, "Industry 4.0—a glimpse," *Procedia manufacturing*, c. 20, ss. 233-238, 2018.
- [2] Y. Zhong, , X. Xu, E. Klotz ve S. T. Newman, "Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review," *Engineering*, c. 3, ss. 616-630, 2017.
- [3] A. Sanders, E. Chola ve P. W. Jens, "Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing," *Journal of Industrial Engineering and Management*, ss. 811-833, 2016.
- [4] S. Kamble, G. Angappa ve C.D. Neelkanth, "Industry 4.0 and lean manufacturing practices for sustainable organisational performance in Indian manufacturing companies," *International Journal of Production Research*, c. 58, sayı 5, ss. 1319-1337, 2020.
- [5] S. F. Fam, "Lean manufacturing and overall equipment efficiency (OEE) in paper manufacturing and paper products industry," *Journal of Advanced Manufacturing Technology*, c. 12, sayı 2, ss. 461-474, 2018.
- [6] B. Kareem, A. S. Alabi, T. I. Ogedengbe, B. O. Akinnuli ve A.A. Aderoba, "Smart OEE-Sigma model for production process optimization," *Journal of production engineering*, sayı 22, ss. 35-41, 2019.
- [7] J. Lee, K. Hung-An Kao ve Y. Shanhu, "Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment," *Procedia Cirp*, c. 16, ss. 3-8, 2014.
- [8] G. Büyüközkan, G. Kayakutlu ve İ. S. Karakadılar, "Assessment of lean manufacturing effect on business performance using Bayesian Belief Networks," *Expert Systems with Applications*, c. 42, sayı 19, ss. 6539-6551, 2015.
- [9] Ö. Akçaoğlu, "Değer akış haritalarında belirlenen darboğazların çözümü için Bayes ağları ile senaryo üretimi: Çamaşır makinası fabrikasında bir uygulama," Yüksek lisans tezi, Endüstri Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2012.
- [10] T. A. N. G. Yu, "Effect of Lean production on enterprise performance based on Bayesian network," *Management Science and Engineering*, c. 11, sayı 3, ss. 31-40, 2017.
- [11] M. E. Tuğlu, "Endüstri 4.0'ın bir alüminyum döküm fabrikasında uygulanması," Yüksek lisans tezi, Endüstri Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maltepe Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2017.
- [12] H. B. B. Doyduk ve B. Karagöz, "Industry 4.0 from logistics firms perspective," *Ekonomi Maliye İşletme Dergisi*, c. 1, sayı 1, ss. 47-53, 2018.
- [13] M. H. Calp, E. Bahçekapılı ve M. Berigel, "Endüstri 4.0 kapsamında akıllı fabrikaların incelenmesi," *5th International Management Information Systems Conference*, Ankara, Türkiye, 2019, ss. 116-120.
- [14] M. E. Tuğlu, "Endüstri 4.0'ın bir alüminyum döküm fabrikasında uygulanması,"

- Yüksek lisans tezi, Endüstri Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maltepe Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2017.
- [15] E. Ç. İnan, "Endüstri 4.0 vizyonunun üretim süreçlerinde getireceği verimlilik," Yüksek lisans tezi, İşletme, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2019.
- [16] B. Kasımoğlu, "Endüstri 4.0'in intralojistik sistemler üzerine getireceği etkileri," Yüksek lisans tezi, Endüstri Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2018.
- [17] A. Durgut, "Plastik parça imalat sanayisinde endüstri 4.0 uygulamaları," Yüksek lisans tezi, Endüstri Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, 2019.
- [18] D. Ak, "Endüstri 4.0'ın çalışma ilişkileri ve emek sürecine etkileri üzerine bir inceleme," Yüksek lisans tezi, Çalışma Ekonomisi ve Endüstri İlişkileri, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Türkiye, 2018.
- [19] A. Yıldız, "Endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalar," *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 22, sayı 2, ss. 546-556, 2018.
- [20] C. A. Koyuncu, "Endüstri 4.0 mevcut durum analizi ve benzetim uygulamalı geçiş metodolojisi," *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, sayı 57, ss. 293-324, 2019.
- [21] N. Gabaçlı ve M. Uzunöz, "IV. Sanayi devrimi: Endüstri 4.0 ve otomotiv sektörü," *Idea Studies Journal*, c. 6, sayı 24, ss. 1125-1145, 2017
- [22] E. Kahya ve O. Polat, "Bir işletmenin mekanik işler atölyesi'nde oranlarla iş gücü verimlilik yönetim sistemi tasarımı," *Verimlilik Dergisi*, sayı 2, ss. 9-36, 2007.
- [23] M. E. Eldem, "Endüstri 4.0," *TMMOB EMO Ankara Şubesi Haber Bülteni*, c. 3, sayı 2, ss. 10-16, 2017.
- [24] Ç. Özsever, T. Gençoğlu ve N. Erginel, "İşgücü verimlilik takibi için sistem tasarımı ve karar destek modelinin geliştirilmesi," *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, ss. 45-58, 2009.
- [25] O. Özveri, M. Kabak ve Ç. Keleş, "Different OEE approaches analysis of applicability in printing sector," *Pamukkale University Journal of Social Sciences Institute*, sayı 25, ss. 264-277, 2016.
- [26] A. Azizi, "Evaluation improvement of production productivity performance using statistical process control, overall equipment efficiency, and autonomous maintenance," *Procedia Manufacturing*, c. 2, ss. 186-190, 2015.
- [27] H. Çelik, "Süreç hatlarının önlenmesi ile toplam ekipman etkinliğinin artırılması: Poke Yoke metodolojisi," *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, c. 7, sayı 5, ss. 544-565, 2020.
- [28] S. Singh, K. Szzingh, V. Mahajan ve G. Singh, "Justification of overall equipment effectiveness (OEE) in Indian sugar mill industry for attaining core excellence," *International Journal of Advance Research and Innovation*, c. 8, sayı 1, ss. 34-36, 2020.
- [29] Ö. E. Acar ve M. Çakırkaya, "Bir üretim hattında toplam ekipman etkinliğinin ölçülmesi ve geliştirilmesi üzerine bir uygulama," *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi*, c. 9, sayı 24, ss. 2017-230, 2018.

- [30] G. Ante, F. Facchini, G. Mossa ve S. Digiesi, "Developing a key performance indicators tree for lean and smart production systems," *IFAC-PapersOnLine*, c. 51, sayı 11, ss. 13-18, 2018.
- [31] A. Görener, "Toplam verimli bakım ve ekipman etkinliği: bir imalat işletmesinde uygulama," *Electronic Journal of Vocational Colleges*, c. 2, sayı 1, ss. 15-20, 2012.
- [32] İ. Temiz, E. Atasoy ve A. Sucu, "Toplam ekipman etkinliği ve bir uygulama," *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c. 12, sayı 4, ss. 49-60, 2010.
- [33] P. C. Acosta, H. C. Terán, O. Arteaga ve M. B. Terán, "Machine learning in intelligent manufacturing system for optimization of production costs and overall effectiveness of equipment in fabrication models," *In Journal of Physics: Conference Series*, Sangolquí, Ecuador, 2020, ss. 1-9.
- [34] Y. Li, G. Rajpal, R. S. Sawhney ve X. Li, "Enhancing lean sustainability via Bayesian network techniques," *Institute of Industrial and Systems Engineers*, ss. 1173-1178, 2009.
- [35] C. Liu, N. Zhan-wen ve L. Qing-lin, "The impact of lean practices on performance: based on meta-analysis and Bayesian network," *Total Quality Management & Business Excellence*, c. 31, sayı 11, ss. 1225-1242, 2020.
- [36] K. Schenkelberg, S. Ulrich, ve A. Fazel, "Analyzing the impact of maintenance on profitability using dynamic Bayesian networks," *Procedia CIRP*, c. 88, ss. 42-47, 2020.
- [37] M. Papananias, T. E. McLeay, M. Mahfouf ve V. Kadiramanathan, "A Bayesian framework to estimate part quality and associated uncertainties in multistage manufacturing," *Computers in Industry*, sayı 105, ss. 35-47, 2019.
- [38] A. Jayaram, "Lean six sigma approach for global supply chain management using industry 4.0 and IIoT," *2016 2nd international conference on contemporary computing and informatics*, Hindistan, 2016, ss. 89-94.
- [39] B. G. Xu, "Intelligent fault inference for rotating flexible rotors using Bayesian belief network," *Expert Systems with Applications*, c. 39, sayı 1, ss. 816-822, 2012.
- [40] B. Das, Biman, U. Venkatadri ve P. Pandey, "Applying lean manufacturing system to improving productivity of airconditioning coil manufacturing," *The International Journal of Advanced Manufacturing*, sayı 71, ss. 307-323, 2014.
- [41] G. Kınık, "Just in Time Production System: A Case Study," Yüksek lisans tezi, Department of Business Administration, Eastern Mediterranean University, Famagusta, North Cyprus, 2000.
- [42] H. Ünalın, "Implementation of Kaizen Blitz approach in an electronics firm," Yüksek lisans tezi, Endüstri Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2009.
- [43] A. A. H. Al-Jebur, "Simulation modelling and analysis for scheduling the kanban controlled assembly system," Yüksek lisans tezi, Endüstri Mühendisliği, Altınbaş Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2019.
- [44] D. Romero, P. Gaiardelli, D. Powell, T. Wuest ve M. Thürer, "Rethinking jidoka systems under automation & learning perspectives in the digital lean manufacturing World," *IFAC-PapersOnLine*, c. 52, sayı 13, ss 899-903, 2019.

- [45] P. Perico, E. Arica, D. J. Powell ve P. Gaiardelli, "MES as an Enabler of Lean Manufacturing," *IFAC-PapersOnLine*, c. 52, sayı 13, ss. 48-53, 2019.
- [46] T. Edtmayr, A. Sunk ve W. Sihn, "An approach to integrate parameters and indicators of sustainability management into value stream mapping," *Procedia Cirp*, c. 41, ss. 289-294, 2016.
- [47] C. Veres, L. Marian, S. Moica ve K. Al-Akel, "Case study concerning 5S method impact in an automotive company," *Procedia Manufacturing*, sayı 22, ss. 900-905., 2018.
- [48] R. Sundar, A. N. Balaji ve R.S. Kumar, "A review on lean manufacturing implementation techniques," *Procedia Engineering*, sayı 97, ss. 1875-1885, 2014.
- [49] M. K. Öksüz, M. Öner ve S. C. Öner, "Yalın üretim tekniklerinin Endüstri 4.0 perspektifinden değerlendirilmesi," *Uluslararası Bölgesel Kalkınma Konferansı*, Tunceli, Türkiye, 2017, ss. 145-162.
- [50] A. Yıldız ve L. Uğur, "Endüstri 4.0 ile Yalın üretim arasındaki ilişkinin incelenmesi," *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi 2018 Bildiriler Kitabı*, İstanbul, Türkiye, 2018, ss. 672-678.
- [51] K. Adusei-Poku, G. J. Van den Brink ve W. Zucchini. "Implementing a Bayesian network for foreign exchange settlement: a case study in operational risk management," *Journal of Operational Risk*, c. 2, sayı 2, ss. 101-107, 2007.
- [52] M. Borth, "Learning from multiple Bayesian networks for the revision and refinement of expert systems," *Annual Conference on Artificial Intelligence*, Berlin, Almanya, 2002.
- [53] G. Celeux, F. Corset, A. Lannoy ve B. Ricard, "Designing a Bayesian network for preventive maintenance from expert opinions in a rapid and reliable way," *Reliability Engineering & System Safety*, c. 91, sayı 7, ss. 8149-856, 2006.
- [54] D. Cinar ve G. Kayakutlu. "Scenario analysis using Bayesian networks: A case study in energy sector," *Knowledge-Based Systems*, c. 23, sayı 3, ss. 267-276, 2010.
- [55] M. F. Yaşın ve G. S. Daş, "KOBİ 'lerde ekipman etkinliğinin iyileştirilmesinde TEE tabanlı yeni bir yaklaşım: bir ahşap işleme kuruluşunda uygulama," *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, c. 32, sayı 1, ss. 45-52, 2017.
- [56] S. Kılıç Akyol ve İ. Düzdar Argun, "Otomotiv sektöründe dijitalleşme sonucu iş gücü verimi analizi," *International Marmara Sciences Congress 2020-Autumn*, Kocaeli, Türkiye, 2020, ss. 624-632.
- [57] TSC Otomasyon ve Bilgi Sistemleri Sanayi Ticaret Anonim Şirketi. (2021, 10 Nisan). Andon Sistemler [Online]. Erişim: <http://www.tsc.com.tr/icerik/9/andon-sistemler>
- [58] Norsys software corp. (2021, 12 Nisan). Netica Uygulaması [Online]. Erişim: <https://www.norsys.com/netica.html>

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Sedef AKYOL KILIÇ

Yabancı Dili : İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Endüstri Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2014