Üretim Sistemlerinde Anahtar Performans Göstergeleri İçin Bir Karar Destek Sistemi

Taha Akkurt

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak 2021

A Decision Support System For Key Performance Indicators in Production Systems

Taha Akkurt

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Industrial Engineering

January 2021

Üretim Sistemlerinde Anahtar Performans Göstergeleri İçin Bir Karar Destek Sistemi

Taha Akkurt

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Üretim ve Servis Sistemleri Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. İnci Sarıçiçek

Bu tez, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'nun (TÜBİTAK) 1170452 no'lu "Otomotiv Endüstrisi için Akıllı Üretim Yönetim Sistemi-IOTOPRO" proje çerçevesinde desteklenmiştir.

Ocak 2021

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. İnci Sarıçiçek danışmanlığında hazırlamış olduğum "Üretim Sistemlerinde Anahtar Performans Göstergeleri İçin Bir Karar Destek Sistemi" başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim.

04/01/2021

Taha Akkurt

ÖZET

İmalat sektöründeki firmaların pazardaki rekabetlerini ve gelişimlerini sürdürebilmeleri için sürekli olarak performanslarını takip etmeleri gerekmektedir. Bu çalışmada üretim sistemleri için Anahtar Performans Göstergeleri kullanılarak dinamik bir performans değerlendirme sistemi hazırlanmıştır. İşletmelerin performanslarını yükseltmesi amacıyla tasarlanan sistem, Anahtar Performans Göstergeleri ile elde edilen performans değerlerini üç ayrı modül içerisinde analiz ederek anlaşılır bir şekilde karar vericiye sunmaktadır. Tasarlanan sistemin ilk modülü olan performans izleme modülü içerisinde, anahtar performans göstergelerinin değerleri anlık ve dinamik olarak görselleştirilmektedir. Bir diğer modül olan performans değerlendirme modülünde, anahtar performans göstergelerinin değerleri İstatistiksel Süreç Kontrolü teknikleriyle değerlendirilerek kullanıcıya sunulmaktadır. Tasarlanan sistemin son modülü olan performans tahminleme modülünde ise, derin öğrenme tekniklerinden LSTM modeli kullanılarak geçmiş dönem performans değerleri incelenerek gelecek periyotların tahminlemesi gerçekleştirebilmekte ayrıca What-If analizleriyle karar vericiye seçenekler sunabilmektedir.

İşletmelerin performanslarını izlemesi ve yükseltmek için gerekli adımları atması amacıyla tasarlanan sistem, kullandığı teknikler ve açık kaynak kodlu programlama alt yapısıyla özelleştirilmeye ve sürekli gelişmeye elverişlidir. Böylelikle tasarlanan sistemin endüstride kullanılabilir olması sağlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Performans Değerlendirme, Anahtar Performans Göstergeleri, İstatistiksel Süreç Kontrolü, Derin Öğrenme, Yinelemeli Sinir Ağları, LSTM, Karar Destek Sistemi

SUMMARY

Companies in the manufacturing sector need to constantly monitor their performance in order to maintain their competition and development in the market. In this study, a dynamic performance evaluation system is designed using Key Performance Indicators for production systems. Designed to increase the performance of businesses, the system analyzes the performance values obtained with Key Performance Indicators in three modules and presents them to the decision maker in an understandable way. In the performance monitoring module, which is the first module of the designed system, the values of key performance indicators are instantly and dynamically visualized. In the performance evaluation module the values of key performance indicators are evaluated with Statistical Process Control techniques and presented to the user. In the performance estimation module, which is the last module of the designed system, by using the LSTM model, one of the deep learning techniques, make future predictions by examining historical data and also offer options to the decision maker through what-if analysis.

This system is designed for production companies to monitor their performance and take the necessary steps to improve their performances. It uses the open source programming infrastructure. The designed system is suitable for customization and development in industry.

Keywords: Performance Evaluation, Key Performance Indicators, Statistical Process Control, Deep Learning, Recurrent Neural Networks, LSTM, Decision Support Sytem

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ..... **vi**

SUMMARY ..... **vii**

TEŞEKKÜR ..... **viii**

İÇİNDEKİLER ..... **ix**

ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **xi**

ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **xii**

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... **xiii**

1. GİRİŞ **1**

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI **3**

3. ÜRETİM SİSTEMLERİNDE PERFORMANS DEĞERLENDİRME **6**

3.1. Performans Değerlendirmede Gerekli Özellikler 7

3.2. Anahtar Performans Göstergeleri 10

3.2.1. Standartlar 13

3.2.2. Kriterler 15

3.2.3. Göstergelerin Belirlenmesi 19

4. YÖNTEM VE ARAÇLAR **21**

4.1. İstatistiksel Analiz ile Performans Değerlendirme 22

4.1.1. Kontrol grafikleri 24

4.1.2. Histogram 26

4.1.3. Kutu grafiği 27

4.1.4. Serpme diyagramı 29

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.2. Derin Öğrenme ile Performans Tahminleme 30
4.2.1. Yinelemeli sinir ağları 35
4.2.2. Uzun kısa dönemli bellek (LSTM) 37
5. BULGULAR VE TARTIŞMA 40
5.1. Anahtar Performans Göstergelerinin Belirlenmesi 40
5.2. Veri Setinin Hazırlanması 41
5.3. Tasarlanan Performans Değerlendirme Sistemi 50
5.3.1. KPI izleme modülü 52
5.3.1.1. Günlük KPI izleme 52
5.3.1.2. Periyodik KPI izleme 53
5.3.1.3. Karşılaştırma 54
5.3.2. KPI değerlendirme modülü 55
5.3.2.1. İstatistiksel süreç kontrolü 55
5.3.2.2. KPI ilişki analizi 56
5.3.3. KPI tahminleme modülü 57
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 62
KAYNAKLAR DİZİNİ 64

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

3.1. ISA-95 Otomasyon Hiyerarşisi 13
3.2. KPI Tablo Yapısı 17
4.1. Karar Destek Sistemlerinin Bileşenleri 22
4.2. Kontrol Grafiği ve Normal Dağılımla İlişkisi 25
4.3. Histogram 27
4.4. Kutu Grafiği 28
4.5. Serpme Diyagramı 29
4.6. Yapay Zeka, Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme 30
4.7. Geleneksel Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme Süreci 31
4.8. Yapay Sinir Ağlarının Mimarisi 33
4.9. Yinelemeli Sinir Ağlarının Kapalı ve Açık Hali 36
4.10. LSTM yapısı 38
5.1. Veritabanı Mimarisi 49
5.2. Tasarlanan Karar Destek Sistemi 50
5.3. Başlamadan Önce Sayfası Ekran Görüntüsü 51
5.4. Günlük KPI İzleme Ekran Görüntüsü 52
5.5. Periyodik KPI İzleme Ekran Görüntüsü 53
5.6. Dönemsel KPI Karşılaştırma Ekran Görüntüsü 54
5.7. İstatistiksel Analiz Ekran Görüntüsü 56
5.8. KPI İlişki Analizi Ekran Görüntüsü 57
5.9. Tahminleme Modülü Çalışma Prensibi 59
5.10. KPI Tahminleme Ekran Görüntüsü 60

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge **Sayfa**

2.1. Literatür Araştırması 3
3.1. Üretim Sistemlerinde Performans Değerlendirme 6
3.2. Performans Değerlendirmede Gerekli Özellikler 7
3.3. Performans Değerlendirmede Kullanılan Yaklaşımlar 9
3.4. Performans Değerlendirmede Bilgisayar Yazılımları 10
3.5. Performans Değerlendirmede Anahtar Performans Göstergeleri 11
3.6. Literatürde Anahtar Performans Göstergeleri 11
4.1. Literatürde İstatistiksel Süreç Kontrolü 23
4.2. Literatürde Derin Öğrenme 31
5.1. Belirlenen Anahtar Performans Göstergeleri 42
5.2. Veritabanındaki Anahtar Performans Göstergeleri 45
5.3. Tahmin Yöntemleri 58

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar	Açıklama
BSI	British Standards Institution (İngiliz Standartları Enstitüsü)
ERP	Enterprise Resource Planning (Kurumsal Kaynak Planlaması)
ISA	International Society of Automation (Uluslararası Otomasyon Derneği)
ISO	International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Teşkilatı)
KDS	Karar Destek Sistemleri
KPI	Key Performance Indicators (Anahtar Performans Göstergeleri)
LSTM	Long Short Term Memory (Uzun Kısa Süreli Bellek)
MAE	Mean Absolute Error (Mutlak Hata Ortalaması)
MES	Manufacturing Execution System (Üretim Yürütme Sistemi)
MSE	Mean Squared Error (Hata Kareleri Ortalaması)
MOM	Manufacturing Operations Management (Üretim Operasyonları Yönetimi)
PESMI	Performance Evaluation System for Manufacturing Industries
PLC	Programmable Logic Controller (Programlanabilir Mantık Denetleyeciler)
ReLU	Rectified Lineer Unit (Düzeltilmiş Doğrusal Birim)
RNN	Recurrent Neural Networks (Yinelemeli Sinir Ağları)
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition (Merkezi Denetim ve Veri Toplama)

1. GİRİŞ

Günümüz globalleşen dünyasında firmaların rekabet etmesi giderek zorlaşmaktadır. Piyasada yerini sağlamlaştırmak isteyen her firma kendine ait hedefler belirlemektedir. Bu hedefler işletmeyi sürekli iyileşmeye teşvik edecek nitelikte olmalıdır. En önemli husus ise işletmenin hedeflerine ne kadar ulaştığın bilmesi gerektiğidir. Eğer bir şey ölçülebiliyorsa, geliştirilebilir. Böylece işletmenin performansı ortaya çıkacaktır. Bu doğrultuda birçok performans izleme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmanın temelini oluşturan anahtar performans göstergeleri (Key Performance Indicators, KPI) de bunlardan biridir.

Yapılan çalışmada üretim sistemleri için anahtar performans göstergelerine dayalı bir karar destek sistemi tasarlanmıştır. Büyük veri teknolojisiyle entegre çalışan sistemde, oluşturulan veritabanlarında saklanan tüm veriler analiz edip görselleştirilerek karar vericiye sunulmaktadır. Bu sayede işletme için kritik önem arz eden karakteristiklerin takibi sağlanmakta ve işletme performansı, hedeflere ulaşma yüzdesi gibi göstergeler hesaplanabilmektedir.

Çalışmada, performans göstergelerinin yorumlanması için istatistiksel süreç kontrolü teknikleri kullanılmaktadır. Kontrol grafikleri başta olmak üzere histogram ve kutu grafikleriyle görselleştirilen verilerin belirlenen periyotlardaki süreç kontrolü sağlanmakta, anormallik tespiti yapılmakta ve bu sayede karar vericiye değerlendirme için olanak sağlanmaktadır.

Bunun yanında yapay sinir ağları ile birlikte geçmiş veriler incelenerek geleceğe yönelik KPI tahminleri gerçekleştirilebilmektedir. Bu sayede, işletmenin geleceği kestirmesine yardımcı olunabilecek ve erken pozisyon alması sağlanacaktır. Literatürdeki diğer çalışmalardan en önemli fark ise tüm bu yöntemleri bir arada kullanarak What-If analiziyle ilgili göstergelerin performansının yükseltilmesi için karar vericiye seçenekler sunulabilmesidir.

Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde ilk olarak literatür taraması gerçekleştirilmiş ve bu konudaki benzer çalışmalardan özetler verilmiştir. Üçüncü bölümde, üretim sistemlerinde performans değerlendirme konusu ele alınmıştır. İlgili bölüm içerisinde bir performans değerlendirme yöntemi olan ve çalışmanın temelini oluşturan anahtar performans göstergeleriyle ilgili tanım ve sınıflandırmalar yer almaktadır. Dördüncü bölümde çalışmada kullanılan yöntem ve tekniklere değinilmiştir. İstatistiksel analiz için kullanılan istatistiksel süreç kontrolü teknikleri ve tahminlemede kullanılan derin öğrenme modelleri anlatılmıştır. Beşinci bölümde yapılan uygulamanın detayları verilmektedir. Son bölümde ise sonuç ve öneriler yer almaktadır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu başlık altında, literatürdeki anahtar performans göstergeleri üzerine oluşturulan sistemler araştırılmıştır. İncelenen çalışmalarda ağırlıklı olarak gösterge değerlerinin anlık takibine dayalı KPI izleme sistemleri oluşturulduğu gözlenmiştir. Performans izlemenin üstüne kullanıcının yararlanabileceği senaryoların eklenmesiyle oluşturulmuş karar destek sistemleri de literatürde mevcuttur. Kestirimci analizlerin ise çoğunlukla ekipmanların üzerindeki donanımsal sensör değerleri için yapıldığı ancak üretim performansını gösteren KPI'lar için henüz böyle bir çalışma gerçekleşmediği görülmüştür. Bu çalışma kapsamında tasarlanan sistem, üretim performans göstergeleri üzerinde kullanılan tekniklerin uygulamasından dolayı literatürdeki çalışmalardan farklılık göstermektedir. Çizelge 2.1' de literatür araştırması kapsamında incelenen çalışmaların özet bilgileri yer almaktadır.

Çizelge 2.1. Literatür Araştırması

Referans	**Performans İzleme**	**İstatistiksel Süreç Kontrolü**	**Kestirimci Analiz**	**Senaryo Üretme**	**Kullanılan Göstergeler**
Accorsi vd. (2013)	✓			✓	Depo Yönetim Göstergeleri
Senkuvienė vd. (2014)	✓				Üretim Göstergeleri
Uddin vd. (2015)	✓			✓	Üretim Göstergeleri
Riexinger vd. (2015)	✓				Üretim Göstergeleri
Küçükaltan vd. (2016)	✓				Lojistik Göstergeleri
Skylakha vd. (2018)	✓		✓		Hastane Göstergeleri
Wohler vd. (2018)	✓	✓			Sensör Göstergeleri
Sikora vd. (2019)	✓		✓		Sensör Göstergeleri

Çizelge 2.1' de görüldüğü üzere bu konudaki çalışmalar son yıllarda popüler hale gelmektedir. Bu tez çalışmasında yer alan yöntemlerin tümünün bir arada kullanıldığı bir

çalışma literatürde bulunmamaktadır. Çizelgede yer alan çalışmaların detayları sırasıyla açıklanmıştır.

Accorsi vd. (2013) tarafından gerçekleştirilen çalışmada depo sistemlerinin yönetilebilmesi için bir karar destek sistemi tasarlanmıştır. Karar Destek Siteminin bir modülü de verimlilik ve performans analizlerinin yer aldığı bir KPI panosu içermektedir. Karar Destek Sistemi, performans göstergelerinin sonuçlarını yorumlayarak what-if analizleriyle çoklu senaryolar üretip kullanıcıya sunmaktadır.

Senkuvienė vd. (2014) yayımladıkları makalelerinde, Litvanya'daki bir CNC imalat fabrikası için performansı artırmak üzere bir üretim izleme sistemi tasarlamışlardır. Tasarlanan sistem gerçek zamanlı üretim takibi ve ekipman iş yükü izleme üzerinedir. Bu çalışma, şirketin var olan ERP ve veritabanlarıyla entegre edilmiş ve Microsoft.NET ile geliştirilmiştir. Yetkili kişiler tüm grafik çıktılarına bilgisayarlarından erişebilmektedir. Makalenin sonuç kısmında bu çalışmanın işletmeye faydaları, zamanında üretim miktarını % 14.3, verimli çalışma süresini ise % 1.5 artırdığı şeklinde belirtilmiştir.

Uddin vd. (2015) yayımladıkları makalelerinde, esnek üretim sistemleri (FMS) için dinamik makine kullanım oranı ve genel ekipman etkinliği (OEE) gibi anahtar performans göstergeleri kullanılarak bağlama duyarlı bir optimizasyon yaklaşımı sunmuşlardır. Göstergeler sürekli izlenerek sonuçları kaydedilmektedir. Ardından bu çıktılar bir optimizasyon yazılımına alınmakta ve göstergelerin değerini artırmak için öneriler sunulmaktadır. Anahtar performans göstergelerine bağlı olarak sürekli iyileşmeyi amaçlayan bu sistem Java tabanlı bir Web arayüzünde çalışmaktadır.

Riexinger vd. (2015) çalışmalarında çevresel, operasyonel ve ekonomik yönlere odaklanan dinamik anahtar performans göstergeleri içeren bütünsel bir üretim modeli ve simülasyon sistemi tasarlamışlardır. Geliştirilen sistemin temel amacı verimli üretim sistemlerinin geliştirilmesi ve sürdürülmesi için mühendislik ve optimizasyon aşamalarının desteklenmesidir. Üretim hattından toplanan veriler KPI odaklı olarak izlenip, görselleştirilip analiz edilmektedir. Göstergelerin işletme hiyerarşisine göre belirlenip kullanıcının yetkisine göre gösterilmesi de çalışmanın kilit noktalarından biridir. Sisteme aynı zamanda mobil cihaz kullanılarak da erişilebilmektedir.

Küçükaltan vd. (2016) yayımladıkları çalışmalarında lojistik işletmeleri için performans göstergelerine dayalı bir değerlendirme modeli önermişlerdir. Çeşitli literatür araştırmaları ve pazar anketleri sonucunda 43 performans göstergesi belirlemişlerdir. Çalışmalarında öne çıkan yaklaşım ise ANP (Analytical Network Process) metodu kullanılarak göstergelerin kapsamlı analizi ve önceliklendirilmesidir. Böylece performans göstergelerinin etkileri kendi aralarında ağırlıklandırılmıştır. Makalenin eksik yanı ise modelin uygulanabilirliğini göstermek için lojistik şirketlerine ilişkin vaka çalışması gerçekleştirilmemesidir.

Skylakha vd. (2018) çalışmalarında Hindistan'daki bir hastane için performans yönetimine dayalı bir karar destek sistemi hazırlamışlardır. Bu sistem anahtar performans göstergeleriyle verilerin yorumlanmasını ve geleceğe yönelik ihtiyaçların belirlenmesini sağlamaktadır. Bu doğrultuda 5 bölümde 44 gösterge belirlenmiş, yıllık 350 GB boyutunda veriyle analiz edilmiş ve sağlık izleme sisteminin kurumsal performansı ölçülmüştür. Ayrıca makine öğrenmesi algoritmalarıyla da (trend analizi vb. yöntemler) geleceğe yönelik kestirimler çıkarılmıştır.

Wohler vd. (2018) çalışmalarında anahtar performans göstergeleri ile istatistiksel süreç kontrolü tekniklerini bir arada kullanmışlardır. Ortaya koydukları istatistiksel süreç kontrolü konsepti mekatronik sistemler için ürün kontrolü sırasında sensör verilerine dayalı olarak ürünün temel işlevlerini istatistiksel olarak ölçen KPI'lara dayanmaktadır. Ayrıca çalışmalarını Almanya'daki bir ATM üretim tesisinde uygulamışlardır. KPI tabanlı kalite kontrol modelleri yalnızca ürün kontrolü sırasında toplanan bilgilere dayanarak birden fazla kalite hedefinin izlenmesine izin vermektedir.

Sikora vd. (2019) köprü vinç ekipmanı için canlı durum izleme sistemi tasarlamışlardır. 2019 yılında yayımladıkları makaleye göre sensörler tarafından toplanan titreşim verilerini kaydederek gerçek zamanlı durum izleme ve görselleştirme yapmışlardır. İlgili titreşim sensöründen gelen veriler için eşik değerleri belirlenmiş ve göstergelerin durumları takip edilebilmektedir. Sistem ayrıca tüm titreşim verilerini inceleyerek kestirimci bakım için analizler çıkarmaktadır.

3. ÜRETİM SİSTEMLERİNDE PERFORMANS DEĞERLENDİRME

Her geçen gün artan rekabetçi yapısıyla üretim ve imalat sistemleri sürekli başarıyı yakalamak zorundadır. Başarının kriteri müşteri memnuniyetidir. Müşteri memnuniyeti için ise talepleri en kısa sürede ve kaliteli bir şekilde karşılamak, değişimlere hızlı reaksiyon göstermek ve üretkenliği en üste seviyede tutmak gerekmektedir. Bu nedenle işletmeler için performans değerlendirme hayati bir öneme sahiptir. Hedeflere ulaşmaya yönelik birçok performans değerlendirme sistemleri kullanılmaktadır. Pek çok akademik çalışmaya da konu olan performans değerlendirme konusu, literatürde birçok farklı kaynakta değişik şekillerde tanımlanmaktadır.

Lavy vd. (2014), yaptıkları bir tesisin performans değerlendirmesi çalışmalarında üretim sistemlerindeki performans değerlendirmenin tanımına ve özelliklerine ilişkin literatür araştırması gerçekleştirmiştir. Buradan hareketle incelenen çalışmalardaki performans değerlendirme tanımları Çizelge 3.1'de yer almaktadır.

Çizelge 3.1. Üretim Sistemlerinde Performans Değerlendirme

Referans	Tanım
Kincaid (1994), Lebas (1995), Amaratunga ve Baldry (2000), Barrett ve Baldry (2003), Cable ve Davis (2004)	Performans değerlendirme süreci, bir tesisin kurumsal hedeflere ulaşılmasına katkısını değerlendirir ve bu nedenle gelecekteki tesis yönetimi stratejilerinin oluşturulması için hayati önem taşır.
Douglas (1996), Amaratunga ve Baldry (2000)	Performans değerlendirme, bir tesisin genişletilmesi, devralınması ve stratejik değişikliklerle ilgili kararlarla doğrudan ilgilidir.
Atkin ve Brooks (2000)	Performans değerlendirmesinde örgütsel başarı için çok önemli olan hususları belirlemek önemlidir. Bu tür konular örgütsel amaç ve hedeflere ve nihayetinde performans önlemlerine bağlanabilir.
Cable ve Davis (2004)	Performans ölçümü, yönetim kararlarının tesis portföyünün başarısı ve başarısızlığı üzerindeki etkilerini anlamada ve olası iyileştirmeleri önermede yardımcı olur.
Syakima vd. (2011)	"Performans" terimi verimlilik ve etkililikle ilgilidir. Dolayısıyla tesis performansı, bir kuruluşun kurumsal ticari faaliyetlere hizmet sağlamadaki verimliliğini ve etkinliğini değerlendirmek anlamına gelir.

3.1. Performans Değerlendirmede Gerekli Özellikler

İşletmeler için performans ölçümünün büyük önem sarf etmesi, bu sistemlerin oldukça etkili olması gerektiğini göstermektedir. Şirketlerin farklılaşan amaçları doğrultusunda özelleştirilmiş sistemler hazırlanmalıdır. Bu noktada hedeflerin iyi seçilmesi, aynı doğrultuda etkin bir veri toplama sisteminin olması gerekmektedir. Ayrıca ortaya konulan performans ölçüm sisteminin işletmenin her seviyesinde kabul görülüp benimsenmesi, süreklilik ve başarı açısında çok önemlidir. Literatürde bazı çalışmalarda performans ölçüm ve değerlendirme sistemlerinin sahip olması gereken özellikler tartışılmıştır.

Lai ve Man (2017), yaptıkları tesisler için performans değerlendirme şeması çalışmalarında başarılı bir performans değerlendirme sisteminin sahip olması gereken özelliklerine ilişkin literatür araştırması gerçekleştirmiştir. Buradan hareketle incelenen çalışmalardaki gerekli özellikler Çizelge 3.2'de yer almaktadır.

Çizelge 3.2. Performans Değerlendirmede Gerekli Özellikler

Referans	Gerekli Özellikler
Neely vd. (1995)	Performans değerlendirme şemaları tipik olarak maliyet etkinliği ve iş verimliliği önlemlerini kapsar.
Training Resources and Data Exchange (1995)	Mühendislik tesisleri, performansını değerlendirmek için zamanındalık, verimlilik ve güvenlik dahil teknik yönleri ölçmelidir.
Kutucuoğlu vd. (2001), Myeda vd. (2011)	Etkili bir performans değerlendirme şeması farklı performans hiyerarşilerini ve performans ölçümlerinin çoklu boyutlarını tanıyabilmelidir. Tedbirleri ilgili hedeflerle ilişkilendirebilme ve bunları uygun stratejilerle ilişkilendirebilmenin yanı sıra, programın işlevler arası sorunları ele alma gücü olmalıdır. Programın ilgili personelden destek almasını ve ilgili tarafların farklı görüşlerini dengelemesini sağlamak da önemlidir.
Lai ve Yik (2006)	Tesis performansının değerlendirilmesinde, stratejik düzeyde üst yönetim, girdi kaynaklarından elde edilen sonuç hakkında daha ilgilidir. Maliyet ve gelir konuları onların odak noktasıdır ve kurumsal hedeflerine ulaşmak için daha düşük seviyelere yönelik stratejiler ve talimatlar verirler. Stratejileri ve yönleri eyleme dönüştürmesi gereken taktik düzeydeki yöneticilerin astlarının çalışmalarını denetlemesi gerekir. Operasyonel düzeydeki personel, işletme ve bakım çalışmalarını yürüten, girdi kaynaklarını tesis performansına dönüştüren cephe uygulayıcılarıdır.

Çizelge 3.2. Performans Değerlendirmede Gerekli Özellikler (devam)

Referans	Gerekli Özellikler
Parida ve Chattopadhyay (2007)	Tesislerin performansı, tesislerin son kullanıcılarına verilen hizmetlerin durumunu belirler. Tesis performans verileri, bazı fiziksel parametrelerin ölçümü, son kullanıcı algılarının toplanması ya da her ikisinin bir kombinasyonu şeklinde toplanabilir. Elde edilen veriler, tesislerin performansını değerlendirmek için işlenebilir ve ortaya çıkan bulgular, uygun şekilde iletilirse, yönetim seviyesindeki stratejik, taktik ve operasyonel olmak üzere farklı düzeylerde personel için geri bildirim sağlayabilir.
Parida ve Chattopadhyay (2007)	Farklı personel seviyeleri farklı performans değerlendirme alanlarına odaklansa da, bir seviyenin performans sonucunun yukarıdan aşağıya veya aşağıdan yukarıya doğru diğer düzeylerle iki taraflı olarak iletilmesi gerekir.
İngiliz Standartları Enstitüsü (BSI) (2011, 2012)	Performans değerlendirmek için belirli bir zamanda ölçülen veya hesaplanan veya belirli bir zaman diliminde toplanan performans ölçütlerine dayanan bir performans değerlendirme şeması geliştirilmeli, yalnızca geçmişi değil, gelecekteki şimdiki zamanı ve hedef performans seviyelerini de yansıtmalıdır.
Hopfe vd. (2013), Then (2005)	Mühendislik tesislerinin performansı ürettikleri fiziksel çıktıların miktarları, faaliyetleri için girilen kaynak miktarına göre üretim hacmi veya tesislerin gerekli hizmetleri sağlamadaki güvenilirliği şeklinde ölçülebilir. Hizmet sunum sürecinin nihai performansı, son kullanıcıların ihtiyaçlarının ne kadar iyi karşılandığına göre değerlendirilebilir. Bu nedenle tesis performansının değerlendirilmesi, birden fazla kritere cevap veren ve iş zorluklarına reaktif çözümlerin planlanmasını ve uygulanmasını kolaylaştıran sürekli ve proaktif bir süreç olmalıdır.
Yusof vd. (2014)	Çeşitli paydaşlar arasında yakın iletişim, tesislerin genel performansını artırmak için çok önemlidir.
Bauters vd. (2017)	Performans ölçüm sistemlerindeki en büyük zorluklardan biri, mevcut süreç hakkında güvenilir ve ayrıntılı verilerin toplanmasıdır.

Performans değerlendirmede hedef, işletme tarafından belirlenen kriterlere ne derece yaklaşıldığıyla bağlantılıdır. İşletme içerisindeki her bir bölüm için bu kriterler farklılık gösterebilmektedir. Dolayısıyla değişen amaçlara karşı birçok farklı yöntem ve yaklaşım geliştirilmiştir. Literatürdeki çalışmalarda genel bir üretim işletmesi performansının yanı sıra üretim, kalite ve özellikle bakım operasyonları için birçok performans değerlendirme çalışmaları yer almaktadır. Performans değerlendirmesi için en yaygın yaklaşımlar arasında kıyaslama, dengeli skor kartı (BSC), doluluk sonrası değerlendirme (POE), anahtar performans göstergeleri (KPI) ve kritik başarı faktörleri (CSF) bulunmaktadır.

Gupta vd. (2019), bakım performansını ölçmek için geliştirdikleri teorilerini anlatan çalışmalarında performans değerlendirme sistemlerinde kullanılan yaklaşımlara ilişkin literatür araştırması gerçekleştirmiştir. Buradan hareketle incelenen çalışmalardaki gerekli özellikler Çizelge 3.3'te yer almaktadır.

Çizelge 3.3. Performans Değerlendirmede Kullanılan Yaklaşımlar

Referans	Kullanılan Yaklaşımlar
Luck (1956)	Bakım performansı için planlama, verimlilik, maliyet ve iş yükü olmak üzere dört ana işlev ve alt faktörlere dayanan grafik derecelendirmesini kullanan Du Pont yöntemini önermiştir.
Priel (1962)	Bakım etkinliği, bakım seviyesi ve bakım maliyeti açısından çeşitli kategorilere ayrılan yirmi öğeye dayanan bireysel bir ölçüm yöntemi geliştirmiştir. Bu yöntemde elemanların her birinin performansı için bir ölçüt vardır.
Hibi (1977)	Japonya'da kullanılan yöntemlerin, bir puan sistemi kullanılarak aylık olarak ölçülen ve entegre edilen bireysel faktörlere dayandığını bildirmiştir.
Neely vd. (1995)	Performans ölçüm sistemi ile çevre arasındaki ilişkiyi göz önünde bulundurarak performans ölçümünü bireysel performans ölçütlerine göre incelemişlerdir.
Kutucuoğlu vd. (2001)	Kalite İşlev Dağıtımı (QFD) tekniğini kullanarak yeni bir performans ölçüm sistemi geliştirmek için bu sistemin bakımdaki rolüne bakmıştır. Etkili bir performans ölçüm sistemi için anahtar faktörler tanımlanır ve incelenir. Etkili performans ölçüm sistemi için bir çerçeve geliştirilir ve küçük ölçekli bir işletme durumunda uygulanır. Ayrıca, bu tür ölçümler, iyileştirme araçlarından biri olan kıyaslama için kullanılabilir.
Kaplan ve Norton (2005)	Kaplan ve Norton tarafından geliştirilen dengeli skor kartı ve performans ölçümü çerçevesi tüm dünyadaki birçok endüstri tarafından kullanılmaktadır. Bu çerçeve finansal, müşteri, şirket içi işletme, yenilik ve öğrenme olmak üzere dört perspektifi tanımlar ve üzerinden bütünleştirir.
Parida (2008)	Çeşitli performans ölçüm çerçevelerini analiz etmiş ve bakım performansı değerlendirmesi için dengeli, bütünsel ve entegre çok kriterli hiyerarşik bir çerçeve önermiştir.
Bakhtiar vd. (2009)	Yenilik ve büyüme, üretim, bakım, çevre, müşteri ve finansa odaklanarak bakım performansını ölçmek için dengeli skor kartı modeli benimsemiştir.

Gelişen teknolojiye beraber bilgisayar yazılımlarının da performans ölçmede kullanılabilirliği tartışılmış ve bazı çalışmalara konu olmuştur. Lavy vd. (2014) çalışmalarındaki performans değerlendirmede kullanılan bilgisayar yazılımlarına ilişkin kronolojik araştırmaları Çizelge 3.4' de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Performans Değerlendirmede Bilgisayar Yazılımları

Referans	Kullanılan Yaklaşımlar
Lavy ve Shohet (2004)	Çalışmalarında bir Bakım Verimliliği Göstergesi (MEI) önerilmiştir. Bir MEI, bakım harcamalarının tesisin genel durum endeksine oranı olarak tanımlanır.
Hammad vd. (2005)	Bir tesisin performansı bilgisayar programları kullanılarak simüle edilebilse de, yine de insan tarafından onaylanması gerektiğini belirtmiştir.
Crawley vd. (2005)	Bir tesisin yaşam döngüsü boyunca gösterdiği performans, şu anda mevcut olan çeşitli bilgisayar ve web tabanlı araçlar kullanılarak da değerlendirilebileceğini belirtmiştir. Blast, Ecotect, Trnsys, Hot 2000, Energy Plus, Doe 2.1 (Abd Doe), Rıuska, Moıst 3.0, Condense, Airpak ve hyglRC gibi araçlar, bir tesisin ekonomik ve çevresel performansını simüle etmek için kullanılabilir.

Bir sonraki başlıkta performans değerlendirme yöntemlerinden olan ve bu çalışmanın temelini oluşturan anahtar performans göstergeleri detaylı olarak incelenmiştir.

3.2. Anahtar Performans Göstergeleri

Anahtar Performans Göstergeleri, performans değerlendirmede kullanılan yöntemlerden biridir. Lavy vd. (2014) çalışmalarında performans değerlendirmede KPI'ların kullanımına ilişkin kronolojik araştırmaları Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Performans Değerlendirmede Anahtar Performans Göstergeleri

Referans	Açıklama
Ho vd. (2000)	KPI içeren performans metrikleri kuruluşlar içinde ve arasında karşılaştırmalar yapmak için kullanılabilir.
Hitchcock (2002), O'Sullivan vd. (2004)	Performans metriklerinin performans hedeflerini açık ve ölçülebilir bir şekilde tanımlayabileceğini belirtmiştir.
Lavy vd. (2010)	Bir tesisin performansını bir dizi KPI kullanarak değerlendirmek, kullanıcıya seçim göstergelerini seçme fırsatı vereceğini belirtmiştir.

Bir performans değerlendirme yöntemi olan KPI, organizasyonların devam eden ve gelecek başarısında kritik ve hayati önem taşıyan performanslarına odaklanır. Literatür taraması yapıldığında KPI'ların değişik şekillerde tanımlandığı görülmektedir. Bu tanımlardan bazıları Çizelge 3.6'da yer almaktadır.

Çizelge 3.6. Literatürde Anahtar Performans Göstergeleri

Referans	Tanım
Akçay (2011)	Bir işletmenin mevcut performansı ölçülebiliyorsa, geliştirilebilir. Ölçemediğiniz şeyi geliştirmeniz veya gelişim yönünü belirlemeniz mümkün değildir. Adından da anlaşılacağı üzere hedefe göre nerede olunduğunu değerlendirmek için bir anahtardır.
Enshassi ve El Shorafa (2015)	KPI'lar bir kuruluş tarafından başarısını veya dahil olduğu belirli bir etkinliğin başarısını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılır. Bazen başarı, stratejik hedeflere doğru ilerleme kaydetme olarak tanımlanır, ancak çoğu zaman başarı, basitçe bir düzeyde operasyonel hedefin tekrarlanan başarısıdır.
Rødseth vd. (2015)	KPI'lar, organizasyonların veya bireyin mevcut ve gelecekteki başarısı için kritik olan operasyonel, taktik veya stratejik bir etkinliği ne kadar iyi gerçekleştirdiğini ölçen bir ölçümdür.
Kang vd. (2016)	KPI'lar, bir işletmenin kritik başarı faktörlerini yansıtan stratejik ölçüm olarak tanımlanır. KPI'ların uygun seçimi ve daha iyi anlaşılması, bir firmanın istenen iş başarısına ulaşmasına yardımcı olabilir.

Çizelge 3.6. Literatürde Anahtar Performans Göstergeleri (devam)

Referans	Tanım
Collins vd. (2016)	KPI'lar, bir üretim tesisinin tesis hedefleriyle ilişkili olarak sağlığını belirlemek için kritik tedbirlerdir.
Benvenuti vd. (2017)	KPI'lar, belirli faaliyetlerin ve görevlerin gerçekleştirdiği performansları anında ve sentetik bir bakış açısıyla değerlendirmek için iyi kurulmuş bir yoldur.
Brundage vd. (2017)	KPI'lar, bir sistemin bir süreçte tüketilen malzeme miktarı, enerji veya zaman gibi ölçülebilir niteliklerle elde ettiği performans seviyesini gösterir.
Samir vd. (2018)	KPI'lar üretim sisteminin başarı faktörlerini gösteren değerlerdir. KPI, ISA95 Standardının daha yüksek seviyelerinde belirlenen hedeflere hem tanımlanmasına hem de ulaşılmasına yardımcı olabilecek kritik başarı faktörlerinin bir ölçümüdür. KPI'ların kullanılması, ilerlemeyi ölçmenin yanı sıra ilerlemeyi hedeflerle karşılaştırmanın bir yolunu ifade eder. Şirketin hedefleri ile karşılaştırıldığında KPI'lar hedeflerin gerçekleşip gerçekleşmediğine dair bir fikir verir.
Dominguez vd. (2019)	İşletmeler ve kurumlar, amaçlarına ne ölçüde ulaşıldığını belirlemek için faaliyetlerini değerlendirmelidir. Bu değerlendirmeyi yapmanın olası bir yolu, kuruluşların KPI olarak bilinen metriklere dayandığı performansı ölçmektir. KPI'lar, kuruluşun mevcut ve gelecekteki başarısı için en kritik olan organizasyon performansının bu yönlerine odaklanan bir dizi önlemi temsil eder.
Paramangioulis vd. (2019)	KPI'lar, bir projenin veya bir girişimin önceden tanımlanmış spesifik temel hedeflere ulaşılmasına yönelik önerilen çözümlerinin etkinliğini ölçen endekslerdir.

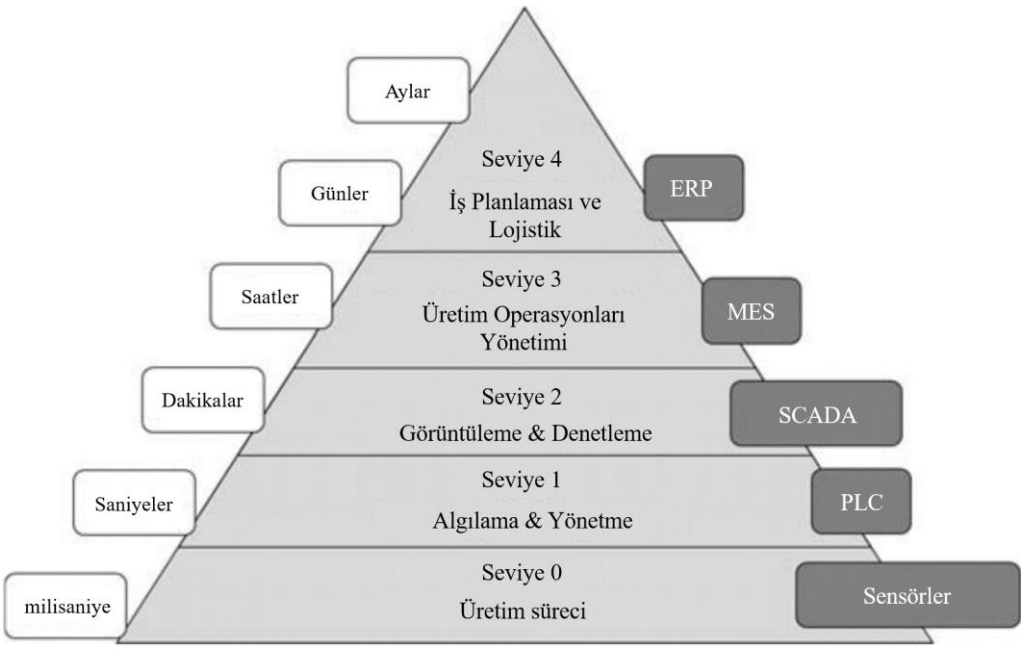
KPI’lar, tüm organizasyonlar adına kullanılabilir olması için standartlandırılmıştır. Bu çalışmada kullanılan üretim sistemleri için KPI’lar da ISO tarafından standardize edilmiş ve detayları izleyen başlıkta verilmiştir.

3.2.1. Standartlar

Bu çalışmada anahtar performans göstergeleri ile üretim sistemlerinden toplanan veriler kullanılarak dinamik bir performans değerlendirme sistemi tasarlanmıştır. Böyle bir sistemin üretim sistemlerindeki yerini araştırmak amacıyla ilk olarak ANSI/ISA-95 standardı incelenmiştir. Üretim ve otomasyondaki farklı parçaları tanımlayan ISA-95 standartları, fabrikalarda bulunan kurumsal sistemler ve kontrol sistemleri arasında otomatik bir arayüzün geliştirilmesine yardımcı olur (Samir vd., 2018).

ISA-95 standardı, işlevsel otomasyon hiyerarşisini beş seviyeye ayırır. Bu seviyeler, işlevlerine ve zaman dilimlerine göre bölünmüştür (Samir vd., 2018):

- Seviye 0 - Sensörler gibi gerçek fiziksel süreçleri temsil eder.
- Seviye 1 - Süreçleri algılama ve yönetme faaliyetlerini temsil eder.
- Seviye 2 - Fiziksel süreçleri izleme ve kontrol etme faaliyetlerini temsil eder.
- Seviye 3 - İstenilen son ürünleri üretmek için iş akışı faaliyetlerini temsil eder.
- Seviye 4 - Bir üretim operasyonunu yönetmek için gereken işle ilgili faaliyetleri temsil eder.



Şekil 3.1. ISA-95 Otomasyon Hiyerarşisi (Akerman, 2018)

ISA-95 standardı, bilgi akışı açısından yalnızca 3. ve 4. seviye faaliyetleri temsil eder. Bu bölüme yardımcı olmak için ise Üretim Operasyonları Yönetimi (MOM) adı verilen, hammaddelerin ve/veya parçaların ürünlere dönüştürülmesinde personeli, ekipmanı, malzemeyi ve enerjiyi kontrol eden tanımlamalar yapılmıştır. MOM kendi içerisinde üretim operasyonları yönetimi, envanter işlemleri yönetimi, bakım işlemleri yönetimi, kalite operasyonları yönetimi olarak 4 kategoriye ayrılmaktadır. Üretim operasyonları yönetiminin bir işlevi ise üretim performansıdır. Bu kısım, ürünün gerçek üretimi hakkında bilgi içerir ve talep edilen üretimin karşılanma performansı olarak tanımlanmaktadır. KPI'lar, üretim performans analizi işlevine aittir ve bu nedenle bilgilerini hem üretim takibinden hem de üretim veri toplamasından alır (Samir vd., 2018).

KPI'ların tanımlanmasında kullanılan kavramların bazılarında, neyin ölçüleceği, değerlerin kuruluş çapında nasıl iletileceği, hedefler ve stratejilerle nasıl uyumlu hale getirileceği konusunda karışıklıklar çıkabilmektedir. Bu noktada KPI'lar ile ilgili standartlara ihtiyaç duyulmaktadır (BSI, 2007).

Bu standartlardan birisi de ISO 22400 - Üretim sistemleri için anahtar performans göstergeleridir. ISO 22400 standartlarına göre üretim sistemleri yönetimi için anahtar performans göstergelerinin kullanılması, bir işletmenin değer yaratma süreçlerini iyileştirmek adına önemli çalışmalarıdır. ISO 22400, sürekli, kesikli ve parti tipi üretimlere üretim sistemleri yönetimi için anahtar performans göstergelerini tanımlamak, oluşturmak, değiştirmek ve kullanmak için endüstri açısından tarafsız bir çerçeve belirlemektedir.

ISO 22400'ün bu kısmı;

- KPI'ya genel bir bakış sunmaktadır.
- KPI'ların oluşturulmasına ilişkin kriterler dahil KPI'larla çalışmak için uygunluk konseptlerini sunmaktadır.
- KPI'larla ilgili terminolojiyi belirtmektedir.
- Bir KPI'nin nasıl kullanılabileceğini açıklamaktadır.

ISO 22400, operasyonel performans iyileştirmenin gerçekleştirilmesi için özellikle anlamlı olduğu bulunan performans ölçütlerine odaklanmaktadır. Performansın ölçülmesi

bir işletmenin tüm faaliyetlerinin özelliklerini belirlemesini sağlar. Bu performans ölçümleri, operasyonlardaki çeşitli ölçümlerin birleştirilmesi ve KPI adı verilen şekillerin oluşturulmasıyla sağlanabilir. Performansın izlenmesi, işletmenin tanımlanmış hedeflerine özgüdür ve KPI değerleri belirli operasyonel hedeflere göre eğilimleri tanımlamak için kullanılabildiğinde en faydalı ölçüdür (ISO, 2014).

3.2.2. Kriterler

İyi bir KPI, imalat işleminde çeşitli hedeflere ulaşmada faydasını sağlayan belirli kriterlere sahiptir. Her bir ölçümü gerçekleştirme süreci ile birlikte kriterler aşağıda listelenmiştir (ISO, 2014).

- **Hizalanabilirlik:** KPI'lar, ilgili üst düzey KPI'lardaki değişimi etkileme derecesi ile aynı derecede etkilenir. Hizalama, sistemde başka hiçbir değişiklik yapılmadığı sürece, önemli yüksek seviye metriklerdeki yüzde iyileştirme oranının (olumlu etki varsayarsak), KPI'daki (veya KPI setindeki) yüzde iyileşme oranına etki getirdiğini gösterir.
- **Dengelilik:** Bir KPI'nın, seçilen KPI kümesinde ne kadar dengelenmiş olduğunu gösterir.
- **Standartlaştırılabilirlik:** KPI'lar, doğru, eksiksiz ve açık şekilde standartlaştırılmıştır. Standart, tesis genelinde, şirket genelinde veya endüstri genelinde olabilir.
- **Geçerlilik:** KPI'lar, operasyonel tanımı ile standart tanım arasındaki kuralsal ve anlamsal uygunluk derecesinde geçerlidir. Standart yoksa geçerlilik sıfırdır.
- **Ölçülebilirlik:** KPI'lar, değerinin sayısal olarak belirtilebileceği ölçüde ölçülebilir olmalıdır.
- **Doğruluk:** KPI'lar, ölçülen değerinin gerçek değere yakın olduğu ölçüde doğrudur. KPI değerini hesaplamak için gereken değerlerle (varsa) ilgili hiçbir hataya sahip olmadığı ölçüde doğru olmalıdır. Bir KPI'nın doğruluğu, düşük veri kalitesinden, yetersiz erişilebilirlikten veya standart altı ölçüm cihaz ve yöntemlerinin varlığından etkilenebilir.

- **Zamanındalık:** KPI'lar, operasyonel içeriğe bağlı olarak gerçek zamanlı olarak hesaplanabilir ve erişilebilir ölçüde olmalıdır.
- **Tahmin edilebilirlik:** KPI'lar, kararsız durumdaki işlemleri ne kadar önceden tahmin edebileceğini öngörmelidir.
- **Uygulanabilirlik:** KPI'lar, sorumlu bir ekibin, KPI'nın gerçek değerini geliştirmek için kendi süreçlerinde bilgi, beceri ve yetkiye sahip olduğu ölçüde uygulanabilir olmalıdır.
- **İzlenebilirlik:** KPI'lar, bir problemi çözmek için atılacak uygun adımların bilindiği, belgelendirildiği ve erişilebilir olduğu ölçüde izlenebilir olmalıdır.
- **İlgililik:** KPI'lar, hedef operasyonda performans iyileştirmesine ne kadar olanak sağladığı, gerçek zamanlı performansı gösterdiği, gelecekteki olayların doğru bir şekilde tahmin edilebildiği ve analiz ve geri bildirim kontrolü için değerli geçmiş performansın bir kaydını ortaya koyduğu ölçüde ilgili olmalıdır.
- **Tamamlanabilirlik:** KPI'lar, standart tanımla karşılaştırıldığında (varsa), KPI'nın tanımının ve KPI'nın değerini hesaplamak için gereken değerlerin tüm parçaları kapsadığı ve tamamladığı ölçüde olmalıdır.
- **Otomatiklik:** KPI'lar, toplama, aktarma, hesaplama, uygulama ve raporlamanın otomatikleştirildiği ölçüde otomatik olmalıdır.
- **Ortaklaşabilirlik:** KPI'lar, hedef operasyondan sorumlu ekibin yanı sıra hem üst hem de alt seviye KPI'lardan sorumlu ekiplerin, KPI kullanımını desteklemeye ve görevleri yerine getirmeye istekli olduğu ölçüde ortaklaşabilir olmalıdır.
- **Belgelenebilirlik:** KPI'lar, uygulanması için belgelenen talimatlar, farklı KPI değerleri için yapılması gerekenler ve KPI'nin nasıl hesaplanacağına dair talimatlar da dahil olmak üzere, güncel, doğru, eksiksiz ve açık olduğu şekilde belgelenebilir olmalıdır.
- **Karşılaştırılabilirlik:** KPI'lar, destekleyici ölçümlere referans olmak için kullanılan araçlar, göstergeler, uygun ölçü birimleri ve terimlerle karşılaştırılabilir olmalıdır.
- **Anlaşılabilirlik:** KPI'lar, anlamının, özellikle kurumsal hedefler açısından, ekip üyeleri, yönetim ve müşteriler tarafından anlaşılabilir olmalıdır.
- **Ucuzluk:** KPI'lar, ölçüm, hesaplama ve raporlama maliyetinin düşük olduğu ölçüde ucuz olmalıdır.

Bir KPI tanımı verildiğinde, içeriği hakkında bilgi içermelidir. Bu bilgiler aşağıda sıralanmıştır (ISO, 2014):

- **İsim:** KPI ismi (Örneğin; kullanılabilirlik, işçi etkinliği)
- **Kimlik**: Kullanıcı tanımlı bir KPI tanımlaması
- **Açıklama:** KPI'nın bir açıklaması
- **Kapsam:** KPI'nın ilgili olduğu öğenin tanımlanması (Örneğin; bir iş birimi, iş merkezi, iş emri, ürün veya personel)
- **Formül:** KPI'nın elementler olarak tanımlanan matematiksel formülü
- **Ölçü birimi:** KPI'nın ifade edildiği temel birim veya boyut (Örneğin; %, €)
- **Aralık:** KPI'nın üst ve alt mantıksal sınırları
- **Eğilim:** İyileştirme yönü hakkında bilgi (Örneğin; daha yüksek-daha iyi veya daha düşük)

ISO 22400 standardına göre örnek bir KPI şablonu Şekil 3.2' de verilmiştir.

KPI tanımı (KPI description)
İçerik: (Content:)
Ad (Name)
Kimlik (ID)
Tanım (Description)
Kapsam (Scope)
Formül (Formula)
Ölçü birimi (Unit of measure)
Aralık (Range)
Eğilim (Trend)
Bağlam: (Context:)
Zamanlama (Timing)
İzleyici (Audience)
Üretim Yöntemi (Production methodology)
Etki modeli diyagramı (Effect model diagram)
Notlar (Notes)

Şekil 3.2. KPI Tablo Yapısı (ISO, 2014).

KPI'lar, performansı izlenen bir sistemin amaçlarını değerlendirmek veya bir sistemin gelecekteki davranışını tahmin etmek gibi iki gruba ayrılan çeşitli amaçlarla kullanılabilir (Dominguez vd., 2019):

- **Değerlendirme:** Değerlendirme başlığı kendi içerisinde sonuç bilgisi ve türetilmiş eylemler olmak üzere iki alt amaca ayrılmaktadır.

  - **Sonuç bilgisi:** Bir kurumun geçmişi veya bugünü hakkında bilgi edinmek için değerlendirme yapılabilir. Geçmişe ait bilgiler şirketin tarihsel verilerini değerlendirerek elde edilebilir. Örneğin, veri depolama ve veri madenciliği gibi araçlarından faydalanan bir eğilim keşfedilebilir. Diğer taraftan, mevcut değer ve tanımlanmış KPI' ların mevcut durumu analiz edilerek mevcut farkındalık oluşturulabilir. Bu bilgiler, şirketin mevcut durumunu bilmek ve diğer benzer şirketlerle karşılaştırmakla ilgili olabilir.

  - **Türetilmiş eylemler:** Belirli bir önlem istenen, hedef değeri elde edemediğinde tetiklenecek olan eylemleri ifade etmektedir. Örneğin, iki farklı unsur tanımlanabilir: Bunların ilki durumu, sorumlu işletme kullanıcılarına veya karar vericilere bildirmek için mesaj ya da uyarı, diğeri ise ilgili süreçlerle ilgili yapılacak işlemlerdir (askıya alınması veya yeni bir sürecin başlangıcı).

- **Tahmin:** Tahmin başlığı kendi içerisinde aktif süreç analizi ve what - if analizi olmak üzere iki alt amaca ayrılmaktadır.

  - **Aktif süreç analizi:** Aktif süreç örneklerinin KPI değerleri üzerindeki öngörücü analiz, oluşabilecek olası sorunları proaktif olarak tahmin etme veya azaltma kararlarının alınmasına yardımcı olabilir. Örneğin, farklı unsurların karar ağacı oluşturulabilir (kritik faktör analizi) veya meydana gelen arızaların etkisi, olumsuz etkilerini önlemek veya azaltmak için hesaplanabilir (etki analizi).

- **What - if analizi:** Gelecekteki KPI değerlerin farklı alternatifler göz önünde bulundurularak tahmin edilmesi, şirketlerin iyileştirme stratejisini daha iyi planlamalarını ve duyarlılıklarını geliştirmelerini sağlar. Örneğin, KPI'lar, en optimal olanı aramaya ya da elde edilebilecek sonuçları bilmek için belirli bir gelecek planını öngörmeye yönelik çeşitli olasılıkları öngörmek için simülasyonlarla birlikte kullanılabilir (senaryo analizi).

3.2.3. Göstergelerin Belirlenmesi

Göstergelerin tanımı ve formülasyonlarının yapılmasının ardından en önemli iş oluşturulan hedeflere en uygun göstergelerin belirlenmesidir. Bir imalat işletmesindeki göstergelerin seçimi ve kullanımı izleyen maddelerde gösterilmiştir (Pramangioulis vd., 2019):

- Değerlendirilecek faaliyetler ve faaliyet unsurları tanımlanmalıdır.
- Anahtar Performans Göstergeleri kullanılarak gerçekleştirilecek hedefler belirlenmelidir.
- Hedefleri gerçekleştirmek için performans göstergeleri kullanılırken operasyonel eylemler de açıklanmalıdır.
- Anahtar Performans Göstergeleri için değerlendirme kriterleri ve ilgili ölçümler tanımlamalıdır.
- Bu hususlarda uygun KPI'lar seçilmelidir.
- Elde edilen KPI verileri ile hedefler değerlendirilmelidir.
- Hedeflere ulaşmak için ilgili eylemler gerçekleştirmelidir.

Teknik olarak bir KPI çok basittir. Bir sayısal değer içerir. Şu anki değerin ne olduğunu gösterir. Çoğu zaman bu tek başına çok anlamlı değildir. Anlamlı olması için bir de hedef içermesi gerekir. Elde edilen değer hedefe göre ne durumdadır sorusuna cevap aranır. KPI'lar oluşturulurken daha etkili sonuçlar elde edilebilmek için şu sorular sorulmalıdır (Chan ve Chan, 2004):

- Ne ölçülecek?
- Kaç tür sayısal değer kullanılacak? (zaman, sayı, para, … vb)
- Ne sıklıkla ölçülecek?
- Bu ölçümlerin hazırlanmasından kim / kimler sorumlu olacak?
- Ölçüm değerlerini hazırlamanın detay düzeyi ne olacak?
- Bu ölçümler nasıl indirgenecek? (Kaynaklar, dokümanlar, IT çözümleri vb)
- Sektörde kıyaslama yapılabilecek firmalar var mı?
- Bu değerler belirlenen stratejik hedeflerle uyumlu mu?

Kurumsal performans ölçümünde önemli rol oynayan KPI'lar, kurumun hedef ve stratejileri ile uyumlu olarak belirlenen ve sayısal bir takım hedeflere ulaşma derecesini ölçen göstergelerdir. KPI sisteminin oluşturulma ve kullanılma aşamasında dikkat edilecek hususlar aşağıda belirtilmiştir (Chan ve Chan, 2004):

- KPI'lar organizasyona ait çıktı ve sonuçların kritik noktalarına odaklanmalıdır.
- KPI sistemi yalnızca yönetilebilir ve sınırlı sayıda göstergeden oluşmalıdır. Aksi takdirde takibi zor bir sistem haline dönüşebilmektedir.
- KPI'ların sistematik kullanımı esastır.
- KPI'ların veri toplama evresi oldukça basit olacak şekilde tasarlanmalıdır.
- Performans ölçümünün etkili olabilmesi, organizasyonda yer alan kişiler tarafından anlaşılmalı, kabul edilmeli ve sahiplenilmesine bağlıdır.
- KPI sisteminin organizasyona ayak uydurabilmesi için zamanla değiştirilmesi ve geliştirilmesi gerekmektedir.

4. YÖNTEM VE ARAÇLAR

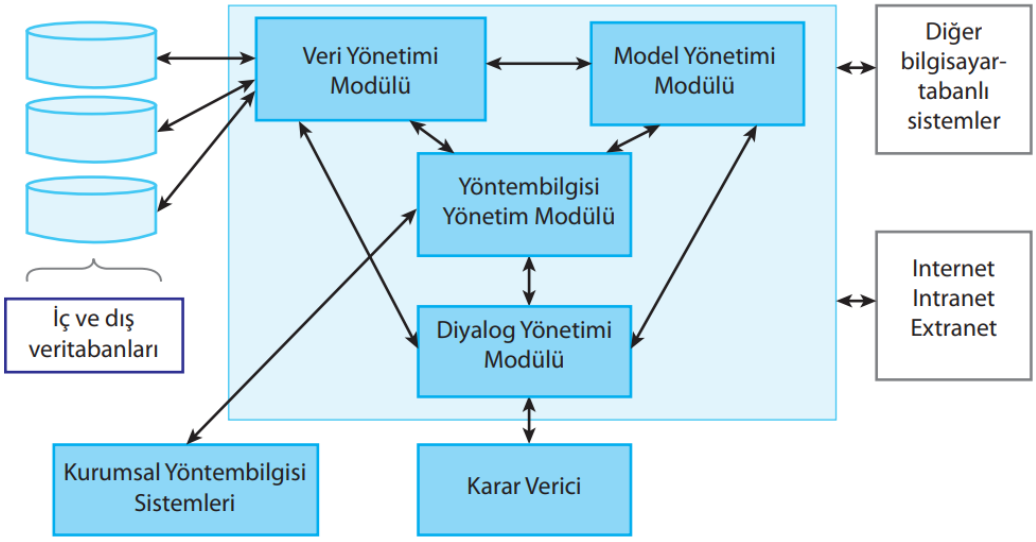
Çalışma kapsamında anahtar performans göstergelerine dayalı, eldeki verilerden faydalanarak karar verme sürecini destekleyecek, seçim yapma veya senaryo üretme sürecinde kullanılabilecek bir karar destek sistemi oluşturulmuştur. Karar destek sistemleri literatürde birçok farklı alanlarda uygulanmıştır.

Simonovic (1999), bir karar destek sistemini şöyle tanımlamıştır: "Karar destek sistemi, karar vericilerin bir karar verme sürecinde destek için anlamlı bilgiler üretmek üzere bir kullanıcı-makine arayüzünde kişisel yargıyı bilgisayar çıktısı ile birleştirmesine izin verir. Bu tür sistemler, talep üzerine mevcut olan tüm bilgileri kullanarak tüm sorunların (yapılandırılmış, yarı yapılandırılmış ve yapılandırılmamış) çözümüne yardımcı olabilir. Problem çözmek için nicel modeller ve veritabanı öğelerini kullanırlar. Karar vericinin problem tanımlama ve çözme yaklaşımının ayrılmaz bir parçasıdır."

Karar destek sisteminin amacı insanların yerini almak değil, karar vericilerin bilinçli seçimler yapmalarına destek olmaktır. Sonunda, bir soruna tatmin edici bir çözüm bulmak için gereken süre ve adımlar esasen kısalır. Literatürde, tasarımdan planlamaya, yönetime ve operasyonlara kadar uzanan çeşitli mühendislik görevleri için karar destek sistemleri üzerine önemli çalışmalar bildirilmiştir. (Ahmad ve Simonovic, 2006)

Kapanoğlu (2016), karar destek sistemlerinin 5 bileşenden oluştuğunu ifade etmiştir. Oluşturduğu hiyerarşi Şekil 4.1' de verilmiştir.

- Karar verici
- Model yönetimi modülü
- Veri yönetimi modülü
- Diyalog yönetimi modülü
- Yöntem bilgisi yönetimi modülü



Şekil 4.1. Karar Destek Sistemlerinin Bileşenleri (Kapanoğlu, 2016)

Tasarlanan KDS'nin Veri Yönetimi Modülünde KPI Veritabanı bulunmaktadır. Makinelerden anlık olarak toplanan performans değerleri burada saklanmakta olup sürekli güncelliği kontrol edilmektedir. Diyalog Yönetimi Modülünde Python programlama diliyle oluşturulmuş kullanıcı dostu web arayüzü bulunmaktadır. Karar vericiler, butonlar sayesinde parametre seçimlerini yaparak KDS ile etkileşime girebilmekte, ayrıca KDS'nin döndürdüğü grafikler ve yorumlamalar da anlaşılır şekilde karar vericiye sunulmaktadır. Model Yönetimi Modülünde ise elde edilen performans değerleri Python içerisinde matematiksel modellere dönüştürülmüş ve sonuçları analiz etmek için algoritmalar oluşturulmuştur. Verileri değerlendirmek için istatistiksel süreç kontrolü teknikleri, geleceğe yönelik tahminlerde bulunmak için de Python-Keras kütüphanesi yardımıyla LSTM gibi popüler yapay sinir ağları modeli kullanılmıştır. İzleyen kısımda kullanılan tüm yöntemler detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

4.1. İstatistiksel Analiz İle Performans Değerlendirme

Bu çalışmada Anahtar Performans Göstergelerinin sonuçlarını değerlendirmek ve anlaşılır grafiklerle kullanıcıya sunmak için istatistiksel süreç kontrolü (Orijinal adıyla Statistical Process Control, SPC) teknikleri kullanılmaktadır. İstatistiksel süreç kontrolü başta üretim sistemlerinde olmak üzere birçok sektörde sistemin başarı/kalite uygunluğunu araştırmada kullanılmaktadır.

İstatistiksel süreç kontrolünün temel teorisi 1920'lerin sonunda, ABD'deki AT&T Bell Laboratuvarlarında bir istatistikçi olan Walter Shewhart tarafından geliştirilmiştir. Daha sonra II. Dünya Savaşı sonrası Japonya'da uygulanmış ve sonunda Edwards Deming tarafından dünyaya yayılmıştır. Çizelge 4.1'de bu konuyla ilgili literatürde yer alan bazı tanımlar yer almaktadır.

Çizelge 4.1. Literatürde İstatistiksel Süreç Kontrolü

Referans	**Tanım**
van de Glind vd. (2016)	İstatistiksel süreç kontrolü, ölçümlerde yapısal bir değişikliğin, yani şansa bağlı olmayan bir değişikliğin ne zaman meydana geldiğini göstermek için bir dizi ölçümün analiz edildiği istatistiksel yöntemlere dayanır. Bu gerçekleştiğinde, sürecin kontrol altında ya da kontrol dışı olduğu söylenir. Kontrol dışı durumlar, ölçümlerin zaman içindeki değişkenliğinin analizi ile belirlenir.
Aydın ve Kargı (2018)	İstatistiksel süreç kontrolü, bir ürünün ekonomik olarak ihtiyaca uygun üretimini yapmak için verileri toplamak, analizini yapmak, yorumlamak ve çözüm yolları önermek üzere istatistik prensip ve tekniklerinin, üretimin tüm aşamalarında kullanılmasıdır. Burada amaç, hem işletme içinde kusurları yakalamak hem de kusurlu ürün üretilmeden önce müdahalede bulunarak önlem almaktır. İstatistiksel kalite kontrol teknikleri, sürecin; tasarım, üretim, ürün sonrası hizmetlerin her aşamasında uygulanmaktadır.
Vetter ve Morrice (2019)	İstatistiksel süreç kontrolü, performans ve kalite verilerinin analiz yöntemlerini titiz, ardışık ve zaman bazlı olarak grafiklerle birleştiren bir istatistik dalıdır. İstatistiksel süreç kontrolü ve birincil aracı olan kontrol grafikleri, araştırmacılara ve uygulayıcılara kalite geliştirme çabalarında daha iyi bir anlayış ve veri iletme yöntemi sağlar.
Montgomery (2020)	İstatistiksel süreç kontrolü, değişkenliğin azaltılması yoluyla süreç kararlılığının sağlanmasında ve iyileştirilmesinde yararlı olan güçlü bir problem çözme araçları koleksiyonudur. İstatistiksel süreç kontrolünün uygun şekilde yerleştirilmesi, bir organizasyondaki tüm bireylerin kalite ve verimlilikte sürekli iyileştirme arayışında olduğu bir ortam yaratmaya yardımcı olur. Bu ortam, yönetimin sürece dahil olmasıyla en iyi şekilde geliştirilir ve kalite iyileştirme hedeflerine ulaşma yolunda ilerler.

Bir sürecin olağan biçimde devam edip etmediğinin kontrolü, olağan dışı bir durum varsa yapılacak eylemlerin belirlenmesi için yapılan tüm faaliyetlere İstatistiksel Süreç Kontrolü denir. İstatistiksel Süreç Kontrolü, bir süreci sürekli denetleme ve süreçteki değişkenliği kontrol altına almada kullanılan birçok yöntem içermektedir. Yedi İstatistiksel Süreç Kontrolü aracı bu yöntemlerdendir: Kontrol grafikleri, Kutu grafiği, Histogram, Pareto Analizi, Neden-Sonuç Diyagramı, Gruplandırma ve Serpme Diyagramı. Bu çalışmada kontrol grafiği, kutu grafiği, histogram ve serpme diyagramları kullanılmaktadır. Devam eden başlıklarda bu yöntemlerin detayları anlatılmıştır.

4.1.1. Kontrol grafikleri

Kontrol grafikleri, istatistiksel süreç kontrolünün önemli araçlarındandır. Shewhart tarafından bulunan kontrol grafikleri, süreçteki anormal değişkenlikleri tespit etmede ve belirlenen sınırlar içerisinde değişimi takip etmede yaygın olarak kullanılmaktadır.

Shewhart kontrol grafikleri, ürün şartlarının yerine getirilip getirilmediğine ve sürecin bu noktada kendi ürettiği değişkenlik sınırları içinde olup olmadığına karar vermede bir araç olarak kullanılmaktadır. Bir ürünün önceden belirlenmiş kalite spesifikasyonlarına uygunluğunu hedef alarak, kusurlu ürün üretimini en aza indirmek amacıyla istatistiksel prensipler temelinde işletmelerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Montgomery'e (2020) göre kontrol grafikleri, bir örnekten ölçülen veya hesaplanan bir kalite karakteristiğinin örnek numarası veya zamanına karşı grafiksel bir görüntüsüdür. Grafik, kontrol altındaki duruma karşılık gelen kalite karakteristiğinin ortalama değerini temsil eden bir orta çizgi içerir. Üst kontrol sınırı ve alt kontrol sınırı olarak adlandırılan diğer iki yatay çizgi de grafikte gösterilmektedir. Kontrol grafiklerinde noktalar kontrol sınırları içinde ve rastgele dağılması halinde süreç kontrol altında olarak değerlendirilir. Aksi durumda kontrol sınırları dışında bir nokta varsa veya sistematik biçimde rastgele olmayan bir şekilde noktalar dağılıyorsa, bu sürecin kontrol dışı olduğunun bir göstergesidir. İstatistiksel süreç kontrolü ile kontrol dışı durumlarda bu durumun nedeni araştırılarak, ilgili nedeni ortadan kaldırmak için gerekli düzeltici eylemler planlanır.

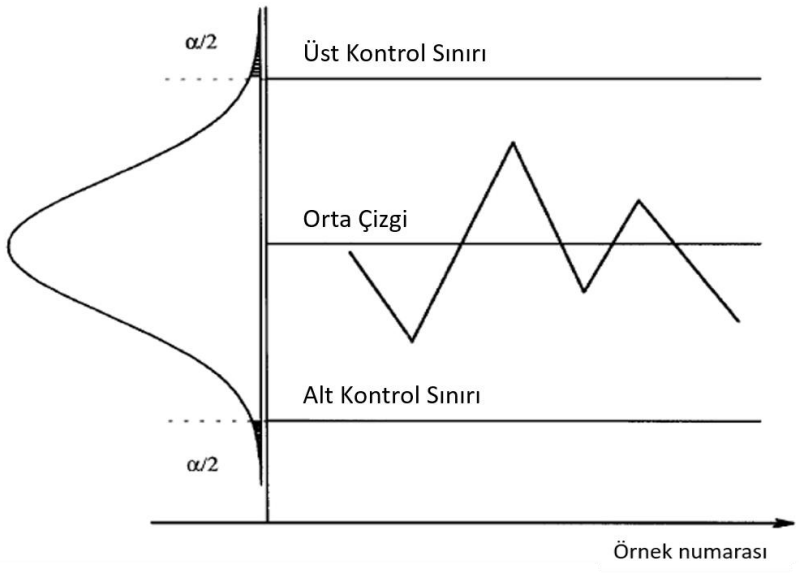
Montgomery'e (1985) göre, $\bar{X}$ (ortalama) grafiği eğilimi kontrol etmek için en yaygın kullanılan grafiktir. Buna karşılık R (örnek aralığı) veya S (örnek standart sapması)'ye dayanan grafikler süreç değişkenliğini kontrol etmek için kullanılır (Dedeakayoğulları ve Burnak, 1999). Denklem 4.1' de X-ortalama kontrol grafiğinin kontrol sınırları verilmiştir.

$$\text{Üst Kontrol Sınırı} = \mu + 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\text{Orta Çizgi} = \mu$$

$$\text{Alt Kontrol Sınırı} = \mu - 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \qquad (4.1)$$

Normal dağılım oluşturan süreçlerde, gözlenen değerlerin %99,73'ünün kontrol sınırlarının içinde yer alması beklenir. Süreçte gözlenen değerlerin kontrol sınırlarının dışına düşme olasılığı yaklaşık %0,3'tür. Şekil 4.2' de kontrol grafiğine ait görsel ve normal dağılımla ilişkisi verilmiştir.



Şekil 4.2. Kontrol Grafiği ve Normal Dağılımla İlişkisi (Dedeakayoğulları ve Burnak, 1999)

Uygulamada makinelere ait KPI değerlerinin periyotlar içerisindeki durumun ve değişkenliğini gözlemlemek için kullanılan kontrol grafikleri, toplanan verilere dayanarak performans hedefinin izlenilmesine olanak sağlar. Bu doğrultuda, örneklem içerisindeki KPI

değerlerinin ortalaması ve standart sapmaları kullanılarak kontrol grafiği tekniğiyle görselleştirilmiştir. Böylece KPI ortalamasındaki sapmaların tespiti mümkün kılınmıştır. Tasarlanan sistemin kullanıcısının sapmalardan hareketle düzeltici önlemleri zamanında alması amaçlanmıştır.

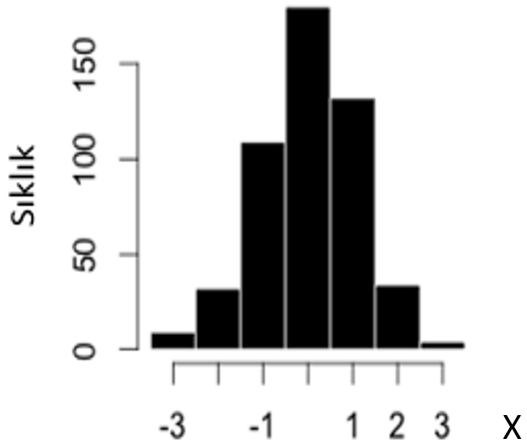
4.1.2. Histogram

Histogram, ölçüm değerlerinin gruplandırılmış dikdörtgenler dizisi şeklinde grafiklendirilmesidir. Histogramdaki dikdörtgenlerin tabanları sınıf aralıklarını, yükseklikleri ise sınıf frekanslarını, yani o sınıfa ait veri sayısını temsil eder. Histogramları oluşturan dikdörtgenlerin taban genişlikleri sınıf aralıklarına eşit, alanları ise frekansları ile doğru orantılıdır.

Britannica Ansiklopedisi'ndeki tanıma göre (Encyclopædia Britannica, 2020) histogram, uzunlukları miktarları gösteren dikey veya yatay çubukların kullanıldığı grafiktir. Pasta grafiğin yanı sıra, histogram, istatistiksel verileri temsil etmek için en yaygın biçimdir. Avantajı, yalnızca en büyük ve en küçük kategorileri açıkça göstermesi değil, aynı zamanda verilerin dağılımı hakkında anında bir izlenim vermesidir. Aslında, histogram, bir frekans dağılımının bir temsilidir.

Bir histogram oluşturmak için, veri genellikle sınıf aralıkları, hücreler veya bölmeler olarak adlandırılan aralıklara bölünmelidir. Bölmelerin sayısı ve her bölmenin alt ve üst sınırları belirlendikten sonra, veriler bölmelere sıralanır ve her bölmedeki gözlemlerin sayımı yapılır. Histogramı oluşturmak için verilerin ölçüm ölçeğini temsil etmek üzere yatay eksen ve sayıları veya frekansları temsil etmek için dikey ölçek kullanılır. Her bölmenin üzerine dikdörtgenler çizilir ve her dikdörtgenin yüksekliği frekansla orantılıdır (Montgomery, 2020).

Uygulamada makinelere ait KPI değerlerinin en sık hangi aralıklarda yer aldığını gözlemlemek amacıyla histogram grafiği kullanılmaktadır. Şekil 4.3' te histograma ait görsel verilmiştir.



Şekil 4.3. Histogram (Anonim, 2020)

İstatistiksel süreç kontrolünde kullanılan histogramlarda şu hususlara dikkat edilmesi gerekir (Patır, 2009):

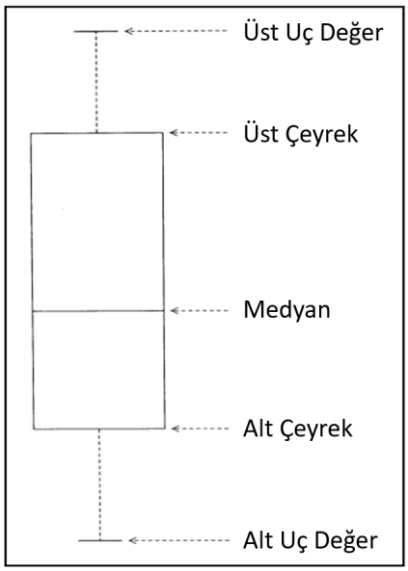
- Ölçülen özellik sürekli bir değişken olmalıdır. Yatay eksen bu sürekli değişkeni temsil eder.
- Bir histogramda sadece tek bir özellik tasvir edilmelidir. Yani, yatay eksen tek bir değişkene ait ölçümleri gösterir.
- Sınıf aralıkları eşit olmalıdır. Sınıf aralığı, değişim aralığını sınıf sayısına bölmek suretiyle ayarlanabilir. En küçük değer ilk sınıfa, en büyük değer ise son sınıfta olacak şekilde sınıflar ayarlanır.
- Sınıf sayısı 5 ile 20 arasında olmalıdır. Sınıf sayısını belirlemede Sturgess kuralına uyulması tavsiye edilir. Yani, $k = 1 + 1{,}33 \log n$ (k: sınıf sayısı, n: veri sayısı). Veri grubunu oluşturan eleman sayısının 50'den az olmaması tavsiye edilir. Çünkü veri sayısı azaldıkça sınıf sayı da azalacaktır. Bu durumda histogram, verilerin gerçek dağılımını yansıtmaz.

4.1.3. Kutu grafiği

Kutu grafiği, verilerin merkezi eğilim, yayılma veya değişkenlik, simetriden ayrılma ve verilerin büyük bir kısmından olağandışı bir şekilde uzakta bulunan gözlemlerin (bu gözlemler, genellikle "aykırı değerler" olarak adlandırılır) tanımlanması gibi verilerin birkaç

önemli özelliğini eşzamanlı olarak görüntüleyen grafik bir görüntüdür. Kutu grafikleri, veri kümeleri arasındaki grafiksel karşılaştırmalarda çok kullanışlıdır, çünkü görsel etkiye sahiptir ve anlaşılması kolaydır. Bazı araştırmacılar kutu grafiğini kutu ve bıyık grafiği olarak adlandırmaktadır (Montgomery, 2020).

Uygulamada makinelere ait KPI değerlerinin periyotlar içerisindeki dağılımını, uç değerlerini ve eğer varsa aykırı değerlerini göstermek için kutu grafiği kullanılmaktadır. Şekil 4.4' te kutu grafiğine ait görsel verilmiştir.



Şekil 4.4. Kutu Grafiği (McGill vd., 1978)

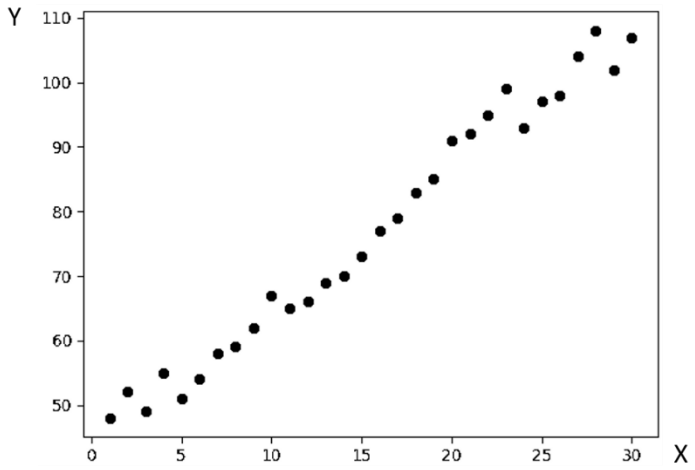
Kutu grafikleri, 25 50 ve 75 yüzdelik dilimleri (aynı zamanda alt çeyrek (Q1), medyan (Q2) ve üst çeyrek (Q3) olarak da bilinir) ve çeyrekler arası aralığı (IQR = Q3 - Q1) kullanan bir örneği karakterize eder. Çeyrekler, aykırı değerlere karşı duyarsızdır ve yayılma hakkındaki bilgileri içerir. Asimetrik veya düzensiz şekilli popülasyon dağılımları ve aşırı uç değerlere sahip örnekler için ortalamaya ve standart sapmaya göre tercih edilir.

Kutunun içindeki çizgi, merkezde olması gerekmeyen medyanı gösterir. Çizim dikey veya yatay olarak yönlendirilebilir. Uç sınırlar geleneksel olarak çeyreklerden 1.5 × IQR'den fazla olmayan en uç veri noktasına (Tukey stili) veya veri değerlerinin minimum ve

maksimumuna (Spear stili) kadar genişletilir. Bunların simetrik olmasına gerek yoktur (Krzywinski ve Altman, 2014).

4.1.4. Serpme diyagramı

İstatistiksel süreç kontrolünün bir diğer yöntemlerin olan serpme (serpilme) diyagramı özellikle istatistiksel regresyon ve korelasyon alanında kullanılmaktadır. İki değişken arasındaki ilişkiyi göstermeye yarayan diyagram, X eksenine bağımsız değişkenin, Y eksenine ise bağımlı değişken yerleştirilerek denk gelen değerlerin noktayla işaretlenmesiyle oluşur. Uygulamada makinelere ait KPI değerlerinin birbirlerine bağlı değişimlerini incelemek için kullanılmaktadır. Şekil 4.5' te X ve Y arasında kuvvetli bir ilişki olduğunu gösteren bir serpme diyagramı verilmiştir.

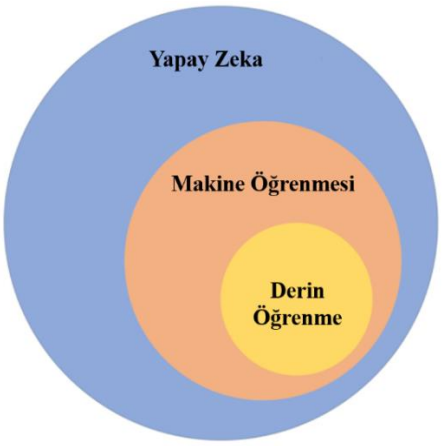


Şekil 4.5. Serpme Diyagramı

Serpme diyagramlarında yer alan değerlerin arasındaki ilişkiyi, Patır (2009) şöyle açıklamıştır: Eğer iki seri arasındaki ilişki çok kuvvetli ise serpme diyagramındaki X ve Y değerlerinin kesişme noktaları belli bir hareket çizgisi ya da yol etrafında yer alır. İlişkinin hiç mevcut olmaması veya zayıf bulunması haline gelince, bu durumlarda X ve Y değerlerinin kesişme noktaları darmadağınıktır. Dolayısıyla bu noktaların ne serpme diyagramı üzerinde bir yol teşkil ettikleri ne de doğrudan eğri veya doğru bir çizgi üzerinde sıralandıkları iddia edilir.

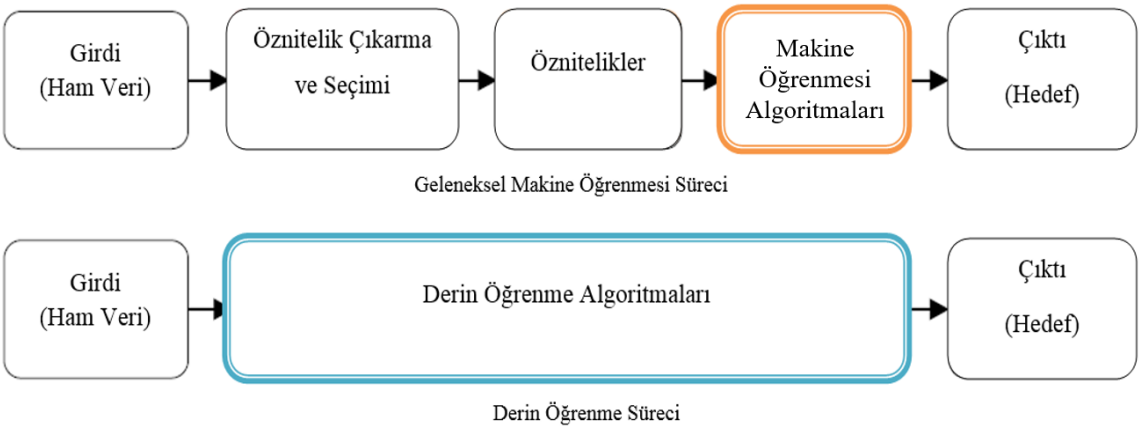
4.2. Derin Öğrenme İle Performans Değerlendirme

Anahtar performans göstergelerinin değerlerini yorumlamak ve geleceğe yönelik olarak tahmin etmek için derin öğrenme teknikleri kullanılmaktadır. Derin öğrenme insan yapısını taklit ederek kendi içerisinde otonom öğrenme yapıları oluşturmayı amaçlayan bir makine öğrenmesi yöntemidir. Şekil 4.6, derin öğrenmenin yapay zekanın bir alt kümesiyken makine öğrenmesinin de bir alt kümesi olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.6. Yapay Zeka, Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme (Miraftabzadeh vd., 2019)

Makine öğrenmesinin birincil amacı, ham verilerden otomatik bilgi öğrenimi sağlayabilen, hızlı yanıtlı öğrenme yöntemlerinin geliştirilmesidir. Standart bir makine öğrenimi algoritması kesin olmayan bir tahmini yansıtıyorsa, tasarımcısı tarafından bazı ayarlamalar yapılması gerekir. Bununla birlikte, derin öğrenme algoritmaları, bir tahminin doğru olup olmadığını otomatik olarak belirleyebilir. (Miraftabzadeh vd., 2019). Şekil 4.7, geleneksel makine öğrenmesi ve derin öğrenme süreçlerini ve aralarındaki farkları göstermektedir.



Şekil 4.7. Geleneksel Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme Süreci (Zhang, Yang ve Wang, 2019)

Derin öğrenme, kendisine verilen girdi verilerinden öğrenen ve makineyi karar almaya yetenekli hale getiren derin sinir ağını kullanarak daha uyarlanabilir bir yol sağlar. Makine öğrenmesinin göreve özgü algoritmalarının aksine derin öğrenme, veri temsillerini öğrenmeye dayalı bir yöntemdir (Ganatra ve Patel, 2018). Derin öğrenme literatürde birçok kaynakta farklı şekillerde tanımlanmaktadır. Çizelge 4.2' de bu tanımlar özetlenmiştir.

Çizelge 4.2. Literatürde Derin Öğrenme

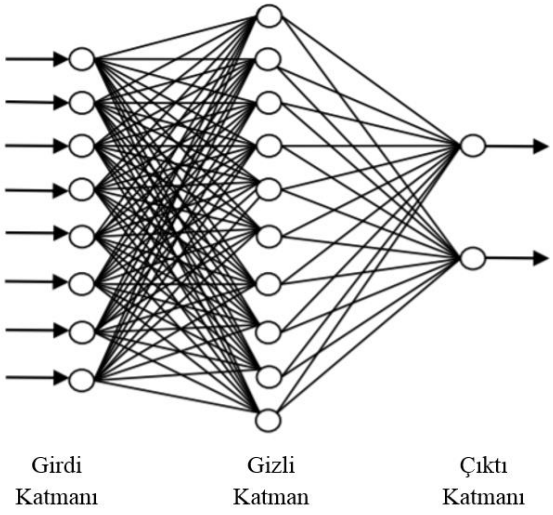
Referans	**Tanım**
LeCun vd. (2015)	Derin öğrenme yöntemleri, verileri ham girdiden başlayarak basit ama doğrusal olmayan modüller oluşturarak, temel seviyeden daha yüksek ve biraz daha soyut bir düzeyde veriye dönüştüren öğrenme yöntemleridir. Bu tür dönüşümlerin yeterli bileşimi ile çok karmaşık fonksiyonlar öğrenilebilir. Derin öğrenmenin temel yönü, bu özellik katmanlarının insan mühendisler tarafından tasarlanmamış olmasıdır. Temel prensip genel amaçlı bir öğrenme prosedürü kullanarak verilerden öğrenme üzerinedir.
Shi vd. (2017)	Derin öğrenme, "derin" ağ mimarileri üzerinde makine öğrenim yöntemlerinin bir dalıdır. "Derin öğrenme" kavramı, 1943'te McCulloch ve Pitts tarafından "siber ağlar" adıyla önerilmiştir

Çizelge 4.2. Literatürde Derin Öğrenme (devam)

Referans	Tanım
Maried vd. (2017)	Derin öğrenme, girdi verilerinden bir özellik hiyerarşisini öğrenmeyi amaçlayan bir makine öğreniminin alt alanıdır. Derin öğrenme yöntemleri, derin bir mimari oluşturarak özellikleri hiyerarşik olarak alt seviyeden daha yüksek seviyeye kadar öğrenebilen bir grup makine öğrenme yöntemidir. Derin öğrenme yöntemleri, çoklu düzeylerdeki özellikleri otomatik olarak öğrenme yeteneğine sahiptir, bu da sistemin karmaşık haritalama işlevini doğrudan insanlardan elde edilen özelliklerin yardımı olmadan doğrudan verilerden öğrenmesini sağlar.
Zucker ve Giryes (2018)	LeCun vd. (2015), Schmidhuber (2015) ve Goodfellow vd. (2016)'a göre, derin öğrenme, belirli bir görevi yerine getirmek için katmanlı bir biçimde yapılandırılmış yüksek derecede doğrusal olmayan parametrik fonksiyonları eğitmek için hesaplamalı sezgiselliğin bir parçasıdır.

Derin öğrenme ile yapay sinir ağları kavramları çoğu kaynaklarda birlikte kullanılmaktadır. Derin öğrenme yapay sinir ağlarının ileri düzeyli bir yaklaşımıdır. Tek katmanlı yapay sinir ağlarından çok katmanlı yapay sinir ağlarına ve sonrasında derin öğrenme algoritmalarının oluşumuna doğru ilerlemiştir (Doğan ve Türkoğlu, 2018).

Yapay sinir ağları, insan beyin yapısından esinlenerek veri iletişimi ve matematiksel hesaplamaların yapılabildiği nöron yapılarına sahiptir. Katmanlar halinde sıralanmış nöronlar, karmaşık modelleri çözmede önemli role sahiptir. Sıradan bir sinir ağı modeli, girdi katmanı (input layer), çıktı katmanı (output layer) ve ikisinin arasındaki bilgi akışını sağlayan gizli katmandan (hidden layer) oluşmaktadır. Modelin sahip olduğu katman sayısı arttıkça, veriler daha karmaşık ve soyut hale gelecektir. Derin öğrenme terimi de bu tip birçok gizli katmana sahip modeller için kullanılmaktadır. Bu sayede daha çok veri işlenebilmekte ve öznitelikler doğrudan ham veriler üzerinden öğrenilebilmektedir. Şekil 4.8' de yapay sinir ağlarının mimarisi gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Yapay Sinir Ağlarının Mimarisi (Barkana vd., 2017)

Bir yapay sinir ağı modeli kurarken veri setinin boyutuna ve özelliklerine göre değişen birden çok parametre kullanılmaktadır. Bu parametreler aşağıda sıralanmıştır:

- **Katman sayısı:** Derin öğrenmede girdi ve çıktı katmanları arasında iletişimi ve derinliği sağlayan gizli katmanlar bulunmaktadır. Katman sayısı arttıkça belli bir noktaya kadar başarı yüzdesi de artmaktadır. Ancak fazla katman sayısı işlem yükünü de artırmasıyla modelin geç sonuç vermesini sağlayacaktır. Kurulan modele göre en uygun katman sayısı araştırılarak bulunmalıdır.
- **Eğitim ve test verisinin boyutu:** Bir yapay sinir ağı kurulurken algoritmaların modele öğretilmesi için gerekli eğitim verisi ve sonuçların doğrulanması için gerekli test verisine ihtiyaç olmaktadır. Veri setinin ayrılması için literatürde genel geçer bir kural yoktur. Çalışmalarda çoğunlukla 2/3 eğitim ve 1/3 test oranı kullanılmaktadır. Veri setinin özelliklerine göre her model için özelleştirilebilir.
- **Aktivasyon fonksiyonu:** Aktivasyon fonksiyonları yapay sinir ağı modellerinde doğrusal olmayan dönüşüm işlemleri için kullanılmaktadır. Girdi katmanındaki ağırlık(w) ve bias(b) değerlerini kullanarak çıkış katmanına doğrusal olmayan sonuçlar çıkarmaktadır. Literatürde bu işlem için kullanılan *Sigmoid*, *Tanh* ve *ReLU* gibi aktivasyon fonskiyonu çeşitleri bulunmaktadır. Sigmoid fonksiyonu, değerleri (0-1) aralığında, tanh fonksiyonu ise (-1,1) aralığında sıkıştırmaktadır. Ancak bu fonksiyonlarda geri yayılımlı öğrenme sırasında türev değerlerinin kaybolmasından

dolayı modelin takılı kalması mümkündür. Bu sebeple karmaşık problemlerin çözüldüğü derin öğrenme modellerinde çoğunlukla ReLU fonksiyonu kullanılmaktadır. ReLU' da (0-1) aralığında sıkıştırılan verilerdeki tüm negatif değerler 0 olarak döndürülür.

- **Optimizasyon fonksiyonu:** Özünde optimizasyon problemleri olan derin öğrenme modellerinde en iyi sonuca ulaşmak için optimizasyon fonksiyonları kullanılmaktadır. Literatürde kullanılan fonksiyonlardan rassal kademeli azaltma (Stochastic Gradient Descent), belirlenen öğrenme hızında sayısal işlemlerle en iyi sonucu vermeye çalışırken adaptif algoritmalar kendi içinde dinamik belirlediği öğrenme hızı ile daha hızlı sonuçlar vermektedir.
- **Hata fonksiyonu:** Derin öğrenmede optimizasyon fonksiyonuyla en iyi sonucu elde etmeye çalışırken bir yandan da hata oranını en küçüklemek gerekmektedir. Bu amaçla regresyon modellerinde kullanılan hata kareleri ortalamaları (MSE) veya mutlak hata ortalamaları (MAE) gibi yöntemler kullanılmaktadır.
- **Eğitim sayısı:** Derin öğrenmede sürekli geri bildirim olmaktadır. Modelin tümü aynı anda eğitilemez. Kendi içinde küçük gruplar halinde veriler eğitilerek modelin başarısı test edilir. Yapılan geri bildirimler ile ağırlıklar güncellenerek en başarılı sonuç elde edilmeye çalışır. Bu her bir adıma eğitim sayısı (epoch) denir ve kurulan modele göre en uygun sayı bulunmalıdır.

Literatürde derin sinir ağları ile oluşturulmuş, Evrişimli Sinir Ağları (CNN), Yinelemeli Sinir Ağları (RNN), Kısıtlı Boltzman Makineleri (RBM), Derin İnanç Ağları (DBN) ve Derin Oto-Kodlayıcılar (DAE) gibi farklı türlerdeki derin öğrenme mimarileri yer almaktadır (Şeker vd., 2017).

Oluşturulan hiyerarşide, öğrenme kapasitesine sahip yapay sinir ağları, makinelerden elde edilen KPI verilerini inceleyerek tahminleme yöntemi olarak bu çalışmada kullanılmıştır. Böylece karar destek sisteminin kullanıcıya erken önlemler alma konusunda yardımcı olması amaçlanmıştır. Bu kapsamda yinelemeli sinir ağları ve onun gelişmiş versiyonu olan LSTM modeli kullanılarak KPI değerlerinin geleceğe yönelik tahmin edilmesi sağlanmıştır. İzleyen başlıklarda çalışmada yer alan derin öğrenme modeli tanıtılmıştır.

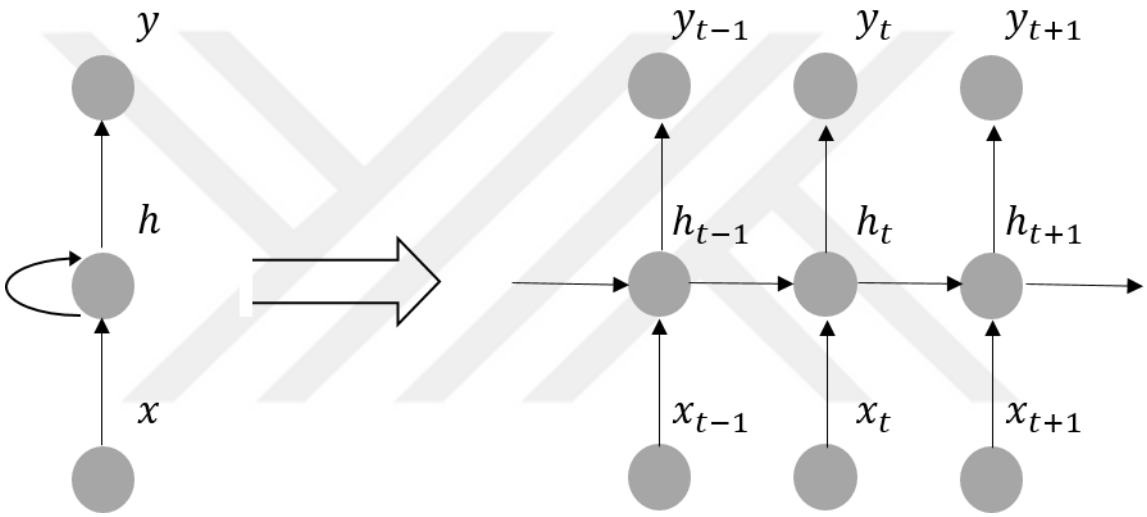
4.2.1. Yinelemeli sinir ağları

Yinelemeli sinir ağları (Orijinal adıyla Recurrent Neural Networks, RNN), sıralanmış nöronlar arasında hem geçmişe hem geleceğe yönelik bilgi akışının sağlandığı ve bu akışın sürekliği tekrarlandığı bir yapıya sahip yapay sinir ağı modeli olarak geçmektedir. Bu özelliğiyle geçmişe yönelik verilerin incelenerek gelecek tahminlemesinde kullanılmaya oldukça elverişlidir. Literatürde tekrarlayan sinir ağları ve tekrarlı sinir ağları olarak da geçmektedir.

RNN kavramında durumlar, ileriye doğru yayılmalarını (forward propagation) aktive ederek ve zamanla geriye doğru yayılmalarını (backward propagation) güncelleyerek yinelemeli olarak kontrol edilir. Yinelemeli sinir ağları sıradan sinir ağlarına farkla dizisel/sıralı (sequential) bilgi kullanmaktadır. Yinelemeli sinir ağları, bilginin sürekliliğini sağlayan döngüler içeren ağlardır. Geleneksel sinir ağlarında tüm girdiler birbirinden bağımsızdır; ancak bazı durumlarda önceki bilgilerin içeriği önemli hale gelmektedir. RNN'ler bilgileri tutmak için her bir zaman adımına karşılık gelen saklı durum (hidden state) yapısını kullanmaktadır ve burası ağın hafızasıdır. Tüm zamanlarda neler olduğuna dair bilgileri saklar. Teoride, RNN'ler uzun vadeli bilgi tutabilmek için tasarlanmalarına karşın, uygulamada sadece birkaç adım önceki bilgiye kadar ulaşılabilmektedir (Pervan ve Keleş, 2019).

Yinelemeli sinir ağı, yapay sinir ağı sınıfına aittir. Bu ağlarda, bir dizi boyunca iç düğümleri arasında yönlendirilmiş bir döngüsel bağlantı vardır. Bir zaman dizisinin dinamik zamansal davranışını sergiler. Bu ağlar, giriş dizilerini işlemek için dahili bellek durumlarını kullanır. Geleneksel yapay sinir ağlarında, bir girdi vektöründeki girdi değerleri birbirinden bağımsızdır ve dolayısıyla bağımsız olarak işlenir. Ancak, çıktının sıralı bir süreçte önceki hesaplamaya bağlı olduğu birçok görev vardır. Yinelemeli sinir ağları, girdilerde sıralı işlemlerin olduğu bu tür görevlere uygulanır. Bu ağa yinelenen adı verilir çünkü dizideki her öğe için aynı görevi gerçekleştirir. Ağ tarafından kullanılan bellek, önceki hesaplamalarla ilgili bilgileri depolar. Pratik olarak, bu ağlar yalnızca önceki birkaç adımın hesaplamalarını hatırlar (Kumar ve Garg, 2018).

Yinelemeli sinir ağı, dahili hafızadan oluştuğu için girişini hatırlayan ilk algoritmalardan biridir ve bu nedenle konuşma ve dil gibi sıralı verileri içeren makine öğrenimi problemlerini çözmek için en uygun olanıdır. Verilen girdi dizisi için, RNN'ler her seferinde bir öğeyi işler ve dahili bir belleğe sahip olduğu için bu öğeler gizli birimlerde tutulur. Bir durum vektörü, belirli bir dizinin geçmişi olarak geçmiş öğe bilgilerini gizli olarak içerir. RNN'lerin eğitimi tipik sinir ağları gibidir ve geri yayılım öğrenme algoritmasını kullanır (Ganatra ve Patel, 2018). Şekil 4.9' da yinelemeli sinir ağlarının kapalı ve açık hali verilmiştir.



Şekil 4.9. Yinelemeli sinir ağlarının kapalı ve açık hali (Ganatra ve Patel, 2018).

Yinelemeli sinir ağı, amacı dizide gözlemlenen önceki adımlara göre gözlem dizisindeki bir sonraki adımı tahmin etmek olan özel bir sinir ağı durumudur. Aslında, RNN'lerin arkasındaki fikir, sıralı gözlemlerden yararlanmak ve gelecekteki eğilimleri tahmin etmek için önceki aşamalardan öğrenmektir. Sonuç olarak, sonraki adımlar tahmin edilirken önceki aşamalardaki verilerin hatırlanması gerekir. RNN'lerde, gizli katmanlar, sıralı verileri okumanın önceki aşamalarında yakalanan bilgileri depolamak için dahili depolama görevi görür. RNN'ler "yinelemeli" olarak adlandırılır çünkü sıranın her öğesi için aynı görevi yerine getirirler. Tipik bir RNN ile ilgili en büyük zorluk, bu ağların dizideki yalnızca birkaç önceki adımı hatırlaması ve bu nedenle daha uzun veri dizilerini hatırlamaya uygun olmamasıdır. Bu zorlu sorun, Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) kullanılarak çözülür (Siami-Namini ve Namin, 2018).

4.2.2. Uzun kısa süreli bellek (LSTM)

Uzun Kısa Süreli Bellek (Orijinal adıyla Long Short Term Memory, LSTM) ilk olarak 1997 yılında Hochreiter ve Schmidhuber tarafından RNN modelinin daha uzun vadelerde bilgi saklayabilen gelişmiş bir versiyonu olarak sunulmuştur. Hochreiter ve Schmidhuber (1997), yayımladıkları çalışmalarında yinelemeli sinir ağlarının eksikliğini ve ortaya koydukları LSTM modelini şöyle tanımlamışlardır:

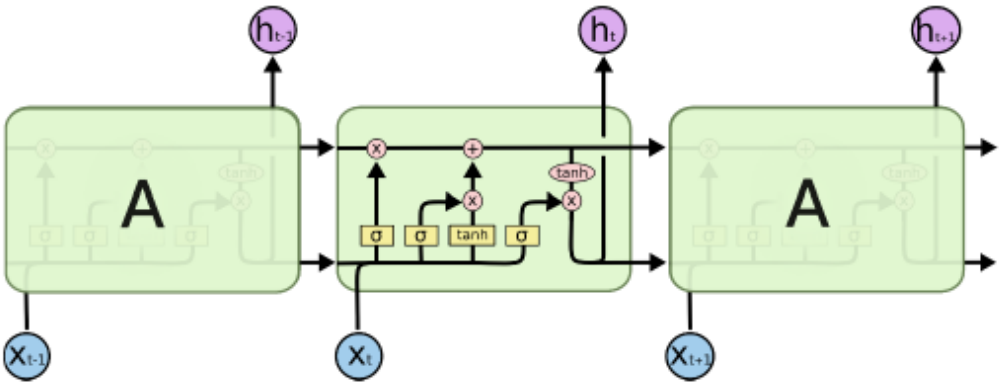
"Yinelemeli ağlar, prensip olarak, en son girdi olaylarının temsillerini aktivasyonlar biçiminde depolamak için kısa süreli geri besleme bağlantılarını kullanabilir. Kısa süreli belleğe ne koyacağını öğrenmek için en yaygın kullanılan algoritmalar, girdiler ve karşılık gelen öğrenme sinyalleri arasındaki minimum zaman gecikmeleri uzun olduğunda çok fazla zaman alır veya hiç iyi çalışmaz.

LSTM, bu geri akış problemlerindeki hataların üstesinden gelmek için tasarlanmıştır. Gürültülü, sıkıştırılamaz giriş dizileri durumunda bile, kısa gecikme yeteneklerini kaybetmeden 1000 adımı aşan zaman aralıklarını köprülemeyi öğrenebilir. LSTM, geçit işlevlerini durum dinamiklerine dahil ederek sıradan yinelemeli sinir ağlarında yaygın olarak bulunan kaybolan gradyan problemini ele alır. Bu, sürekli zorlayan bir mimari için verimli, gradyan tabanlı bir algoritma ile elde edilir."

RNN için hafıza açısından çok geriye gitmek mümkün değildir. Bu aşamada RNN' lerin çok yaygın kullanılan bir türü olan LSTM ortaya çıkmaktadır. Bir kelime tahmini problemi üzerinden değerlendirme yapılırsa, LSTM sayesinde her kelimeden sonra, önceki kelimelerin bilgisi kullanılarak mevcut kelime hakkında anlamlı bilgi çıkarımı yapılabilir. Bazen aranan kelimeyi net olarak çıkarmayı sağlayacak bilgi, aranan kelimeye çok uzak olabilir, aradaki mesafe çok fazla olabilir. Bu tür durumlarda RNN pratikte yetersiz kalırken, LSTM güçlü *saklı durum* hesaplamalarıyla uzun vadeli bağımlılık probleminin üstesinden gelmektedir (Pervan ve Keleş, 2019).

LSTM, daha fazla zaman adımı için bilgileri kolayca "ezberlemesine" izin veren karmaşık dinamiklere sahiptir. "Uzun süreli" bellek, bellek hücrelerinin bir vektöründe

saklanır. Bağlantı yapıları ve etkinleştirme işlevleri açısından farklılık gösteren birçok LSTM mimarisi, bilgileri uzun süre depolamak için açık bellek hücrelerine sahiptir. LSTM, bellek hücresinin üzerine yazmaya, onu almaya veya bir sonraki adım için saklamaya karar verebilir (Zaremba vd., 2014). Şekil 4.10'da LSTM yapısı verilmiştir.



Şekil 4.10. LSTM Yapısı (Burcu, 2019)

LSTM, veri sırasını ezberlemek için ek özelliklere sahip özel bir RNN türüdür. Her LSTM, veri akışlarının yakalandığı ve depolandığı bir dizi hücre veya sistem modülünden oluşur. Hücreler, bir modülden diğerine bağlanan ve geçmişten gelen verileri taşıyan ve bunları şimdiki için toplayan bir taşıma hattına benzer. Her hücrede bazı kapıların kullanılması nedeniyle, her hücredeki veriler sonraki hücrelere atılabilir, filtrelenebilir veya eklenebilir. Böylelikle, sigmoidal sinir ağı katmanına dayanan kapılar, hücrelerin isteğe bağlı olarak verilerin geçmesine veya yerleştirilmesine izin vermesini sağlar (Siami-Namini ve Namin, 2018).

Her sigmoid katmanı, her hücrede izin verilmesi gereken her veri segmentinin miktarını gösteren, 0-1 aralığında sayılar verir. Daha doğrusu, 0 tahmini, "hiçbir şeyin geçmesine izin vermeyin" anlamına gelir. Buna karşılık; 1 tahmini, "her şeyin geçmesine izin ver" anlamına gelir. Her bir hücrenin durumunu kontrol etmek amacıyla her LSTM'de üç tür kapı bulunur (Siami-Namini ve Namin, 2018):

- **Unutma Kapısı**: 0 ile 1 arasında bir sayı verir, burada 1 "bunu tamamen koru" gösterir; oysa 0, "bunu tamamen göz ardı et" anlamına gelir.

- **Bellek Kapısı:** Hücrede hangi yeni verilerin depolanması gerektiğini seçer. İlk olarak, "giriş kapısı katmanı" adı verilen bir sigmoid katman, hangi değerlerin değiştirileceğini seçer. Daha sonra, bir tanh katmanı, duruma eklenebilecek yeni aday değerlerin bir vektörünü oluşturur.
- **Çıktı Kapısı**: Her hücreden ne verileceğine karar verir. Verilen değer, filtrelenmiş ve yeni eklenen verilerle birlikte hücre durumuna bağlı olacaktır.

Yinelemeli sinir ağının bu çeşidi, geri yayılımlı öğrenmede kaybolan gradyan problemini önlemek için uygulanır. Bu ağlarda, bellek birimleri, uzun vadeli bağımlılıkları yakalamak için çok verimli olan hücreler olarak adlandırılır. Önceki durum ve mevcut bilgiler hücrelere girdi olarak alır ve bu hücreler dahili olarak hangi bilgilerin depolanacağına ve hangi bilgilerin silineceğine karar verir (Kumar ve Garg, 2018).

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde tasarlanan karar destek sisteminin ayrıntıları anlatılmıştır. Yapılan çalışmalar üç başlık altında toplanmıştır. İlk olarak literatür araştırmasından yararlanılarak çalışmada kullanılan anahtar performans göstergeleri belirlenmiştir. Ardından uygulamanın yapılabilmesi için bir veri seti bulunmuş ve ilgili veri seti üzerinde gerekli düzenlemeler yapılarak programın veritabanı hazırlanmıştır. Üçüncü bölümde tasarlanan karar destek sisteminin özelliklerine değinilmiş ve her bir modül içerisindeki analiz ve grafik çalışmaları anlatılarak örnek ekran görüntülerine yer verilmiştir.

5.1. Anahtar Performans Göstergelerinin Belirlenmesi

Yapılan literatür araştırmasıyla birlikte, üretim performansını her yönüyle ölçebilmek için bu çalışmada kullanılması gereken toplam 36 KPI belirlenmiştir. Göstergeler belirlenirken çeşitli kaynaklar baz alınmış ancak çoğu kaynağın temelinin 2007 yılında İngiliz Standartlar Enstitüsü (BSI) tarafından yayımlanan "EN 15341 Bakım Anahtar Performans Göstergeleri" standartlarına dayandığı görülmüştür. Bu standartta toplam 71 KPI ekonomik, teknik ve organizasyonel olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Özellikle teknik ve organizasyonel gruptaki göstergelerin birçoğu bu çalışmada kullanılmıştır.

Göstergeler hesaplanırken aynı parçaya, makineye ve zaman dilimine (yıl, çeyrek, ay, vb.) ait veriler kullanılır. Çoğu gösterge, tesis üretiminin, bir üretim hattının veya belirli bir ekipmanın performansını ölçmek için farklı seviyelerde kullanılabilmektedir. Bu göstergelerin ölçümü ve analizi, yönetime aşağıdaki konularda yardımcı olabilir (BSI, 2007):

- Güncel durumu ölçmek
- Performansı değerlendirmek
- Performansı karşılaştırmak
- Güçlü ve zayıf yönleri belirlemek
- Kontrol ilerlemesini ve zaman içindeki değişiklikleri kontrol etmek

- Hedefler koymak
- Strateji ve eylemleri planlamak
- İnsanları bilgilendirmek ve motive etmek için sonuçları paylaşmak

ISO 22400 standartlarına göre tanımlanan tüm anahtar performans göstergeleri referanslarıyla birlikte Çizelge 5.1' de verilmiştir.

Çalışmada kullanılması planlanan göstergelerin belirlenmesinin ardından performans izleme, değerlendirme ve tahminleme uygulamalarının yapılabilmesi için veri seti arayışını girilmiştir. Bu doğrultuda yapılan çalışmaların detayları izleyen bölümde verilmiştir.

5.2. Veri Setinin Hazırlanması

Önceki bölümde yer aldığı üzere kullanılan göstergelerin adı, tanımı ve formülü belirlenmiştir. Önerilen bu göstergeler belirli bir formüle göre aktiviteler, kaynaklar veya olaylar arasındaki pay ve payda oranı olarak değerlendirilebilir. Ayrıca bu göstergenin birimi, hedef trendinin ne olduğu, eşik değerleri ve işletme seviyesinde nereye hitap ettiği belirlenmiştir.

Bu uygulamada veri seti olarak, bir Tübitak projesi kapsamında toplanan bir otomotiv işletmesine ait KPI verileri kullanılmıştır. İlk kısımda değinilen 36 göstergenin aksine ancak 11 gösterge tahsis edilebilmiştir. Çizelge 5.2'de ilk paragrafta anlatılan çalışma verilmiştir. Ayrıca veri setinde yer alan göstergeler aşağıdaki çizelgede koyu renkle belirtilmiştir.

Çizelge 5.1. Belirlenen Anahtar Performans Göstergeleri

KPI	Tanım	Formül	Referans
Asset utilization	Varlık kullanımı	Toplam çalışma süresi / Toplam süre *100	(Sondalini, 2014)
Availability	Varlıkların kullanılabilirliği	Planlanan süre-Duruş süresi / Planlanan süre *100	(Parida ve Kumar, 2009)
Capacity utilization	Kapasite kullanımı	Gerçekleşen çıktı / Hedeflenen çıktı *100	(BSI, 2007)
First time through (İlk Geçiş Verimi)	Bir üretim prosesinde, kalite standartlarına uygun olarak ilk defada tamamlanan ürün miktarının oransal değeri.	(ilk hurdayı alana kadar) Tek seferde üretilen ürün adeti / Toplam ürün adeti *100	(Rødseth vd., 2015)
Increase in plant uptime	Çalışma süresi	Gerçekleşen süre / Planlanan süre-Duruş süresi *100	(Stenström vd., 2013)
Decrease in plant downtime	Duruş süresi	Duruş süresi / Planlanan süre *100	(Stenström vd., 2013)
Mean time between failure (MTBF)	Arızalar arası ortalama süre	Toplam çalışma süresi / Toplam arıza sayısı	(Parida ve Kumar, 2009)
Mean time to repair	Ortalama onarım süresi	Toplam tamir süresi / Toplam arıza sayısı	(Parida ve Kumar, 2009)
Percentage reduction in defect rates	Hata oranları	Toplam hatalı ürün adeti / Toplam ürün adeti *100	(Parida ve Kumar, 2009)
Number of production assignments completed in time	Zamanında tamamlanan iş sayısı	Gerçekleşen iş emri sayısı / Toplam iş emri sayısı *100	(BSI, 2007)
Overtime as a percentage of total hours	Toplam sürede fazla mesai yüzdesi	Fazla mesai süresi / Toplam süre *100	(Sondalini, 2014)
Planned work to total work ratio	Toplam iş oranındaki planlanmış iş oranı	Toplam planlanmış iş emri sayısı / Toplam iş emri sayısı *100	(Sondalini, 2014)
Performance Rate	Bir prosesin aktif olarak çalıştığı periyotta üretim için geçen sürenin etkin süreye oranı.	(standard süre/adet)x(üretilen adet) *100 / Planlanan süre-Duruş süresi	(Parida ve Kumar, 2009)

Çizelge 5.1. Belirlenen Anahtar Performans Göstergeleri (devam)

KPI	Tanım	Formül	Referans
Man power utilization	Bakım personelin işbaşında olduğu sürenin toplam süreye oranı.	Toplam bakım adam saati / Toplam çalışma süre *100	(Parida ve Kumar, 2009)
Manpower efficiency	Planlanan çalışma süresin gerçekleşme oranı	Toplam bakım adam saati / Planlanan süre *100	(Parida ve Kumar, 2009)
Preventive Maintenance Work Ratio	Önleyici bakım faaliyetlerinin toplam bakım faaliyet süresine oranı	Önleyici bakım için geçen süre / Toplam bakım süresi *100	(Rødseth vd., 2015)
Emergency Maintenance Work Ratio	Acil bakım faaliyetlerinin toplam bakım faaliyet süresine oranı.	Acil bakım için geçen süre / Toplam bakım süresi *100	(Rødseth vd., 2015)
Planned Maintenance Work Ratio	Planlı ve kestirimci bakım faaliyetlerinin toplam bakım faaliyet süresine oranı.	Planlı bakım için geçen süre / Toplam bakım süresi *100	(Rødseth vd., 2015)
Utilization about maintenance	Bakımla ilgili duruşun toplam çalışma süresindeki yeri	Toplam çalışma süresi / (Toplam çalışma süresi + Bakım nedeniyle duruş süresi) *100	(BSI, 2007)
Harmful effect per year	Belirli bir sürede çevresel hasar yaratan arıza sayısı	Çevresel hasar yaratan bakım nedeniyle oluşan arıza sayısı / Takvim zamanı	(BSI, 2007)
Number of Injury per year	Belirli bir sürede sakatlanan personel sayısı	Bakım nedeniyle sakatlanan personel sayısı / Çalışma süresi	(BSI, 2007)
Utilization about failure	Arızayla ilgili duruşun toplam çalışma süresindeki yeri	Toplam çalışma süresi / Toplam çalışma süresi + Arızayla ilgili duruş süresi *100	(BSI, 2007)
Utilization about planned maintenance	Planlı bakımla ilgili duruşun toplam çalışma süresindeki yeri	Toplam çalışma süresi / Toplam çalışma süresi + Planlı bakımla ilgili duruş süresi *100	(BSI, 2007)
Harmful effect ratio	Çevresel hasar yaratan arıza sayısı oranı	Çevreye zarar veren arıza sayısı / Toplam arıza sayısı *100	(BSI, 2007)

Çizelge 5.1. Belirlenen Anahtar Performans Göstergeleri (devam)

KPI	Tanım	Formül	Referans
Mean time between maintenance work orders causing downtime	Toplam çalışma süresindeki duruşa neden olan bakım iş emri sayısı	Toplam çalışma süresi / Duruşa neden olan bakım iş emirlerinin sayısı	(BSI, 2007)
Mean time between maintenance work orders	Toplam çalışma süresindeki bakım iş emri sayısı	Toplam çalışma süresi / Bakım iş emirlerinin sayısı	(BSI, 2007)
Maintenance personnel ratio	Toplam bakım personel sayısı oranı	Dahili bakım personeli sayısı / Toplam dahili personel sayısı *100	(BSI, 2007)
Percentage maintenance personnel on shift	Vardiyadaki bakım personeli sayısı oranı	Vardiyada doğrudan bakım personeli / Toplam doğrudan bakım personeli *100	(BSI, 2007)
Schedule Compliance Ratio	Çizelgelenmiş işlerin gerçekleşme oranı	Gerçekleşen çizelgelenmiş iş sayısı / Toplam çizelgelenmiş iş emri sayısı *100	(Sondalini, 2014)
Training hours ratio	Bakım personeli için eğitim saatleri oranı	Dahili bakım personelin eğitim için adam saati / Toplam dahili bakım adam saati *100	(BSI, 2007)
Maintenance cost ratio	Bakım maliyetinin tezgah değerine oranı	Toplam Bakım Maliyeti / Kaynak Yenileme Maliyeti	(BSI, 2007)
Breakdown cost ratio	Duruş süresi maliyetinin toplam bakımdaki oranı	Bakım durdurma maliyeti / Toplam Bakım Maliyeti	(BSI, 2007)
Facility cost ratio	Tesisin maliyet oranı	Toplam İşletme Maliyeti / Çıktıların Getirisi	(BSI, 2007)
Training cost ratio	Personel başına düşen eğitim maliyeti	Eğitim maliyeti / Toplam personeli sayısı	(BSI, 2007)

Çizelge 5.2. Veritabanındaki Anahtar Performans Göstergeleri

KPI	Tanım	Formül	Birim	Trend	*Eşik	Seviye
First time through (İlk Geçiş Verimi)	Bir üretim prosesinde, kalite standartlarına uygun olarak ilk defada tamamlanan ürün miktarının oransal değeri.	(ilk hurdayı alana kadar) Tek Seferde Üretilen Ürün Adeti / Toplam Ürün Adeti *100	%	Artış	?-100	Operasyonel
Decrease in plant downtime	***Duruş süresi***	***Duruş süresi / planlanan süre *100***	***%***	***Azalış***	***0-10***	***Operasyonel***
Number of production assignments completed in time	***Zamanında tamamlanan iş sayısı***	***Gerçekleşen iş emri sayısı / Toplam iş emri sayısı *100***	***%***	***Artış***	***95-100***	***Operasyonel***
Manpower efficiency	Planlanan çalışma süresin gerçekleşme oranı	Toplam bakım adam saati / Planlanan süre *100	%	Artış	?-100	Operasyonel
Preventive Maintenance Work Ratio	Önleyici bakım faaliyetlerinin toplam bakım faaliyet süresine oranı	Önleyici bakım için geçen süre / Toplam bakım süresi *100	%	Azalış	0-?	Operasyonel
Emergency Maintenance Work Ratio	Acil bakım faaliyetlerinin toplam bakım faaliyet süresine oranı.	Acil bakım için geçen süre / Toplam bakım süresi *100	%	Azalış	0-?	Operasyonel
Utilization about maintenance	Bakımla ilgili duruşun toplam çalışma süresindeki yeri	Toplam çalışma süresi / (Toplam çalışma süresi + Bakım nedeniyle duruş süresi) *100	%	Artış	?-100	Operasyonel
Utilization about failure	Arızayla ilgili duruşun toplam çalışma süresindeki yeri	Toplam çalışma süresi / Toplam çalışma süresi + Arızayla ilgili duruş süresi *100	%	Artış	?-100	Operasyonel
Utilization about planned maintenance	Planlı bakımla ilgili duruşun toplam çalışma süresindeki yeri	Toplam çalışma süresi / Toplam çalışma süresi + Planlı bakımla ilgili duruş süresi *100	%	Artış	?-100	Operasyonel

Çizelge 5.2. Veritabanındaki Anahtar Performans Göstergeleri (devam)

KPI	Tanım	Formül	Birim	Trend	Eşik	Seviye
Mean time between maintenance work orders causing downtime	Toplam çalışma süresindeki duruşa neden olan bakım iş emri sayısı	Toplam çalışma süresi / Duruşa neden olan bakım iş emirlerinin sayısı	dk / iş emri	Artış	?-100	Operasyonel
Mean time between maintenance work orders	Toplam çalışma süresindeki baım iş emri sayısı	Toplam çalışma süresi / Bakım iş emirlerinin sayısı	dk / iş emri	Artış	?-100	Operasyonel
Percentage maintenance personnel on shift	Vardiyadaki bakım personeli sayısı oranı	Vardiyada doğrudan bakım personeli / Toplam doğrudan bakım personeli *100	%	Azalış	0-?	Operasyonel
Schedule Compliance Ratio	Çizelgelenmiş işlerin gerçekleşme oranı	Gerçekleşen çizelgelenmiş iş sayısı / Toplam çizelgelenmiş iş emri sayısı *100	%	Artış	?-100	Operasyonel
Asset utilization	***Varlık kullanımı***	***Toplam çalışma süresi / Toplam süre *100***	***%***	***Artış***	***90-100***	***Taktik***
Availability	***Varlıkların kullanılabilirliği***	***Planlanan süre-Duruş süresi / planlanan süre *100***	***%***	***Artış***	***90-100***	***Taktik***
Capacity utilization	***Kapasite kullanımı***	***Gerçekleşen çıktı / Hedeflenen çıktı *100***	***%***	***Artış***	***95-100***	***Taktik***
Increase in plant uptime	Çalışma süresi	Gerçekleşen süre / Planlanan süre-Duruş süresi *100	%	Artış	?-100	Taktik
Mean time between failure (MTBF)	***Arızalar arası ortalama süre***	***Toplam çalışma süresi / Toplam arıza sayısı***	***dk / arıza***	***Artış***	***400***	***Taktik***
Mean time to repair (MTTR)	***Ortalama onarım süresi***	***Toplam tamir süresi / Toplam arıza sayısı***	***dk / arıza***	***Azalış***	***60***	***Taktik***

Çizelge 5.2. Veritabanındaki Anahtar Performans Göstergeleri (devam)

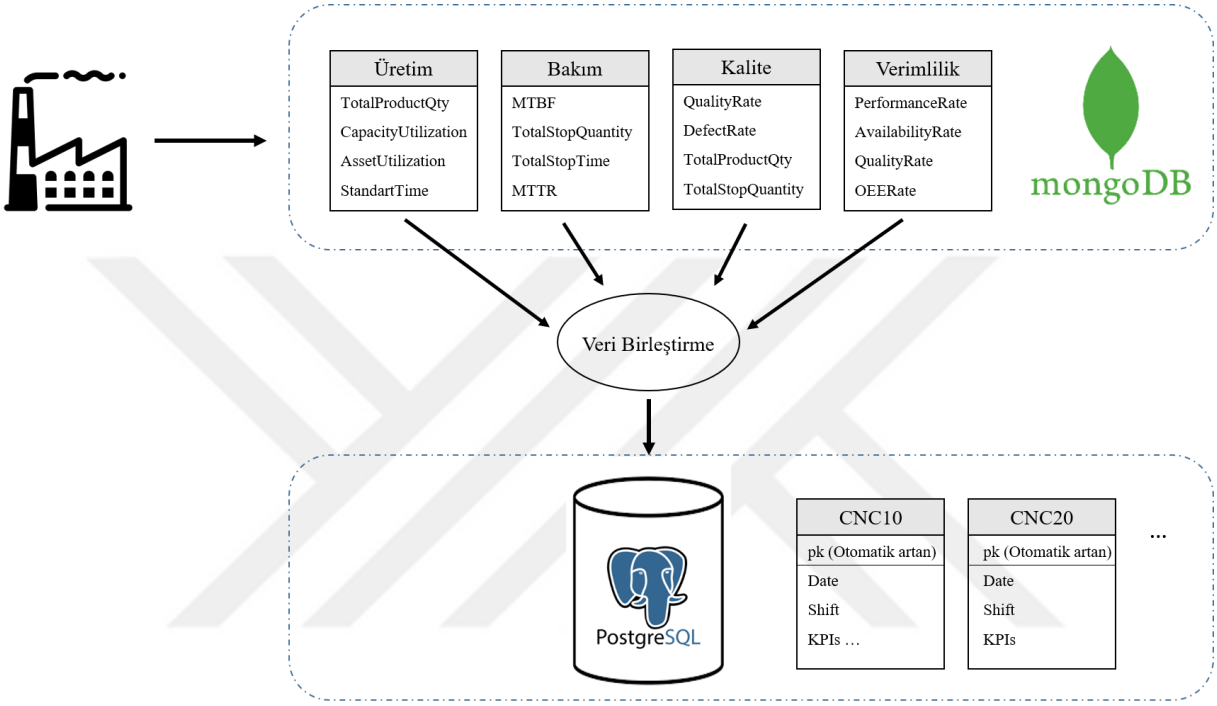
KPI	Tanım	Formül	Birim	Trend	Eşik	Seviye
Percentage reduction in defect rates	***Hata oranları***	***Toplam hatalı ürün adeti / Toplam ürün adeti *100***	***%***	***Azalış***	***0-1***	***Taktik***
Overtime as a percentage of total hours	Toplam sürede fazla mesai yüzdesi	Fazla mesai süresi / Toplam süre *100	%	Azalış	0-?	Taktik
Planned work to total work ratio	Toplam iş oranındaki planlanmış iş oranı	Toplam planlanmış iş emri sayısı / Toplam iş emri sayısı *100	%	Artış	?-100	Taktik
Performance Rate	***Bir prosesin aktif olarak çalıştığı periyotta üretim için geçen sürenin etkin süreye oranı.***	***(standard süre/adet)x(üretilen adet) / Planlanan süre-Duruş süresi *100***	***%***	***Artış***	***90-100***	***Taktik***
Quality Rate	***Toplam üretim miktarındaki hatalı ürün sayısı oranı.***	***Toplam ürün adeti - Toplam hatalı ürün adeti / Toplam ürün adeti *100***	***%***	***Artış***	***90-100***	***Taktik***
Man power utilization	Bakım personelin işbaşında olduğu sürenin toplam süreye oranı.	Toplam bakım adam saati / Toplam çalışma süre *100	%	Artış	?-100	Taktik
Planned Maintenance Work Ratio	Planlı ve kestirimci bakım faaliyetlerinin toplam bakım faaliyet süresine oranı.	Planlı bakım için geçen süre / Toplam bakım süresi *100	%	Artış	?-100	Taktik
Harmful effect per year	Belirli bir sürede çevresel hasar yaratan arıza sayısı	Çevresel hasar yaratan bakım nedeniyle oluşan arıza sayısı / Takvim zamanı	arıza / periyot	Azalış	0-?	Taktik
Number of Injury per year	Belirli bir sürede sakatlanan personel sayısı	Bakım nedeniyle sakatlanan personel sayısı / Çalışma süresi	kişi/periyot	Azalış	0-?	Taktik
Harmful effect ratio	Çevresel hasar yaratan arıza sayısı oranı	Çevreye zarar veren arıza sayısı / Toplam arıza sayısı *100	%	Azalış	0-?	Taktik
OEE Rate	***Toplam Ekipman Etkinliği***	***Availability * PerformanceRate * Quality Rate***	***%***	***Artış***	***95-100***	***Taktik***

Çizelge 5.2. Veritabanındaki Anahtar Performans Göstergeleri (devam)

KPI	Tanım	Formül	Birim	Trend	Eşik	Seviye
Maintenance personnel ratio	Toplam bakım personel sayısı oranı	Dahili bakım personeli sayısı / Toplam dahili personel sayısı *100	%	Azalış	0-?	Taktik
Training hours ratio	Bakım personeli için eğitim saatleri oranı	Dahili bakım personelin eğitim için adam saati / Toplam dahili bakım adam saati *100	%	Artış	?-100	Taktik
Maintenance cost ratio	Bakım maliyetinin tezgah değerine oranı	Toplam Bakım Maliyeti / Kaynak Yenileme Maliyeti	%	Azalış	0-?	Stratejik
Breakdown cost ratio	Duruş süresi maliyetinin toplam bakımdaki oranı	Bakım durdurma maliyeti / Toplam Bakım Maliyeti	%	Azalış	0-?	Stratejik
Facility cost ratio	Tesisin maliyet oranı	Toplam İşletme Maliyeti / Çıktıların Getirisi	%	Azalış	0-?	Stratejik
Training cost ratio	Personel başına düşen eğitim maliyeti	Eğitim maliyeti / Toplam personel sayısı	tl /personel	Azalış	0-?	Stratejik

[*] Eşik değerleri her bir anahtar performans göstergesi için tesis bazında farklılık gösterebilir. Bu sebeple hazırlanan sistemi kullanacak her bir işletme için özel olarak belirlenmesi daha doğrudur.

Veriler “CNC10” ve “CNC20” isimli iki farklı CNC tezgahından toplanmaktadır. İşletme 8’er saat olmak üzere iki vardiyalı sistemde çalışmaktadır. Günlük olarak her dakika ölçülen veriler, boyutunun fazla olmasından dolayı büyük veri özellikli veritabanlarından MongoDB’ ye aktarılmaktadır. Tasarlanan veritabanı mimarisinin çizimi Şekil 5.1’ de verilmiştir.

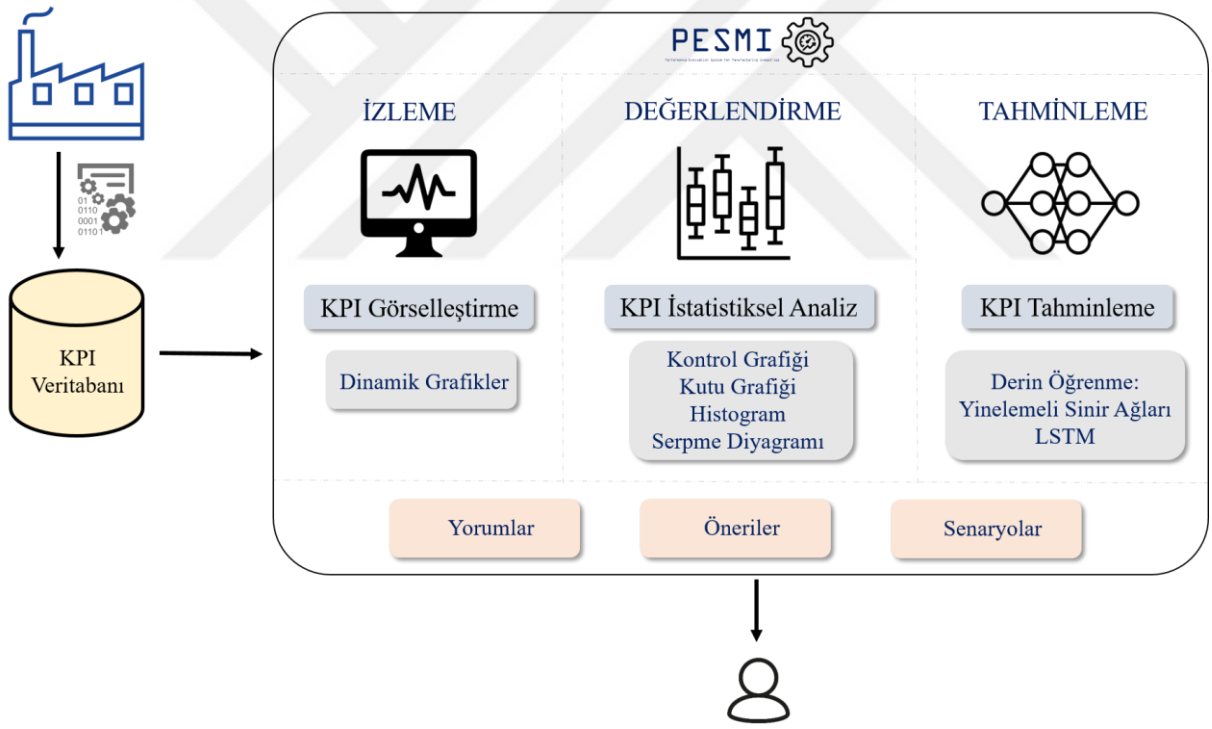


Şekil 5.1. Veritabanı Mimarisi

MongoDB’ deki veriler ham haliyle çalışmada kullanılmaya uygun değildir. Bu sebeple bir takım ön işleme ve filtreleme çalışmalarından sonra veriler süzülerek çalışmada kullanılmaya uygun hale getirilmiştir. Bu haliyle boyut olarak çok daha az yer kaplayan veriler ilişkisel veritabanlarından PostgreSQL’e aktarılmaktadır. Bu transferin sebebi ilişkisel veritabanlarının büyük veritabanlarına göre veriyi işleme hızının daha yüksek olmasıdır. Her makineden gelen KPI verileri, tarih ve vardiyaya göre gruplanmış şekilde tablolarda saklanmakta olup sürekli güncellenmektedir.

5.3. Tasarlanan Performans Değerlendirme Sistemi

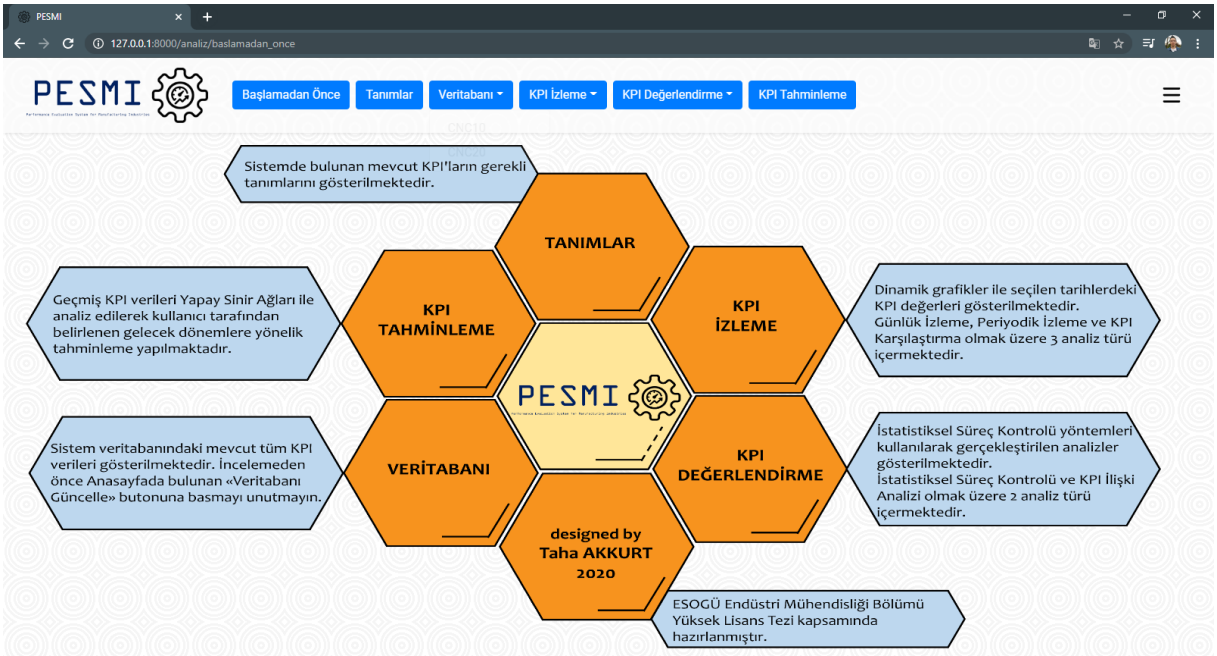
Oluşturulan veritabanından gelen değerleri incelemek için 3 aşamadan oluşan performans değerlendirme sistemi hazırlanmıştır. Hazırlanan bu sisteme **PESMI** (Performance Evaluation System for Manufacturing Industries, Üretim Sistemleri İçin Performans Değerlendirme Sistemi) adı verilmiştir. İşletmeye ait veriler, oluşturulan KPI veritabanında toplandıktan sonra analiz edilmesi için sisteme yönlendirilmektedir. Çalışmada gerçekleştirilen analiz çalışmaları 3 ana modüle ayrılmıştır. Bu modüller sırasıyla izleme (monitoring), değerlendirme (evaluation) ve tahminleme (prediction) şeklindedir. Tüm analizler kullanıcı dostu grafiklerle görselleştirilerek anlaşılır bir şekilde karar vericiye sunulmuştur. Yapılan analizlerin ardından elde edilen sonuçlar oluşturulan senaryolar çerçevesinde kullanıcıya sunulmaktadır. Tasarlanan karar destek sisteminin diyagramı Şekil 5.2'de verilmektedir.



Şekil 5.2. Tasarlanan Karar Destek Sistemi

Tasarlanan uygulamanın kullanıcı dostu bir arayüzde sunulması bu çalışmanın önemli hedeflerinden biridir. Bu doğrultuda Python programlama dili kullanılarak web tabanlı bir arayüz tasarlanmıştır. Sistem güvenliği, anlaşılır butonlar ve görsellik ön planda tutulmuştur.

Güvenliği sağlamak için giriş ekranına Google tarafından desteklenen reCaptcha doğrulama sistemi konulmuştur. Kullanıcı adı ve parolayla beraber bu alanın da işaretlenmesi gerekmektedir. Aksi takdirde programa girişe izin verilmemektedir. Kullanıcı giriş yapmadan hiçbir sayfaya erişme yetkisi yoktur. Oluşturulan uygulamada, kullanıcılara sistemin özelliklerini kısaca tanıtan *Başlamadan Önce* sayfası, mevcut anahtar performans göstergelerinin açıklamalarını içeren *Tanımlar* sayfası, toplanan tüm verileri içeren *Veritabanı* sayfası ve Şekil 5.2' de gösterildiği üzere *KPI İzleme*, *KPI Değerlendirme* ve *KPI Tahminleme* sayfaları yer almaktadır. Şekil 5.3' te uygulamadan örnek olarak Başlamadan Önce sayfasının ekran görüntüsü verilmektedir.



Şekil 5.3. Başlamadan Önce Sayfası Ekran Görüntüsü

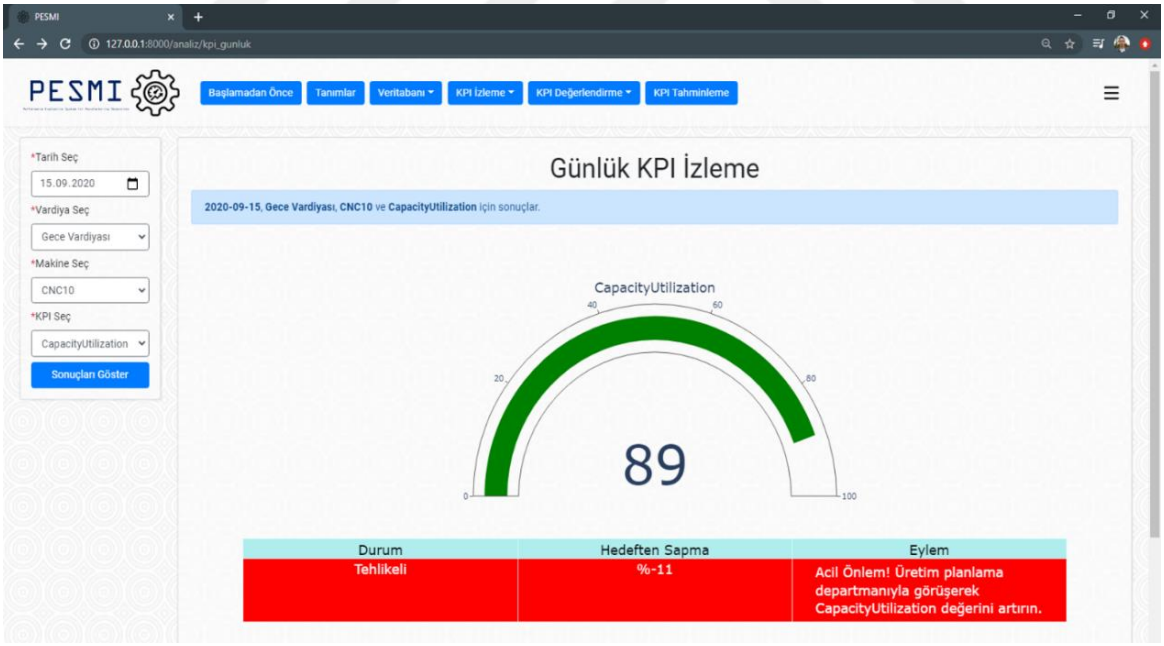
Kullanıcının analizleri gerçekleştirmeden önce sistem hakkında bilgi sahibi olması, kullanılan KPI'ları inceleyebilmesi, veritabanını görüntüleyebilmesi ve güncelleyebilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca her bir analiz sayfasının içerisinde kullanıcı tarafından özelleştirilen parametre seçim butonları yer almaktadır. Bu sayede tamamen kullanıcı tarafından belirlenen anlık analizler gerçekleştirilebilmektedir. Tasarlanan sistem içerisinde gerçekleştirilen analiz çalışmalarının detayları ilerleyen alt başlıklarda verilmektedir.

5.3.1. KPI izleme modülü

İzleme modülünde kullanıcı tarafından belirlenen parametrelerde günlük ve periyodik olarak göstergeler takip edilebilir. Ayrıca yine bu başlık altında, seçilen bir anahtar performans göstergesinin iki zaman periyodu aralığında karşılaştırması yapılabilmektedir. Alt başlıkların detayları izleyen kısımlarda anlatılmıştır.

5.3.1.1. Günlük KPI izleme

Günlük KPI izleme çalışması anahtar performans göstergelerinin günlük olarak takip edilmesini sağlamaktadır. Kullanıcının bu kısımda ilk olarak karşısına çıkan arayüzün sol tarafındaki menüden parametre seçimlerini yapması gerekmektedir. İlgili parametreler tarih, vardiya, makine ve KPI seçeneklerinden oluşmaktadır. Seçimlerin ardından "Sonuçları Göster" butonuna basıldığında kullanıcının karşısına bir sayaç göstergesi ve altında yorumlardan oluşan bir tablo belirmektedir. Şekil 5.4' te Günlük KPI İzleme sayfasının ekran görüntüsü verilmiştir.



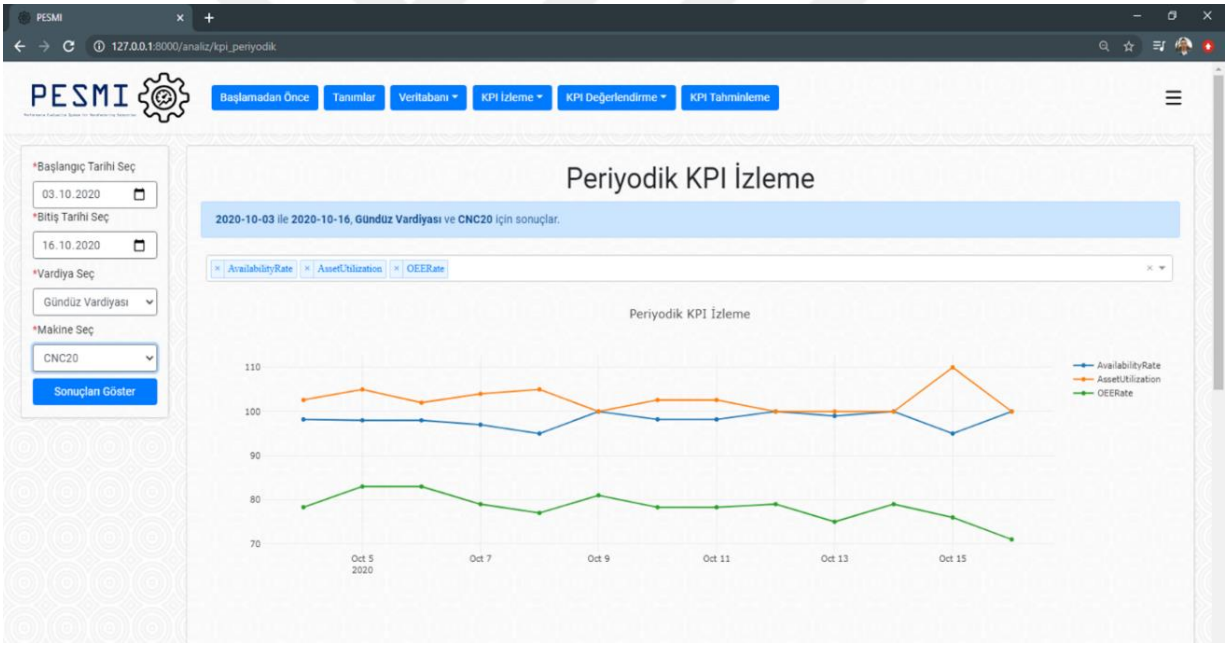
Şekil 5.4. Günlük KPI İzleme Ekran Görüntüsü

Değerleri yorumlamak için oluşturulan tablo, durum, hedeften sapma ve eylem sütunlarından oluşmaktadır. İlgili göstergenin seçilen tarihteki değerine göre yorum ve eylem

planları tabloda yer almaktadır. Ayrıca hedeften sapma yüzdesine göre kırmızı, sarı ve yeşil renklerle tablo boyanarak kullanıcıya durumun aciliyet seviyesi anlatılmak istenmiştir.

5.3.1.2. Periyodik KPI izleme

Periyodik KPI izleme çalışması anahtar performans göstergelerinin periyodik olarak takip edilmesini sağlamaktadır. Kullanıcının bu kısımda ilk olarak karşısına çıkan arayüzün sol tarafındaki menüden parametre seçimlerini yapması gerekmektedir. İlgili parametreler başlangıç ve bitiş tarihi, vardiya ve makine seçeneklerinden oluşmaktadır. Seçimlerin ardından "Sonuçları Göster" butonuna basıldığında kullanıcının karşısına bir çizgi grafiği ve üzerinde göstergelerin olduğu bir liste belirmektedir. Şekil 5.5' te Periyodik KPI İzleme sayfasının ekran görüntüsü verilmiştir.

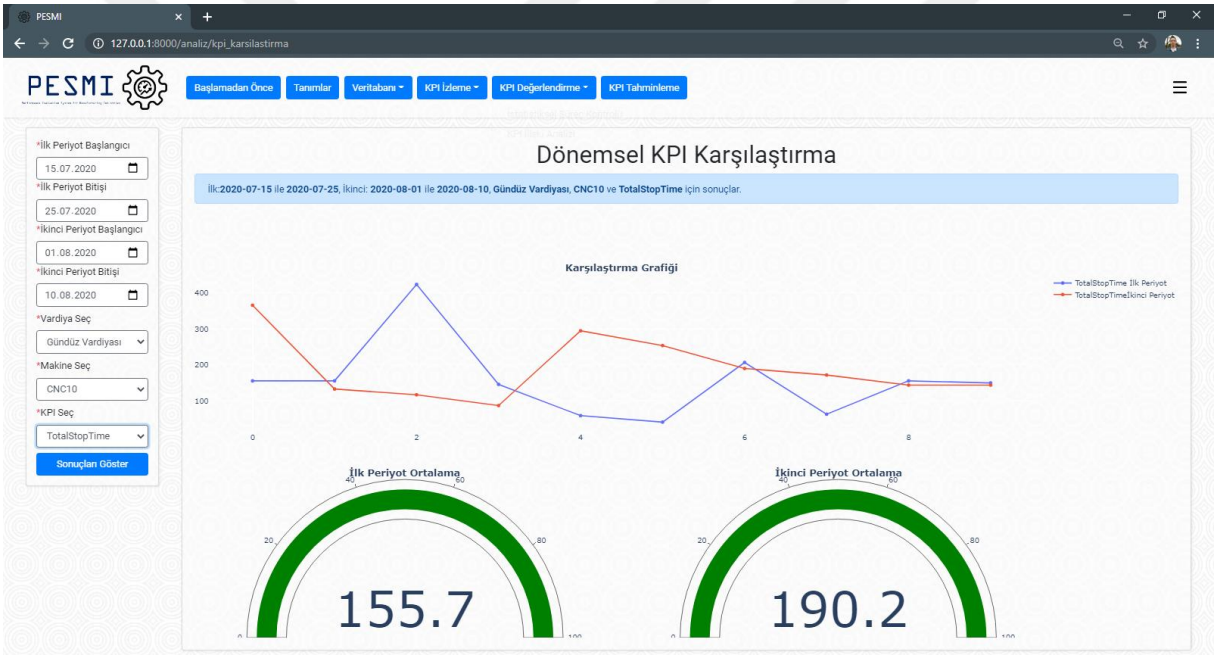


Şekil 5.5. Periyodik KPI İzleme Ekran Görüntüsü

Kullanıcı istediği göstergeyi seçerek ve grafiğe ekleyip çıkararak belirlenen periyotta KPI takibi sağlayabilmektedir. Bu sayede birden çok anahtar performans göstergesinin bir arada takip edilmesi sağlanmıştır.

5.3.1.3. KPI karşılaştırma

KPI karşılaştırma çalışması anahtar performans göstergelerinin belirlenen iki zaman dilimi arasında karşılaştırılmasını sağlamaktadır. Kullanıcının bu kısımda ilk olarak karşısına çıkan arayüzün sol tarafındaki menüden parametre seçimlerini yapması gerekmektedir. İlgili parametreler her iki periyodun başlangıç ve bitiş tarihi, vardiya, makine ve KPI seçeneklerinden oluşmaktadır. Seçimlerin ardından "Sonuçları Göster" butonuna basıldığında kullanıcının karşısına bir çizgi grafiği ve iki periyotta elde edilen ortalama performans değerlerini gösteren sayaç grafikleri belirmektedir. Şekil 5.6' da ilgilenilen KPI'ın farklı dönemlerdeki değerlerinin karşılaştırıldığı ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.6. Dönemsel KPI Karşılaştırma Ekran Görüntüsü

Analiz sonucunda seçilen anahtar performans göstergesinin iki farklı dönem içerisindeki değişim hareketleri incelenebilmektedir. Ayrıca çizgi grafiğinin altındaki sayaç göstergeleri, seçilen iki periyotta ilgili göstergenin sahip olduğu ortalama değerleri göstermektedir. Bu sayede daha anlamlı bir karşılaştırma sonucu elde edilmektedir.

5.3.2. KPI değerlendirme modülü

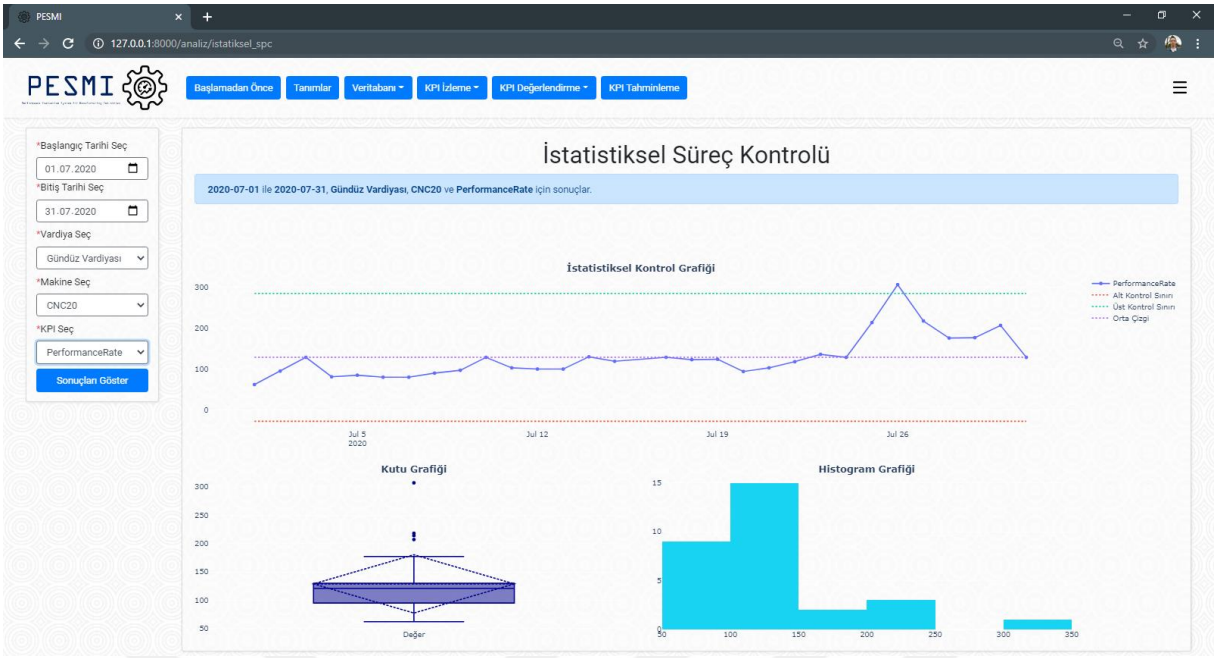
Değerlendirme modülünde istatistiksel süreç kontrolü yöntemleriyle analizler gerçekleştirilmektedir. Kontrol grafiğinin yanı sıra kutu ve histogram grafikleriyle desteklenen analiz sonucunda karar verici gidişat hakkında fikir sahibi olabilmektedir. Ayrıca yine bu başlık altında istatistiksel ilişki analizi gerçekleştirilerek göstergelerin birbirine bağlı değişimleri kullanıcıya sunulmaktadır.

5.3.2.1. İstatistiksel süreç kontrolü

İstatistiksel süreç kontrolü çalışması anahtar performans göstergelerinin değerlerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesini sağlamaktadır. İstatistiksel süreç kontrolü tekniklerini kullanılarak elde edilen sonuçlar görselleştirilmektedir. Kullanıcının bu kısımda ilk olarak karşısına çıkan arayüzün sol tarafındaki menüden parametre seçimlerini yapması gerekmektedir. İlgili parametreler başlangıç ve bitiş tarihi, vardiya, makine ve KPI seçeneklerinden oluşmaktadır.

Seçimlerin ardından "Sonuçları Göster" butonuna basıldığında kullanıcının karşısına bir kontrol grafiği, kutu ve histogram grafiği belirmektedir. İstatistiksel süreç kontrolünün en çok kullanılan araçlarından kontrol grafiklerinin bir yöntemi olan X-ortalama kontrol grafiği ile anahtar performans göstergeleri dönemsel olarak izlenmektedir. İzlenen göstergenin kontrol sınırları, seçilen örnekleme göre belirlenmekte olup ***ortalama ± 3 standart sapma*** formülüyle alt ve üst kontrol sınırlarını oluşturmaktadır. Merkez çizgi de anahtar performans göstergesinin ortalama değerine göre çizilmektedir. Kontrol grafiği ile seçilen göstergenin belirlenen periyotta kontrol sınırlarını geçip geçmediği ve ortalamadan sapması belirlenebilir.

Kutu grafiği ise seçilen KPI değerinin ilgili periyottaki dağılımını, uç değerlerini ve eğer varsa aykırı değerleri kullanıcıya sunmaktadır. Ayrıca bu grafiğe seçilen örneklemin standart sapma değeri eklenerek hangi aralıklarda yığıldığını ve ne kadar değişkenlik gösterdiği belirlenmektedir. Bu sayfa içerisindeki son analiz olan histogram sayesinde ise ilgili anahtar performans göstergesinin en çok hangi değerleri ürettiği sıklık değerleriyle birlikte görselleştirilmektedir. Şekil 5.7' de İstatistiksel Süreç Kontrolü sayfasının ekran görüntüsü verilmiştir.

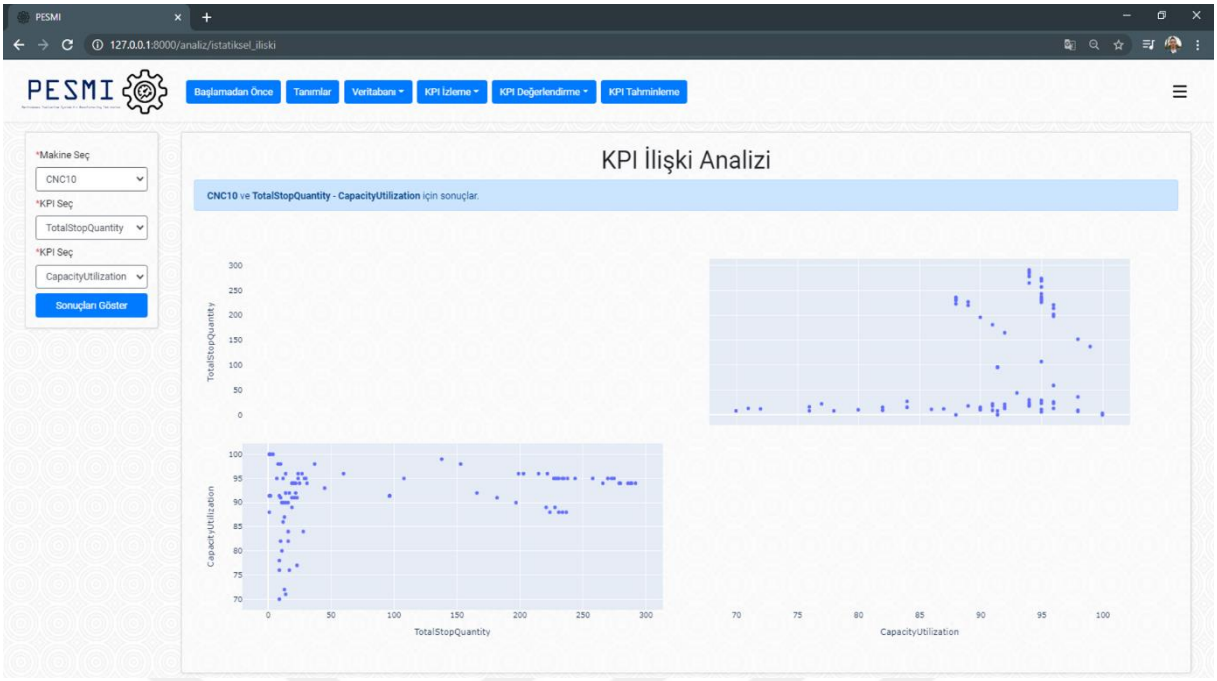


Şekil 5.7. İstatistiksel Süreç Kontrolü Ekran Görüntüsü

Yapılan istatistiksel analiz ile birlikte KPI değerlerinin belirlenen aralıkta nasıl seyrettiği ve değişkenliği kullanıcıya sunularak performans kontrolünün sağlanması ve işgücü verimliliğinin takibi amaçlanmıştır.

5.3.2.2. KPI ilişki analizi

Bu analiz çalışması, anahtar performans göstergelerinin sahip olduğu değerler arasındaki istatistiksel ilişkiyi göstermektedir. Kullanıcı bu kısımda ilk olarak karşısına çıkan arayüzün sol tarafındaki menüden parametre seçimlerini yapması gerekmektedir. İlgili parametreler makine ve KPI seçeneklerinden oluşmaktadır. İlgili makine seçiminden sonra bu makinedeki hangi iki anahtar performans göstergesinin inceleneceği karar verici tarafından seçilmektedir. Seçimlerin ardından "Sonuçları Göster" butonuna basıldığında kullanıcının karşısına bir serpme diyagramı belirmektedir. Bu sayede kullanıcı ilgili göstergelerin birbirlerine bağlı değişimlerini inceleyebilmektedir. Şekil 5.8' de KPI İlişki Analizi sayfasının ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.8. KPI İlişki Analizi Ekran Görüntüsü

Şekilde görüldüğü üzere CNC10 makinesinde toplam duruş adetini gösteren "TotalStopQuantity" göstergesi ile makine kapasite kullanımını gösteren "CapacityUtilization" göstergelerinin istatistiksel ilişkileri incelendiğinde aralarındaki negatif korelasyon dikkat çekmektedir.

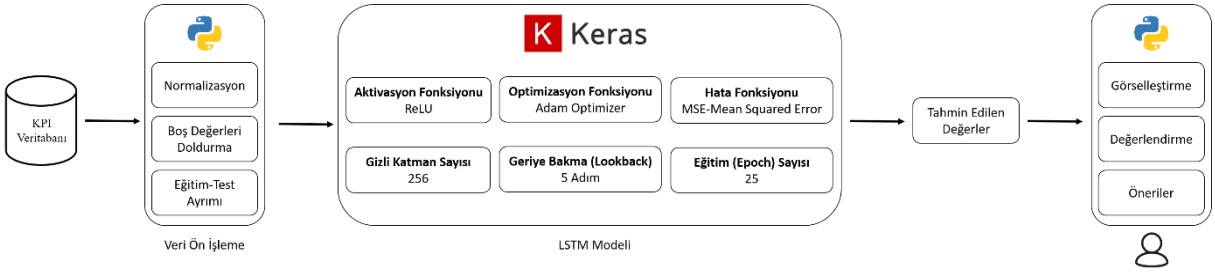
5.3.3. KPI tahminleme modülü

Tahminleme modülü içerisinde amaçlanan şey, ilgilenilen anahtar performans göstergelerinin gelecek dönemlerde nasıl seyredeceğini tahmin etmektir. Veri setindeki anahtar performans göstergeleri her gün olmak üzere sabit zaman aralıklarında toplandığı için özünde sıralı bir zaman serisi oluşturmaktadır. Zaman serisi tahminleme için geçmiş verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak yoğun veri akışının olması bu analizin klasik yöntemlerle yapılmasını zorlaştırmaktadır. Yapay zeka teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte kurulan modeller bu tip analizlerde daha hızlı sonuç vermektedir. Bu doğrultuda ilk olarak kullanılabilecek tahmin yöntemleri incelenmiştir. Ghalehkhondabi vd. (2017), çalışmalarında tahmin yöntemlerini özetlemiş olup, kullanılan bu yöntemler Çizelge 5.3' de verilmektedir.

Çizelge 5.3. Tahmin Yöntemleri (Ghalehkhondabi vd., 2017)

Yöntem	Kullanımı
Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks)	Doğrusal olmayan veri setlerinin çıktılarını tahmin etmek için kullanılmaktadır.
Bulanık Mantık (Fuzzy Logic)	Az, eksik veya kesin olmayan verilere sahip olunduğunda kullanılmaktadır.
Zaman Serisi Modelleri (Time Series Models)	Bir değişkenin daha önce gözlemlenen değerlerine dayanarak gelecekteki değerlerini tahmin etmek için kullanılmaktadır.
Gri Tahminleme (Grey Prediction)	Küçük örneklere veya zayıf veri bilgisine sahip sistemleri tahmin etmek için kullanılmaktadır.
ARMA, ARIMA, SARIMA	Bu yöntemler trend ve mevsimselliğin olduğu durağan olmayan zaman serilerini tahmin etmek için kullanılmaktadır.
Regresyon Modelleri (Regression Models)	Bir veya daha fazla bağımsız değişkene dayalı bir bağımlı değişken değerini tahmin etmek için kullanılmaktadır.
Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machines)	Karmaşık veri kümelerindeki ince desenlerin bir öğrenme algoritmasıyla tahmin etmek için kullanılmaktadır.
Genetik Algoritma (Genetic Algorithm)	Popülasyon, çaprazlama ve mutasyon gibi yetenekleri kullanarak talep tahmini vb. konularda en iyi değeri tahmin etmek için kullanılmaktadır.
Ekonometrik Modeller (Econometric Models)	Sosyo-ekonomik verileri, nedensel-ilişkisel ve duygusal yönlerini bir matematiksel model içerisinde belirleyerek tahmin etmek için kullanılmaktadır.

KPI tahminleme modülünde, yinelemeli sinir ağları kullanılarak kestirimci analiz gerçekleştirilmekte ve belirlenen periyoda göre geleceğe yönelik tahminlerde bulunulmaktadır. Ardından sonuçlar yorumlanarak kullanıcıya muhtemel senaryolar gösterilmektedir. Bu doğrultuda KPI Tahminleme modülü içerisinde yinelemeli sinir ağının gelişmiş bir yöntemi olan LSTM modeli kullanılmıştır. Şekil 5.9’ da tahminleme modülünün çalışma prensibi verilmektedir.

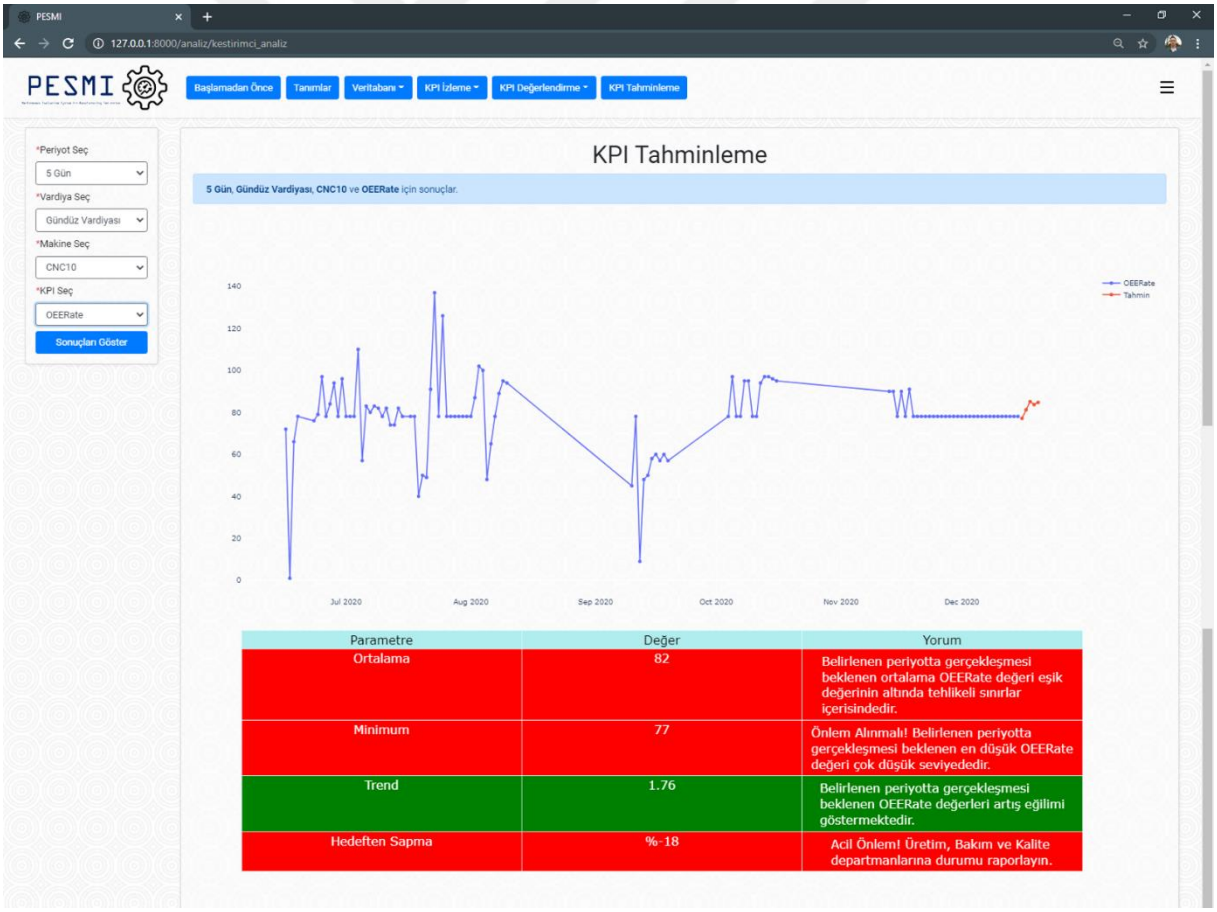


Şekil 5.9. Tahminleme Modülü Çalışma Prensibi

Tasarlanan tahminleme modülündeki LSTM yapısı geçmiş verileri sıralı nöronlar haline getirerek sürekli olarak geleceğe yönelik bilgi akışı sağlamaktadır. Problemin çözümü için Python'da yazılmış açık kaynak kodlu sinir ağı kütüphanesi olan Keras kullanılmıştır. Derin sinir ağları ile hızlı deney yapabilmek için tasarlanan Keras kütüphanesi kullanıcı dostu ve modüler olmasının yanı sıra içerdiği çok fazla işlevsel fonksiyon sayesinde kolayca bir derin öğrenme modeli oluşturulmasını ve eğitilmesini sağlamaktadır. Kurulan modelin başarılı sonuç vermesi için doğru parametre seçimleri yapılması gerekmektedir. Bu doğrultuda yapılan işlemler sırasıyla maddeler halinde şu şekildedir:

- Derin öğrenme çerçevesinde yinelemeli sinir ağlarının bir yöntemi olan LSTM modeli tercih edilmiştir.
- Model kurulurken ilk olarak veri seti üzerinde 0-1 arasında normalizasyon çalışması yapılarak daha doğru sonuçların elde edilmesi hedeflenmiştir.
- Veri akışının sağlanamadığı günlerdeki eksik veriler, ilgili KPI değerinin ortalama değeri ile doldurularak modelin doğru tahmin yüzdesi artırılmaya çalışılmıştır.
- Ardından veri seti %80 eğitim ve %20 test boyutlarında ikiye ayrılmıştır.
- LSTM modelinin geriye yönelik inceleme adımı 5 olarak belirlenmiştir.
- Hesaplama süresinin daha kısa sürmesi için aktivasyon fonksiyonu olarak ReLU (Orijinal adıyla: Rectified Linear Unit, Türkçesi: Düzeltilmiş Doğrusal Birim) fonksiyonu seçilmiştir.
- Optimizasyon fonksiyonu için Adaptif Momentum (Adam) ve hata fonksiyonu için de Hata Kareleri Ortalaması (Mean Squared Error, MSE) seçilmiştir.
- Modelin öğrenme sürecini tamamlaması için 25 adım tekrarlanmıştır.

KPI Tahminleme modülü anahtar performans göstergelerinin değerlerini geçmişe yönelik olarak izleyerek ve LSTM yöntemini kullanarak kullanıcı tarafından belirlenen periyotta geleceğe yönelik KPI değerleri kestirmektedir. Kullanıcı bu kısımda ilk olarak karşısına çıkan arayüzün sol tarafındaki menüden parametre seçimlerini yapması gerekmektedir. İlgili parametreler tahmin periyodu, vardiya, makine ve KPI seçeneklerinden oluşmaktadır. Tahmin periyodu 5, 10, 15 ve 20 günden oluşmaktadır ancak bu değerler özelleştirilebilir. Seçimlerin ardından "Sonuçları Göster" butonuna basıldığında kullanıcının karşısına seçilen göstergenin bu zamana kadarki tüm değerleri ve ardından tahmin edilen KPI değerleri aynı çizgi grafiği üzerinde gösterilmektedir. Grafiğin altındaki tabloda sonuçlar yorumlanarak kullanıcıya senaryolar gösterilmekte ve karar vermesinde destek olunmaya çalışılmıştır. Şekil 5.10' da OEERate göstergesi için yapılan kestirimci analiz çalışmasının sonuçları uygulamadan ekran görüntüsü alınarak verilmiştir.



Şekil 5.10. KPI Tahminleme Ekran Görüntüsü

Belirlenen gelecek döneme ait tahminlerin yapılmasının ardından oluşan sonuçlar grafiğin altındaki tabloda yorumlanmaktadır. Beklenen KPI tahminlerinin ortalaması, minimum değeri ve hedeften sapma yüzdesi tespit edilerek yorum ve öneriler kullanıcıya sunulmaktadır. Ayrıca tahmin edilen değerler üzerinde trend analizi de gerçekleştirilmektedir. Yapılan analiz sonucunda elde edilen değer 0'dan büyükse KPI artış eğilimindedir.

Tasarlanan model, değerleri talep ve diğer parametrelere bağlı olarak önceden belirlenebilen anahtar performans göstergelerinin tahmini için uygun değildir. Modelin doğru tahmin yüzdesi hata fonksiyonu üzerinden hesaplanmaktadır. Her bir iterasyonda Hata Kareleri Ortalaması (MSE) hesaplanmaktadır. Bu değer ne kadar 0'a yaklaşırsa tahminler o kadar doğru demektir. KPI'lara göre bu değer farklı çıkabilmektedir. Şekil 5.10'daki OEERate tahminlemesi için örnek verilirse bu değer 0.0147 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca bu modelin başarı oranı anahtar performans göstergelerine göre değişiklik göstermektedir. Modelin başarısı geçmiş verilerin çokluğuna bağlı olduğundan KPI veritabanı büyük bir önem taşımaktadır. Önceki bölümlerde anlatıldığı üzere fabrikadan gelen canlı veriler doğrudan olarak veritabanına aktarılmakta olup veri akışının olmadığı günlere ait herhangi bir kayıt bulunmamaktadır. Dolayısıyla canlı veri akışındaki kopukluklar modelin öğrenme kabiliyetini olumsuz etkilemekte olup başarı yüzdesini de düşürmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada imalat sektöründeki firmalar için anahtar performans göstergeleri üzerine kurulmuş PESMI adı verilen performans değerlendirme sistemi tasarlanmıştır. Üretim sistemleri için anahtar performans göstergelerini kullanarak oluşturulan çalışma, istatistiksel süreç kontrolü ve derin öğrenme tekniklerini bir arada kullanma özelliğiyle literatürdeki benzer çalışmalardan özgündür. Yapılan çalışmaların ardından üretim endüstrisindeki firmalar için kullanılabilir nitelikte performans değerlendirme sistemi başarıyla kurulmuştur.

Uygulama kapsamında ilk olarak literatürdeki kaynaklardan yararlanarak üretim, bakım ve kalite bölümlerine ait 36 adet KPI belirlenmiştir. ISO 22400 standartlarına göre göstergelerin açıklamaları, formülleri, birimleri, eşik değerleri ve işletme seviyesinde nereye hitap ettiği belirlenmiştir. Oluşturulan göstergeler, işletmelerin başarısında kritik rol oynayan noktalara odaklanarak karar vericiye işletmenin performansı hakkında bilgi vermektedir.

İlgili anahtar performans göstergeleri üzerine tasarlanan karar destek sistemi, KPI İzleme, KPI Değerlendirme ve KPI Tahminleme olmak üzere 3 modülden oluşmaktadır. KPI İzleme modülü içerisinde dinamik ve anlaşılır grafiklerden yararlanılarak anahtar performans göstergeleri günlük ve periyodik olarak takip edilebilir ya da belirlenen iki periyot içerisindeki değerleri karşılaştırılabilir. Ayrıca ilgili makinelerin performans durumu ve mevcut durum hakkındaki yorumlar da bu modül içerisinde kullanıcıya sunulmaktadır. KPI Değerlendirme modülünde de istatistiksel süreç kontrolü tekniklerinden kontrol grafiği, kutu grafiği, histogram ve serpme diyagramlarıyla performans değerlendirme, kontrol dışı değerleri tespit etme, KPI'lar arasındaki ilişkileri inceleme ve yorumlama yapabilmektedir. KPI Tahminleme modülünde ise derin öğrenme yöntemlerinden yinelemeli sinir ağlarının gelişmiş versiyonu olan LSTM modeli ile performans göstergelerinin geçmiş değerlerini incelenerek, geleceğe yönelik kestirimlerde bulunabilmekte ve oluşturulan senaryolarla karar vericiye yol gösterilmektedir.

Oluşturulan performans değerlendirme sisteminin tüm analiz çalışmaları ve görsel arayüzü açık kaynak kodlu Python programlama dili ile kodlanmıştır. Güvenlik hassasiyeti ön

planda tutularak sisteme kullanıcı adı, parola ve ReCaptcha doğrulama sistemiyle giriş yapılabilmektedir. Veri seti olarak ilişkisel ve büyük veritabanlarında saklanan, bir otomotiv işletmesine ait CNC makinalarının KPI değerleri kullanılmıştır. Toplam 11 anahtar performans göstergesine ait veriler günlük olarak toplanmakta ve veritabanı sürekli güncellenmektedir.

Tasarlanan performans değerlendirme sisteminin geliştirilebilmesi için ilerleyen aşamalarda sanayi desteği alarak bir işletmedeki tüm makineler için anlık veriler üzerinde performans değerlendirmesi mümkün olabilir. Ayrıca bu sistemin işletmelerin kullandığı ERP sistemlerine entegre olması sağlanabilir. Oluşturulan KPI sayısı artırılarak daha geniş yelpazede performans ölçümü yapılabilir. Bir diğer öneri olarak ise uygulama içerisinde gerçekleştirilen analiz çalışmalarının kapsamını artırmaktır. KPI değerlendirme modülünde bu çalışmada yer alan X-ortalama kontrol grafiğinin yanı sıra R (aralık) ve S (standart sapma) gibi kontrol grafikleri kullanılarak istatistiksel süreç kontrolü gerçekleştirilebilir. Ayrıca KPI tahminleme modülünde bu çalışmada kullanılan LSTM modelinin yanı sıra diğer tahminleme yöntemleriyle de kestirimci analizler gerçekleştirilebilir ve sonuçlar karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Accorsi, R., Manzini, R., Maranesi, F., 2014, A decision-support system for the design and management of warehousing systems. Computers in Industry, 65(1), p. 175-186.

Ahmad, S., Simonovic, S. P., 2006, An intelligent decision support system for management of floods, Water Resources Management, 20(3), p. 391-410.

Akçay, Ş., 2011, KPI Key Performance Indicators, http://www.ozelhastaneler.org.tr/kpi-key-performance-indicators--semsettinakcay. aspx?pageID=338&nID=5359, erişim tarihi: 02.12.2018.

Åkerman, M., 2018, Implementing shop floor IT for Industry 4.0, Chalmers Tekniska Hogskola, Sweden, p. 2.

Anonim, 2020, Histogram, https://en.wikipedia.org/wiki/Histogram, erişim tarihi: 12.08.2020.

Aydın, Z.B., Kargı, V.S.A., 2018, İstatistiksel kalite kontrol teknikleri ile otomotiv sektöründe bir uygulama, Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 16(1), s. 41-63.

Barkana, B. D., Saricicek, I., Yildirim, B., 2017, Performance analysis of descriptive statistical features in retinal vessel segmentation via fuzzy logic, ANN, SVM, and classifier fusion. Knowledge-Based Systems, 118, p. 165-176.

Bauters, K., Cottyn, J., Claeys, D., Slembrouck, M., Veelaert, P., et. al., 2018, Automated work cycle classification and performance measurement for manual work stations. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 51, p. 139-157.

Benvenuti, F., Diamantini, C., Potena, D., Storti, E, 2017, An ontology-based framework to support performance monitoring in public transport systems. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 81, p. 188-208.

Brundage, M. P., Bernstein, W. Z., Morris, K. C., Horst, J. A., 2017, Using graph-based visualizations to explore key performance indicator relationships for manufacturing production systems. Procedia CIRP, 61, p. 451-456.

BS ISO 22400-1:2014 Automation systems and integration — Key performance indicators (KPIs) for manufacturing operations management, 2014, International Organization for Standardization.

Burcu, C., 2019, LSTM Ağları ile Türkçe Kök Bulma, Bilişim Teknolojileri Dergisi 12(3), s. 183-193.

Collins, A. J., Hester, P., Ezell, B., Horst, J., 2016, An improvement selection methodology for key performance indicators, Environment Systems and Decisions, 36(2), p. 196-208.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Dedeakayogullari, I., Burnak, N., 1999, The determination of mean and/or variance shifts with artificial neural networks, International Journal of Production Research, 37(10), p. 2191-2200.

Doğan, F., Türkoğlu, İ., 2018, Derin öğrenme algoritmalarının yaprak sınıflandırma başarımlarının karşılaştırılması. Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences, 1(1), s. 10-21.

Domínguez, E., Pérez, B., Rubio, Á. L., Zapata, M. A., 2019, A taxonomy for key performance indicators management. Computer Standards & Interfaces, 64, p. 24-40.

Enshassi, A. A., El Shorafa, F., 2015, Key performance indicators for the maintenance of public hospitals buildings in the Gaza Strip, Facilities.

Ganatra, N., Patel, A., 2018, A Comprehensive Study of Deep Learning Architectures, Applications and Tools.

Ghalehkhondabi, I., Ardjmand, E., Weckman, G. R., Young, W. A., 2017, An overview of energy demand forecasting methods published in 2005–2015. Energy Systems, 8(2), p. 411-447.

Gupta, P., Gandhi, O. P., 2019, Maintenance performance evaluation using an integrated approach of graph theory, ISM and matrix method. International Journal of System Assurance Engineering and Management, 10(1), p. 57-82.

Histogram, 2020, Encyclopædia Britannica Inc.

Hochreiter, S., Schmidhuber, J., 1997, Long short-term memory, Neural computation, 9(8), p. 1735-1780.

Kang, N., Zhao, C., Li, J., Horst, J. A., 2016, A Hierarchical structure of key performance indicators for operation management and continuous improvement in production systems. International Journal of Production Research, 54(21), p. 6333-6350.

Kapanoğlu, M., 2016, Karar Destek Sistemleri, Anadolu Üniversitesi Yayını, s. 9-10.

Krzywinski, M., Altman, N., 2014, Visualizing samples with box plots: use box plots to illustrate the spread and differences of samples, Nature Methods, 11(2), p. 119-121.

Kumar, V., Garg, M. L., 2018, Deep Learning as a Frontier of Machine Learning: A Review, International Journal of Computer Applications, 975, p. 8887.

Küçükaltan, B., Irani, Z., Aktas, E., 2016, A decision support model for identification and prioritization of key performance indicators in the logistics industry. Computers in Human Behavior, 65, p. 346-358.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Lai, J. H., Man, C. S., 2017, Developing a performance evaluation scheme for engineering facilities in commercial buildings: state-of-the-art review, International journal of strategic property management, 21(1), p. 41-57.

Lavy, S., Garcia, J. A., Scinto, P., Dixit, M. K., 2014, Key performance indicators for facility performance assessment: simulation of core indicators. Construction Management and Economics, 32(12), p. 1183-1204.

LeCun, Y., Bengio, Y., Hinton, G., 2015, Deep learning, Nature, 521(7553), p. 436-444.

Maried, E. K., Eldalı, M. A., Zıada, O. O., Baba, E. A. A, Literature Survey of Deep learning and its application in Digital Image Processing.

McGill, R., Tukey, J. W., Larsen, W. A., 1978, Variations of box plots, The American Statistician, 32(1), p. 12-16.

Miraftabzadeh, S. M., Foiadelli, F., Longo, M., Pasetti, M., 2019, A survey of machine learning applications for power system analytics. In 2019 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2019 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe), p. 1-5, IEEE.

Montgomery, D. C., 2020, Introduction to statistical quality control, John Wiley & Sons, Sixth Edition, p. 180, 182.

Parida, A., Kumar, U., 2009, Maintenance productivity and performance measurement, In Handbook of maintenance management and engineering, p. 17-41. Springer, London.

Patır, S., 2009, İstatistiksel Proses Kontrol Teknikleri Ve Kontrol Grafiklerinin Malatyadaki Bir Tekstil (İplik Dokuma) İşletmesinde Bobin Sarım Kontrolüne Uygulanması, Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 9(18), s. 231-250.

Pervan, N., Keleş, Y., 2019, Derin öğrenme yaklaşımları kullanarak Türkçe metinlerden anlamsal çıkarım yapma, Yüksek Lisans Tezi.

Pramangioulis, D., Atsonios, K., Nikolopoulos, N., Rakopoulos, D., Grammelis, P., et. al., 2019, A methodology for determination and definition of key performance indicators for smart grids development in island energy systems. Energies, 12(2), 242.

Riexinger, G., Holtewert, P., Bruns, A., Wahren, S., Tran, K., et. al., 2015, KPI-focused simulation and management system for eco-efficient design of energy-intensive production systems. Procedia CIRP, 29, p. 68-73.

Rødseth, H., Strandhagen, J. O., Schjølberg, P., 2015, Key performance indicators for integrating maintenance management and manufacturing planning and control, IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems, p. 70-77.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Samir, K., Khabbazi, M. R., Maffei, A., Onori, M. A., 2018, Key performance indicators in cyber-physical production systems. Procedia CIRP, 72, p. 498-502.

Senkuvienė, I., Jankauskas, K., Kvietkauskas, H., 2014, Using manufacturing measurement visualization to improve performance. Mechanics, 20(1), p. 99-107.

Shi, H., Xu, M., Li, R., 2017, Deep learning for household load forecasting—A novel pooling deep RNN, IEEE Transactions on Smart Grid, 9(5), p. 5271-5280.

Siami-Namini, S., Namin, A. S., 2018, Forecasting economics and financial time series: ARIMA vs. LSTM, arXiv preprint arXiv:1803.06386.

Sikora, M., Szczyrba, K., Wróbel, Ł., Michalak, M., 2019, Monitoring and maintenance of a gantry based on a wireless system for measurement and analysis of the vibration level. Eksploatacja i Niezawodność, 21.

Skylakha, S., Sakthivel, P., Arunselvan, K. S., 2020, Empirical study on application of machine learning techniques for resource allocation in health care using KPI. The Journal of Supercomputing, 76(4), p. 2266-2274.

Sondalini, M., 2014, Useful Key Performance Indicators for Maintenance, http://www.lifetime-reliability.com/free-articles/maintenance management/Useful_Key_Performance_Indicators_for_Maintenance.pdf, erişim tarihi: 21.10.2018.

Stenström, C., Parida, A., Kumar, U., Galar, D., 2013, Performance indicators and terminology for value driven maintenance, Journal of Quality in Maintenance Engineering, 19(3), p. 222-232.

Şeker, A., Diri, B., Balık, H. H., 2017, Derin öğrenme yöntemleri ve uygulamaları hakkında bir inceleme, Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 3(3), s. 47-64.

The European Standard EN 15341:2007, Maintenance Key Performance Indicators, 2007, British Standards Institution.

Uddin, M. K., Puttonen, J., Martinez Lastra, J. L., 2015, Context-sensitive optimisation of the key performance indicators for FMS. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 28(9), p. 958-971.

Van de Glind, E. M., Willems, H. C., Eslami, S., Abu-Hanna, A., Lems, W. F., et. al., 2016, Estimating the time to benefit for preventive drugs with the statistical process control method: an example with alendronate, Drugs & aging, 33(5), p. 347-353.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Vetter, T. R., Morrice, D., 2019, Statistical process control: no hits, no runs, no errors?, Anesthesia & Analgesia, 128(2), p. 374-382.

Wohlers, B., Dziwok, S., Schmelter, D., Lorenz, W., 2018, Improving Quality Control of Mechatronic Systems Using KPI-Based Statistical Process Control, International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics, p. 398-410, Springer, Cham.

Zaremba, W., Sutskever, I., Vinyals, O., 2014, Recurrent neural network regularization, arXiv preprint arXiv:1409.2329.

Zhang, W., Yang, D., Wang, H., 2019, Data-driven methods for predictive maintenance of industrial equipment: A survey. IEEE Systems Journal, 13(3), p. 2213-2227.

Zucker, S., Giryes, R., 2018, Shallow Transits—Deep Learning. I. Feasibility Study of Deep Learning to Detect Periodic Transits of Exoplanets, The Astronomical Journal, 155(4), p. 147.