



A real-time system design using data mining for estimation of delayed orders and application

Ahmet Kürşad Türker^{1*}, Adem Göleç², Adnan Aktepe¹, Süleyman Ersöz¹, Mümtaz İpek³, Gültekin Çağır³

¹Department of Industrial Engineering, Kırıkkale University, Kırıkkale, 71450, Turkey

²Department of Industrial Engineering, Erciyes University, Kayseri, 38039, Turkey

³Department of Industrial Engineering, Sakarya University, Sakarya, 54187, Turkey

Highlights:

- Modeling the job-shop production system with real-time data
- Using Data Mining for creating decision rules for work centers
- Determining and reducing the number of probably delayed orders

Keywords:

- Industry 4.0
- Simulation
- Dynamic scheduling
- Data Mining
- Outsourcing

Graphical/Tabular Abstract

The orders, which are continuously received in the job-shop production type, are assigned to the work centers according to the routes and they are produced. With the complex and dynamic structure in factories, studying real-time situation of the system have become more important. With the bringings of Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0), big data can be obtained from the real-time system. In this study, real data are evaluated with a simulation model that was created with ARENA®. Then work loading strategies are compared and the delay status of the orders is found. Finally data mining classification algorithms and expert system are used for developing strategies for reducing delayed works.



Figure A. Stages of the model for estimation of probably delayed orders in job-shop production with data mining

Article Info:

Research Article
Received: 05.11.2018
Accepted: 22.10.2019

Purpose: The purpose of this study is developing strategies for reducing delayed works in a job-shop production system with simulation and data mining approaches with real time data.

Theory and Methods:

In order to develop the job-shop production system and to determine the best dispatching rules, simulation method is used. Secondly, Data Mining classification method is used for producing the decision rules for work centers. In addition, an expert system approach is used for evaluating the results of decision rules.

DOI:

10.17341/gazimmfd.478648

Results:

Decision rules for each working center are obtained with Data Mining. The rules are added to the ARENA® simulation model and the number of delayed orders has been further estimated an expert system approach.

Correspondence:

Author: A. Kürşad Türker
e-mail: kturker@kku.edu.tr
Phone: +90 318 357 42 42 / 1007

Conclusion:

Probably delayed orders are estimated for the simulated production system. Outsourcing decisions are evaluated and finally the number of delayed orders is reduced.



Siparişlerin gecikme tahmini için veri madenciliğine dayalı gerçek zamanlı bir sistem tasarımı ve uygulaması

Ahmet Kürşad Türker^{1*}, Adem Göleç², Adnan Aktepe¹, Süleyman Ersöz¹, Mümtaz İpek³, Gültekin Çağıl³

¹Kırıkkale Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 71450, Kırıkkale, Türkiye

²Erciyes Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 38039, Kayseri, Türkiye

³Sakarya Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 54187, Sakarya, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Atölye tipi üretim sistemin gerçek zamanlı veri ile modellenmesi
- İş merkezleri için karar kurallarının geliştirilmesinde veri madenciliğinin kullanılması
- Muhtemelen gecikecek olan işlerin belirlenmesi ve sayısının azaltılması

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 05.11.2018

Kabul: 22.10.2019

DOI:

10.17341/gazimmfd.478648

Anahtar Kelimeler:

Endüstri 4.0

benzetim

dinamik çizelgeleme

veri madenciliği

dış kaynak kullanımı

ÖZET

Atölye tipi üretimde atölyeye gelen işler rotadaki sıraya göre iş merkezlerine atanarak bir dizi operasyondan geçmektedir. Üretim, farklı rotalara sahip ürün çeşitlerinin ve iş merkezi sayısının artmasıyla daha karmaşık bir hal alır. Dinamik üretim ortamının gerçek zamanlı izlenmesiyle sistemin durumuna göre alınacak kararlar çok önemli rol oynar. Dördüncü Sanayi Devrimi ile bilişim teknolojilerinin endüstride yaygın olarak kullanılması, Endüstri 4.0 ve nesnelerin interneti aracılığıyla birbirleri arasında iletişim kurma özelliğine sahip üretim araçlarından büyük miktarda veri elde etme imkânı sağlamıştır. Bu çalışmada, iş merkezlerinde bulunan sensörler vasıtasıyla gerçek zamanlı veri toplayabilen bir üretim sisteminin benzetim modeli oluşturulmuştur ve operasyon koşulları belirlenmiştir. Sonrasında iş merkezi/tezgâh yükleme stratejileri işlerin gecikme sürelerine göre kıyaslanmıştır. En iyi yükleme stratejisi ile benzetim modeli üç farklı talep hızına göre çalıştırılmıştır. İş gecikmeleri ve iş merkezlerinin durumu gözlenmiştir. Elde edilen veriler veri madenciliği sınıflama algoritmaları ile değerlendirilerek geciken işler için çeşitli kurallar belirlenmiştir. Bu kurallar benzetim modeline bir karar mekanizması olarak eklenmiştir. Bu haliyle model, işletmeye yeni bir sipariş geldiğinde uzman sistem ile gecikip gecikmeyeceğini tahmin etmektedir ve üretimi için dış kaynak kullanımı kararını verebilmektedir. Bu yaklaşım ile geciken iş sayısı daha da azaltılmıştır

A real-time system design using data mining for estimation of delayed orders and application

H I G H L I G H T S

- Modeling the job-shop production system with real-time data
- Using Data Mining for creating decision rules for work centers
- Determining and reducing the number of probably delayed orders

Article Info

Research Article

Received: 05.11.2018

Accepted: 22.10.2019

DOI:

10.17341/gazimmfd.478648

Keywords:

Industry 4.0

simulation

dynamic scheduling

data mining

outsourcing

ABSTRACT

In job-shop production systems, orders are assigned to work centers according to their routes, and their operations are performed in this order. Production is becoming more and more complex with the increasing number of product lines and work centers with different routes. Decisions to be made according to the real-time monitoring of a dynamic production environment have become important. With the Fourth Industrial Revolution, information technologies are widely used in industries. A large amount of data is obtained from production tools that are capable of communicating with each other by means of Industry 4.0 and the internet of things. In this study, a simulation model of a production system that can collect data in real-time via sensors in work centers has been created and operation conditions have been determined. Then, work center / machine loading strategies were compared according to the delay periods of the jobs. The simulation model with the best loading strategy was run according to three different demand rates. Then data related with the delay status of the orders and the status of the work centers was obtained. The data were evaluated with data mining classification algorithms and rules were determined for delayed jobs. These rules were added to the simulation model as a decision mechanism. When an order is received in this model, the expert system estimates whether or not there will be a delay, and makes a decision to outsource the order's production if needed. This approach further reduces the number of delayed orders

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: kturker@kku.edu.tr, ademgolec@erciyes.edu.tr, aaktepe@kku.edu.tr, sersoz@kku.edu.tr, ipek@sakarya.edu.tr, cagil@sakarya.edu.tr / Tel: +90 318 357 42 42 / 1007

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Üretim tiplerinden biri olan atölye tipi üretimde, çoğunlukla siparişe göre üretim gerçekleştirilir. Ürünlerin ortak bir üretim akışı olmadığından iş merkezlerinde genel amaçlı tezgâhlar bulunmaktadır. Atölye tipi üretimde üretim kaynaklarının yönetimi ve koordinasyonu zordur. Bu zorluk, uygulanacak olan üretim planlama ve kontrol sistemini daha da önemli hale getirmektedir. Üretim çizelgelenirken çeşitli performans kriterleri dikkate alınmaktadır. Bunlar; teslimlerin tam zamanında yapılması, gecikmelerin en küçüklenmesi, işlerin sistemde geçirdikleri sürenin azaltılması, beklemlerin en küçüklenmesi ve iş istasyonlarının kullanım oranının en büyüklenmesidir [1]. Atölye tipi üretim yapan işletmelerde, teslim tarihi siparişi veren işletme tarafından verilmektedir ve siparişlerin zamanında teslim edilmesi önemli bir performans kriteridir.

Genellikle statik iş yükleme kuralları ile atölye tipi üretimde çizelgeleme gerçekleştirilir. Statik kurallar sürekli sipariş gelişi gibi dinamik, iş erteleme ve makine bozulmaları gibi stokastik gerçek hayat sorunlarını dikkate almadığından etkisiz kalır [2]. Daha önce yapılan çok sayıda çalışmada çizelgeleme teorisi ile uygulama arasındaki farklılıklar üzerinde durulmuştur. Çizelgeleme teorisi ile uygulama arasındaki farklılığa dikkat çeken ve çizelgelerin pratikte uygulanabilir olması adına yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Ayrıca klasik çizelgelemenin uygulamada, üretim çevrelerinin ihtiyaçlarını karşılamada başarısız olduğu da ifade edilmiştir [3, 4, 43].

Üretim yönetiminin önemli fonksiyonlarından biri de kontroldür. Kontrol, planlama faaliyetlerinin belirlenen sonuçlara ulaşılıp ulaşılmadığının denetlenmesidir. Planlama ve kontrol faaliyetleri birlikte çalışan bir yapıya sahiptir. Planlanan ile gerçekleşen üretim arasındaki farkın nedenleri araştırılarak üretim planları güncellenmektedir. Planlanan ile gerçekleşen arasındaki fark, üretimde kontrol altına alınamayan unsurların varlığına işaret eder. Günümüzde üretim çevreleri bilgisayarlar, bilgisayar kontrollü tezgâhlar, otomatikleştirilmiş taşıma ve depo yönetim sistemleri ile gelişmektedir. Zeki imalat sistemleri, bugünün ve geleceğin üretim öğeleri olan sensörlerin, bilgi işlem platformlarının, iletişim teknolojilerinin, simülasyonların kullanımını artırmaktadır. Dolayısıyla zeki imalat sistemleri üzerine yapılacak analizler veri yoğun modelleme ve öngörülür mühendislik tekniklerine ihtiyaç duymaktadır. Nesnelerin interneti, bulut bilişim, hizmet odaklı bilgi işlem, yapay zekâ ve veri analitiği tarafından yönetilen siber-fiziksel sistemleri olanaklı kılmıştır. Bu teknolojiler ve zeki imalat sistemleri, yeni sanayi devrimi "Endüstri 4.0" kavramını ortaya çıkarmıştır. Bu konu altı başlıkta ele alınmaktadır (üretim süreçleri ve teknolojileri; materyaller; veriler; öngörü mühendisliği; sürdürülebilirlik ve kaynak paylaşımı ve ağlar) [5]. Bilgi iletişim teknolojilerinin geliştirilmesiyle ve bu teknolojilerden elde edilen verilerin büyüklüğünün artışıyla üretim çevreleri büyük ölçüde etkilenmiştir. Günümüzde, üretim büyük

ölçekli görevlerin karmaşık kısıtlamalar altında bütünleşik kararlarla yerine getirildiği belirsiz bir süreç haline gelmiştir. Gerçek zamanlı, dinamik, kendini uyarlayabilen ve hassas bir yönetim prensibine olan talep neticesinde geleneksel üretim yönetimi tarzında kullanılan teknik ve yöntemler yetersiz kalmaktadır.

Üretim yöneticilerinin, hataları tespit etmek için üretim sistemlerini gerçek zamanlı kontrol etmeleri gerekmektedir. Üretim süresinin doğru tahmini için etkili tekniklere ihtiyaçları vardır. İşletmelerde kullanılan kurumsal kaynak planlaması (ERP), üretim yürütme sistemi (MES), bilgisayar destekli süreç planlama (CAPP) gibi çeşitli bilgi sistemleri üretim ile ilgili bol miktarda veri biriktirir. Bu verilerden üretim kararlarının etkinliğini arttırmak için yararlı bilgiler çıkarılmalıdır [6].

Günümüzde radyo frekansı ile tanımlama (RFID) sistemleri, Bluetooth, Wi-Fi ve GSM gibi yeni teknolojilerin uygulamaları ile Nesnelerin İnterneti dönemi başlamıştır. Görüntü işleme teknolojileri, barkod, RFID, tezgâhlardan anlık veri toplama ekipmanları gibi gelişmiş teknolojileri, sistemlerdeki öğelerle iletişime geçerek anlık verileri işleyerek kullanılabilir bilgiye dönüştürülebilmektedir ve sistemin performansını arttırmaya dönük kararlar verebilmektedir [7, 37, 38, 43].

Nesnelerin interneti teknolojilerindeki son gelişmeler, zeki imalat sistemlerinin gerçek zamanlı izlenmesini mümkün kılmıştır. Böylece sistemdeki değişen durum ve şartlarla yeniden planlama yapmak mümkün hale gelmiştir. Büyük hacimli, üstü kapalı verilerden, önceden bilinmeyen ancak potansiyel olarak kullanışlı bilgi ve örüntülerin çıkarılması veri madenciliği olarak tanımlanmaktadır. Modern üretim yönetiminde, üretim süreçlerinin özelliklerini yansıtabilecek verilerin toplanması, saklanması ve bilgilerin veri madenciliği araçları ile keşfedilmesi mümkün olabilir. Daha sonra bu bilgi ve modeller, kusur önleme ve algılama, kalite iyileştirme, akış süresi azaltma vb. gibi konularda üretim süreçlerini desteklemek için kullanılabilir.

Verilerin analiz edilme ihtiyacı, Veri Madenciliği (VM) tekniklerinin üretim alanındaki uygulamalarını da arttırmıştır. VM teknikleri üretimden toplanan verilere dayanarak; (a) üretimdeki problemleri ve bilinmeyen yanlış gidışı bulmak için, (b) yararlı ve verimli kalıp veya kurallar belirlemek için, (c) üretim planını zamanında ayarlamak için, (d) iş zekâsını ve üretim yönetiminin otomasyonunu geliştirmek için ve (e) adım adım üretim verimliliği ve ürün kalitesini geliştirmek için üretim yönetiminde kullanılabilir. Sonuç olarak, pratik bir üretim yönetimi VM teknikleri aracılığıyla gerçekleştirilebilir [8].

Bir işletmenin bünyesinde gerçekleştirdiği bir iş, fonksiyon veya süreci dış tedarikçilere devretmesine dış kaynak kullanımı denir. İşletmelerin büyük yatırımlara girmeden müşterilerin değişen istek ve gereksinimlerini karşılayarak, değişen pazar şartlarına daha hızla cevap verebilmesindeki

esnekliklerin artmasında kullanılan önemli yöntemlerden birisi dış kaynak kullanımıdır. Üretim sistemlerinde performansı etkileyen ve birbirleri ile etkileşimli olan parametre sayısı oldukça fazla olduğu için üretim sistemleri karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu karmaşıklığın azaltılması, ölçülebilir ve kontrol edilebilir parametre sayısının artırılması ile mümkün olabilir. Benzetim yaklaşımı, gerçek hayat süreçlerinin ve sistemlerinin bilgisayar ortamında modellenmesine ve analizine imkân vermektedir. Benzetim, gerçek hayat sisteminin dinamikliğini hem daha az süre hem de daha az maliyet ile yapılabildiğinden dolayı tercih edilmektedir [9-11].

Bu çalışmanın amacı atölye tipi üretim yapan bir işletmede, gelen siparişlerin tesliminde yaşanabilecek gecikmelerin önüne geçmek için gecikme potansiyeli olan işlerin Veri Madenciliği ile tahmin edilmesi ve dış kaynak kullanımını alternatifinin değerlendirilmesidir. Bu amaçla, bir sipariş geldiğinde algılayıcılar ağı vasıtasıyla atölyedeki mevcut yük ile ilgili veriler toplanmış ve eşzamanlı analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analiz neticesinde siparişin gecikme potansiyeli olduğu sonucu çıkarsa, dış kaynak kullanımını kararı verilmiştir ve geciken sipariş sayısı azaltılmıştır. Bu çalışma aşağıda belirtilen adımlarla gerçekleştirilmiştir;

Stok için üretimin yapılmadığı sadece sipariş söz konusu olursa üretimin gerçekleştirildiği ve üstel dağılıma göre sürekli sipariş gelişi olan bir işletme ele alınmıştır. Burada farklı rotalara ve işlem sürelerine sahip 20 farklı parça 10 iş merkezinde rotalarına göre üretilmektedir. Tasarlanan sistemde zamana bağlı olarak değişen şartları anlık olarak algılayabilen algılayıcı ağının bulunduğu varsayımı ile sistemin ARENA [42] benzetim modeli oluşturulmuştur.

Bu benzetim modeli kullanılarak sistemin talep geliş hızı ve bu hıza göre iş merkezlerinde bulunması gereken tezgâh sayısı dengesi açısından tatminkâr bir seviye yakalanmıştır. Belirlenen bu çalışma şartlarında sistemimiz; literatürde yer alan ve tarafımızdan yeni önerilen tezgâhlara iş atama kuralları, geciken sipariş adedinin azaltılması ve teslim tarihine olabildiğince yakın zamanda teslim edilmeleri performans kriterleri açısından benzetim modeli vasıtasıyla karşılaştırılmıştır.

Performans kriterlerimize göre en iyi sonucu üreten atama kuralından elde edilen sonuçları geliştirmek için sistem hızlı, normal ve yavaş talep hızlarında çalıştırılmıştır. Toplamda 30.000 siparişin her birinin sisteme geldiğindeki üretim şartları ve siparişin sonucu bilgileri elde edilmiştir. Bu veriler Veri Madenciliği teknikleri ile sınıflandırılarak, gecikme sonucunu doğuran yapılar belirlenmiştir. Gecikmeye neden olan yapılar benzetim modeline girilerek bu durumda iken gelen siparişlerin dış kaynaklarda üretimi gerçekleştirilerek sistemin performansı artırılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE RESEARCH)

Literatür araştırmasında Yapay Zekâ ve Veri Madenciliği yöntemlerin dinamik atölye tipi çizelgeleme probleminin

çözümünde kullanımı ele alınmıştır. Literatürde bu makalede ele alınan problem için simülasyon, yapay zekâ algoritmaları, akıllı sistemler, veri madenciliği ve istatistiksel yöntemler genellikle kullanılan yaklaşımlar olup bu yaklaşımların farklı üretim ortamlarında ayrı ayrı veya sentezlenerek kullanıldığı çalışmalar mevcuttur.

Eguchi vd. [12] çalışmalarında dinamik atölye tipi çizelgeleme problemi için bir yapay sinir ağı modeli önermişlerdir. Çalışmada amaç statik üretim ortamında optimum çözümü bulmak yerine dinamik ortamda çalışabilen ve mevcut çözümlerden daha iyi sonuç veren bir model geliştirmektir. Çalışmada ortalama ağırlıklı gecikme kriteri için WSPT, ATC, WSPT ve W/CR kurallarında göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Aydın ve Öztemel [13] ise çalışmalarında ajan ve simülasyonu yapılan ortam olmak üzere iki farklı bileşen kullanılarak bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Akıllı ajan gerçek zamanında üretim ortamına uygun en iyi atama kuralı belirlenmekte ve simülasyon tekniği ile ise seçilen kural kullanılarak çizelgeleme gerçekleştirilmektedir. Modelde kullanılan akıllı ajan çalışmada geliştirilen destek bir öğrenme algoritması ile eğitilmektedir. Geliştirilen akıllı ajan ile elde edilen sonuçlar, bazı atama kuralları ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır [43].

Baykasoğlu vd. [14] yapay bağımsızlık sisteminin dinamiklerini çoklu etmen tabanlı modelleme ile benzetim ortamında gerçekleştirmiş ve gezgin satıcı probleminin çözümünde uygulamışlardır. Etmen tabanlı algoritma ile elde edilen gerçeğe daha yakın sonuçlar meta-sezgisel algoritmaların etmen temelli olarak da modellenebildiğini göstermektedir. Etmen temelli sistemlerin dinamik sistemleri etkin bir şekilde modelleyebilme özelliği çalışmanın önemli bir sonucudur.

Yaman vd. [15] çalışmalarında dinamik çizelgeleme sürecinde kullanılmak üzere verilerin hazırlanması için zaman serileri ve ARIMA modellerini kullanmışlardır. Çalışmada hızlı ray istasyonunda bekleyen yolcuların gri seviye görüntüleri, bilgisayar ortamına aktarılmış ve görüntü işleme metotları ile desteklenmiştir. Kurulan model aracılığı ile ileriki dönemler için yolcu gelişleri tahmin edilmiştir. Uygulama sonucunda hızlı ray ulaşım sisteminde görüntü işleme tekniği kullanılarak yolcu gelişleri, dakika bazında sayısal olarak hesaplanmış ve bir hizmet sisteminde dinamik çizelgeleme sürecine veri hazırlanabileceği gösterilmiştir.

İpek [16] doktora tezinde yapay sinir ağları ile dinamik atölye çizelgelemede teslim tarihinin belirlenmesi problemini ele almıştır. Performans kriterleri teslim tarihinden ortalama mutlak sapma, teslim tarihinden mutlak sapmalarının kareleri ortalaması, ortalama pozitif gecikme, pozitif geciken iş sayısı, ortalama negatif gecikme ve negatif geciken iş sayıları şeklindedir. Çalışmada geliştirilen simülasyon modeli yapay sinir ağları ve karşılaştırması yapılan diğer beş farklı regresyon modeli için önce verileri üretmek sonrasında da test etmek için kullanılmıştır. Yapay

sinir ağı modelinin en kısa işlem süreli performans ölçütünde daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir.

Göçken [17] ise doktora tezinde iş yükü kontrol kavramında her bir karar noktasının (iş giriş, iş salma, öncelikli yönlendirme) etkisinin araştırılması için benzetim modelleri geliştirmiş ve test etmiştir. Ayrıca bir veri madenciliği algoritması olan MEPAR-Miner ile öncelikli yönlendirme aşamasında kullanılacak ve diğer karar aşamalarının etkinliğini artırmaya yardımcı olabilecek bir karma yönlendirme kuralı geliştirmiştir.

Gürbüz vd. [18] ise veri madenciliği ile kural belirleme yaklaşımını havayolu hizmetlerinde düzeltici ve önleyici faaliyetler geliştirme üzerine geliştirmişlerdir. Çalışmada veri madenciliği ile üretim ve hizmet sektörlerinde büyük verinin etkin bir şekilde modellenebileceği belirtilmiş olup, birçok sektör için veri madenciliği ile iyileştirme sağlanabileceği belirtilmiştir.

Köklü vd. [19] de çalışmalarında çok sınıflı verilerden kural çıkarımı için yeni bir yöntem önermişlerdir. Uygunluk fonksiyonunun optimizasyonu amacıyla CLONALG algoritması kullanılmıştır. Kural çıkarım işlemi için sınıflandırma başarısı uygunluk fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Önerilen yöntem 4 adet farklı veri kümesi üzerinde uygulanmış ve literatürde yer alan 8 farklı veri madenciliği sınıflandırma algoritması ile kıyaslanmıştır. Diğer yöntemlerle kıyaslandığında daha başarılı sonuçlar elde edildiği ve hesaplama karmaşıklığının da azaltıldığı gözlenmiştir.

İsmail vd. [20] üretim planlama ve çizelgelemede veri madenciliği yöntemlerinin kullanımı üzerine bir literatür araştırması gerçekleştirmişlerdir. Araştırmada inceledikleri çalışmaları kullanılan veri tabanları, sonuçta keşfedilen bilgi, kullanılan teknikler ve gerçekleştirilen uygulamalar açısından sınıflandırmışlardır. Ayrıca veri madenciliği ile kısa vade, orta vade ve uzun vade üretim planlama problemlerini incelemişlerdir. Atölye tipi çizelgelemede bilgi tabanlı modeller, bulanık mantık, genetik algoritma ve yapay sinir ağlarının kullanıldığını, toplu üretim planlamada genetik algoritma ve atölye kontrolünde teslim zamanı tahminini iyileştirmede karar ağaçları kullanıldığını ifade etmişlerdir.

Zhou vd. [21] ise çalışmalarında dinamik atölye tipi çizelgeleme problemlerinde karınca koloni algoritmasının performansını test etmiş ve uygulamayı üç farklı makine kullanım seviyesi, üç farklı işlem süreleri dağılımı ve üç farklı performans kriteri ile gerçekleştirmişlerdir. Geliştirilen yöntem ile hesaplanan ortalama akış zamanı, ortalama gecikme ve toplam çıktı sayısı sonuçları diğer atama kuralları olan FIFO, SPT ve MS ile elde edilen sonuçlarla kıyaslanmıştır. Çalışmada makine kullanım oranının çok fazla olmadığı durumlarda ve işlem zamanı değişkenliğinin çok fazla olmadığı durumlarda karınca koloni algoritması ile geliştirilen yöntemim gecikmenin

minimize edilmesi açısından daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Metan vd. [22] atama kurallarının gerçek zamanlı olarak belirlenmesinde simülasyon, veri madenciliği ve istatistiksel kontrol şemalarını sentezleyerek yeni bir çizelgeleme yaklaşımı geliştirmişlerdir. Üretimden gelen verilerle karar ağaçları geliştirilmiştir. Her bir çizelgeleme periyodu için karar ağacından seçilen karar kuralları ile atama yapılmaktadır. İstatistiksel kontrol şemaları ise karar ağaçlarının atama kuralı belirleme performansını izlemekte ve üretim parametreleri değiştikçe karar ağaçları dinamik olarak güncellenmektedir. Geliştirilen yaklaşım ortalama gecikmeyi minimize etme üzerine modellenmiş ve uygulanmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda geliştirilen modelin literatürdeki diğer simülasyon tabanlı modellerden daha iyi sonuçlar ürettiği belirtilmektedir.

Azadeh vd. [3] çalışmalarında üretim sistemlerinin stokastik yapısından dolayı uygun atama kuralının belirlenmesinin önemli bir problem olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında simülasyon ve yapay sinir ağları ile toplam tamamlanma zamanını minimize eden optimum atama kurallarının belirlenmesi üzerine bir algoritma geliştirmişlerdir. Simülasyon tekniği ile yapay sinir ağları sentezlenmiştir. Elde edilen model literatürde toplam tamamlanma zamanı ile ilgili yapılan diğer çalışmalardan daha iyi sonuç vermiştir.

Sharma ve Jain [23, 24] stokastik ortamda dinamik atölye tipi çizelgeleme problemini incelemişlerdir ve çeşitli kurallar geliştirmişlerdir. Çalışmada toplam tamamlanma zamanı, ortalama akış zamanı, maksimum akış zamanı, ortalama gecikme, maksimum gecikme, geciken işlerin sayısı, toplam hazırlık süresi ve ortalama hazırlık süresi kriterlerinin değerleri geliştirilen algoritma ile hesaplanmıştır. En kısa hazırlık zamanı kuralı ortalama akış zamanı ve geciken işlerin sayısında kıyaslama yapılan dokuz farklı kural arasında en iyi sonucu vermiştir. Çalışmada geliştirilen yeni bir kural ile diğer kriterler içinde en iyi değer elde edilmiştir. İkinci çalışmalarında, en kısa (teslim zamanına kalan süre + hazırlık süresi + işlem süresi), aynı hazırlık zamanı ve en kısa (teslim zamanına kalan süre + hazırlık zamanı + işlem zamanı), aynı hazırlık zamanı ve en kısa gevşek zaman ve aynı hazırlık zamanı ve birim iş başına en kısa gevşek zaman şeklinde kurallar geliştirmişlerdir. Zhong vd. [25] ise çalışmalarında diğer çalışmalardan farklı olarak Radyo Frekans ile Tanımlama sisteminin kullanıldığı bir üretim ortamından eş zamanlı veri toplamışlar ve bu verileri veri madenciliği ile analiz ederek standart işlem süreleri ve atama kurallarının belirlenmesinde kullanmışlardır. Çalışmada karar ağaçları kullanılmış olup, eş zamanlı veri kullanımının atama kurallarının belirlenmesinde iyileştirme sağladığı ifade edilmektedir [43].

Karacan [26] yüksek lisans tezinde geliştirdiği benzetim modelinin girdi parametreleri ile ilgili veri toplama işlemini kolaylaştırmak amacıyla veri madenciliği yöntemlerini kullanmıştır. Veriyi ön işleme tabi tutup kümeleme analizini

gerçekleştirip modellenmesi için sonuçları gösteren C# tabanlı bir yaklaşım geliştirmiştir.

Kulkarni ve Venkatesvaran [27] atölye tipi çizelgeleme problemleri için SbO adını verdikleri simülasyon tabanlı optimizasyon algoritmasını geliştirmişlerdir. Çalışmada klasik atölye tipi çizelgeleme probleminin NP-Hard bir problem olduğu, bu problemleri çözmek için literatürde tamsayı programlama ya da meta-sezgisel algoritmaların kullanıldığı ifade edilmektedir. Yapılan çalışmada ise problemin çözümü için hibrid bir algoritma geliştirildiği belirtilmektedir. Geliştirilen algoritma deterministik ve stokastik ortamlarda test edilmiş olup, klasik karma tamsayı programlama modelinden daha iyi sonuçla elde edilmiştir. Kück vd. de [28] üretim sistemlerinin dinamik ortamda kontrolü için simülasyon tabanlı bir optimizasyon algoritması önermişlerdir. Makine arızaları, çok sayıda siparişin aynı anda gelmesi gibi karışıklığa neden olabilecek unsurlar dikkate alınmıştır. Gelişen yeni durumlara göre ise üretimin yeniden çizelgelenmesi için bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Ersöz vd. [29], RFID kullanılarak oluşturulan sistemlerinin ürettiği gerçek zamanlı bilgiyi planlama faaliyetlerine adapte etmeye çalışmışlardır. Teori ile pratik arasındaki boşluğu ortadan kaldırmak adına, üretim ortamlarının dinamik yapısının anında algılanarak oluşan yeni durum ve şartlara göre çizelgelemenin güncellenmesi, bu şekilde oluşan dinamik yapıya göre hareket edilmesiyle büyük kazanımlar elde edilmiştir. Ürünlerin fabrika içinde üretilirken takip edilebilirliği artmış ve gereksiz bekleme veya duruşlar en aza indirilmiştir [43].

Bierwirth ve Kuhpfahl [30] ise atölye tipi çizelgelemede toplam ağırlıklı gecikmeyi minimize etmek için bir metasezgisel algoritma ile lokal arama yöntemlerini birleştirmişlerdir ve yeni bir model önerisinde bulunmuşlardır. Kritik ağaç oluşturma üzerine geliştirilen model toplam işlem zamanı kriteri açısından iyi sonuçlar üretmektedir. Xiong vd. [31] işlerin serbest bırakma zamanları ve genişletilmiş teknik öncelik kısıtlarının yer aldığı dinamik çizelgeleme probleminde atama kurallarının belirlenmesi için simülasyon tabanlı bir model önermişlerdir. Genişletilmiş teknik öncelik diyagramının dinamik atölye tipi problem için ilk defa ele alındığı vurgulanmıştır. Çalışmada geliştirilen simülasyon tabanlı atama algoritması ile toplam gecikme zamanı ve geciken işlerin sayısı azaltılmıştır. Literatürde yer alan diğer çalışmalardan daha iyi sonuçlar elde edildiği vurgulanmaktadır. Rossit vd. [32] ise akıllı üretim kavramını ve günümüzde önemli bir yeri olduğunu vurguladıkları akıllı çizelgeleme konusunu ele almışlardır. Üretimde yeniden çizelgelemeye ihtiyaç duyulmasını engellemek amacıyla dinamik ortamda toleranslı çizelgeleme kavramını geliştirmişlerdir. Tao vd. [33] üretim sistemlerinde son zamanlarda yaşanan yenilikler ve Endüstri 4.0 ile gündeme gelen akıllı üretim yaklaşım ve modellerini incelemişlerdir. Çalışmada üretimde veri yaşam döngüsünün analizi gerçekleştirilmiş ve büyük verinin üretimde kullanımı anlatılmıştır. Büyük verinin üretimde kullanımı üzerine kavramsal modeller geliştirilmiş ve farklı

sektörler için büyük verinin kullanımı örneklerle açıklanmıştır [43]. Larsen ve Marco [4] çalışmalarında şu ana kadar bahsedilen dinamik çizelgeleme problemi yerine dinamik yeniden çizelgeleme konusunu ele almışlardır. Üretimde beklenmeyen duruşların gerçekleşme ihtimalinin yüksek olması nedeniyle yaşanan yeniden çizelgeleme probleminin çözümü için bir algoritma önermişlerdir. Geliştirilen algoritmada çözücü ve kontrol edici parametreler yer almaktadır. Çözücü ile statik ortama göre çözülen problem, kontrol edici parametrelerle dinamik ortama taşınmaktadır.

Cheng vd. [34] ise büyük verinin dinamik üretim ortamında etkin kullanımı için veri madenciliği algoritmalarının kullanılması gerektiğini vurgulamaktadır.

Tezgâha iş atama öncelik kuralları açısından değerlendirildiğinde çalışmamızda yeni bir kural da oluşturulmuştur. Bu yeni atama kuralında; sistemden elde edilen anlık verilere göre öncelik değeri, işlerin muhtemel bekleme zamanlarına göre teslim için kalan süresi en az olan iş öncelikli (Slack time by estimated waiting time: SEWT) olarak belirlenmektedir. Bunun gibi sistemin gerçek zamanlı takibi ile elde edilecek verilere dayalı yeni birçok atama kuralı da bundan sonra gelişecektir. Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde dinamik atölye tipi çizelgelemede atama kurallarının belirlenmesinde yapay zekâ ve Veri Madenciliği tabanlı modellerin geliştirildiği gözlenmiştir. Yapılan çalışmalar, toplam tamamlanma zamanları, toplam akış zamanları ve gecikmelerin minimize edilmesi kriterlerine odaklanmaktadır.

Yapay Zekâ ve Veri Madenciliği Endüstri 4.0'ın önemli elemanlarından ikisidir. Çalışmamızda da veri madenciliği yöntemlerinden biri olan sınıflandırma tekniği ve uzman sistem kullanılmıştır. Yapılan literatür çalışması sonucunda, sınıflandırma yöntemi kullanılarak üretimden toplanan verilere göre gecikebilecek siparişlerin tahmini için kalıp veya kurallar çıkartılmıştır. Bu kuralları kullanan sisteme eklenmiş bir uzman sistemle üretim yönetiminin etkinliğini arttıran bir yaklaşıma rastlanmamıştır. Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak çalışmamızda geliştirilen dinamik model ile gecikme ihtimali yüksek olan işlerin veri madenciliği ve uzman sistem ile önceden tahmin edilmesi ve ayrıca dış kaynak kullanımı ile üretilecek parçaların belirlenmesi literatüre katkı sağlayacaktır. Makalemizin bu yönü çalışmamıza orijinallik katmaktadır. Bu yaklaşımdan hareketle üretim yönetiminin etkinliğini arttırmaya dönük yeni birçok yaklaşım ortaya çıkacaktır.

3. ÇALIŞMADA KULLANILAN ATAMA KURALLARI (DISPATCHING RULES USED IN THE STUDY)

Birçok araştırmacı atölye tipi üretimde belirledikleri amaçları optimize etmek için çizelgeleme probleminde birçok atama kuralını kullanmıştır [1, 35-40, 43, 44]. Üretimi gerçekleştirilecek işlerin listesinin sürekli gelen siparişler nedeniyle değişmesiyle dinamik, karmaşık ve zor yapı

oluşur. Atama kuralları bu durumlarda daha da hızlı bir şekilde çözüm geliştirilebilmektedir. Sadece geliş zamanı, teslim tarihi, işlem süreleri gibi işin sahip olduğu değerlere göre atama yapan kurallar ile sistemin tüm performans kriterlerinin en iyilenmesi mümkün olamamaktadır.

Atama adayı olan her bir iş için, her atama kuralında farklı olmak üzere öncelik değeri hesaplanır. Sonrasında kullanılacak olan kurala göre bu değerlerden en büyük veya en küçük değere sahip olan iş seçilerek iş merkezine ataması gerçekleştirilir. Atama kurallarında öncelik değerini belirlemede kullanılacak olan matematiksel ifadeler ve anlamları Tablo 1’de verilmiştir. Atama kuralları çeşitli şekillerde tasnif edilebilir. Bu çalışmada kullanılacak olan atama kuralları aşağıda alt başlıklar halinde sınıflandırılmıştır.

3.1 İşe Dayalı Kurallar (Rules based on jobs)

Bu tip atama kurallarında, iş merkezleri arasındaki karşılıklı bağımlılıklar göz ardı edilerek, sistemde işlenmek üzere gelen işlerin sahip oldukları bazı özellik ve değerlere göre iş istasyonlarına atanmak üzere öncelikleri belirlenmektedir. Bu kurallarda belirlenen bu değerler içerisinde en küçük olanı seçilerek atama gerçekleştirilir.

3.1.1 İşin sahip olduğu değerlere göre oluşturulan kurallar (Rules created with values of jobs)

Bu kurallardan ilki en küçük işlem süresidir. Burada işlerin öncelik değeri işin iş merkezindeki işlem süresidir (Eşitlik 1). İş merkezinin önünde bekleyen işler arasında iş merkezindeki işlem süresi en küçük olan iş, atanacak iş olarak seçilir [43].

$$\pi_{i,k} = P_{i,k} \quad (1)$$

İkincisi en küçük kalan toplam iş süresidir. Burada işlerin öncelik değeri kalan tüm işlemlerinin bitmesi için gerekli olan süredir (Eşitlik 2). İş merkezinin önünde bekleyen işler arasında öncelik değeri en küçük olan iş, atanacak iş olarak seçilir.

$$\pi_{i,k} = \sum_{j=k}^{n_i} P_{i,j} \quad (2)$$

Üçüncüsü rotasında en az kalan işlem sayısıdır. Burada işlerin öncelik değeri kalan işlem sayısıdır. İş merkezinin önünde bekleyen işler arasında öncelik değeri en küçük olan atanacak iş olarak seçilir.

3.1.2 Teslim tarihine göre oluşturulan kurallar (Rules created according to due dates)

Birincisi en erken teslim tarihidir. Burada işlerin öncelik değeri işlemlerinin teslim tarihleridir (Eşitlik 3). İş merkezine atanacak iş belirlenirken, iş merkezinin önünde işlenmek üzere bekleyen işlerin öncelik değeri en küçük olan iş seçilir [43].

$$\pi_{i,k} = T_i \quad (3)$$

İkincisi en az teslim için kalan süredir. Burada işin teslim zamanından, işin geldiği zaman ve işin kalan toplam işlem süresi çıkarılarak elde edilen (Eşitlik 4) öncelik değerinin en küçüğüne sahip olan iş, iş merkezine atanacak iş olarak seçilir [43].

$$\pi_{i,k} = T_i - \left[t + \sum_{j=k}^{n_i} P_{i,j} \right] \quad (4)$$

Üçüncüsü ise teslim için kalan sürenin işin tamamlanması için gerekli süreye oranlanarak belirlenen öncelik oranı en küçük olan öncelikli olandır. Burada Eşitlik 5 ile hesaplanan kritik oran değerleri arasındaki en küçük değere sahip olan iş merkezine atanacak iş olarak seçilir [43].

[Öncelik Oranı = (İşin Kalan Zamanı) / (İşin Bitmesi için gerekli zaman)].

$$\pi_{i,k} = (T_i - t) / \sum_{j=k}^{n_i} P_{i,j} \quad (5)$$

3.1.3 İşlerin geliş sıralarına göre oluşturulan kuralları (Rules created according to job arrivals)

Birincisi ilk sisteme gelen ilk işlerin kuralıdır. Burada işlerin öncelik değeri işin sisteme geliş zamanıdır (Eşitlik 6). İş merkezinin önünde bekleyen işler arasında sisteme önce gelen iş, atanacak iş olarak seçilir.

Tablo 1. Bağıntılarda kullanılan ifadeler (Nomenclature in Equations) [43]

i:	İş no	j:	Operasyon no	k:	O anki operasyon no
$\pi_{i,k}$	i işinin k . operasyondaki öncelik değeri	n_i	i işinin operasyon sayısı		
T_i	i işinin teslim tarihi	A_i	i işinin sisteme geliş zamanı		
$P_{i,j}$	i işinin j . operasyondaki işlem süresi	$G_{i,j}$	i işinin j . operasyona geliş zamanı		
$W'_{i,j}$	i işinin j . operasyonunda muhtemel bekleme zamanı	t	Hesaplamanın yapıldığı andaki simülasyon zamanı		

$$\pi_{i,k} = A_i \quad (6)$$

İkincisi ise iş merkezine ilk gelen ilk işlenir kuralıdır. Burada işlerin öncelik değeri için iş merkezine geliş zamanıdır (Eşitlik 7). Burada iş merkezinin önünde bekleyen işler arasında iş merkezine önce gelen iş, atanacak iş olarak seçilir [43].

$$\pi_{i,k} = G_{i,j} \quad (7)$$

3.2 Atölye Durumuna göre Kurallar (Rules according to workshop position)

Endüstri 4.0 yaklaşımı çerçevesinde şekillendirilmeye çalışılan geleceğin akıllı fabrikalarında verimi arttırabilecek için sistemi oluşturan öğelerin ve alt sistemlerin birbiri ile bütünleşmesi gerekmektedir. Bu bütünleşme için birbirinden bağımsız olan makinelerin diğer makinelerle iletişim kurarak akıllıca çalışması gerekmektedir. Süreç izleme, makine ve diğer ünitelerden elde edilebilecek eşzamanlı veriler sayesinde neden sonuç ilişkisi içinde kapsamlı ve etkin olarak gerçekleştirilebilecektir. Makineler kendi üretim kaynaklarını planlayabilecek ve böylece yalın bir üretim ve tam zamanında üretim gerçekleştirmesi mümkün olabilecektir. Endüstri 4.0 kapsamındaki nesnelerin interneti sayesinde dinamik platformlardan çok daha kolay veri toplama imkanı yakalanacaktır. Bu toplanan veriler ile oluşan büyük veriler doğru şekilde analiz edilerek rasyonel kararların alınması da sağlanmış olacaktır. Böylece yapılacak çalışmalar ile de teori ile uygulama arasındaki farkın kapatılması mümkün olacaktır. Son zamanlara kadar ihtiyaç duyulan andaki atölyenin durumunu gösterecek gerçek zamanlı veri elde edilemiyordu. Bu nedenle atölyedeki işleyişe bağlı olarak oluşan değişimlere ve durumlara göre oluşan gerçek zamanlı veriler ile işlerin öncelik değerlerini kendi kendine yenileyebilen atama kuralları çok yaygın değildi. Günümüzde gerçekleşen bu tür teknolojik gelişmeler ile dinamik yapı içerisinde oluşan veriler anında algılanarak eşzamanlı değerlendirilmesine olanak sağlayacak atama kuralları daha fazla gelişmeye başlayacaktır. Aşağıda bu çerçevede iki atama kuralı sunulmuştur.

Birincisi sonraki iş merkezinin toplam iş yükünün belirlenmesidir. İş merkezinin önünde bekleyen işlerin rotalarında yer alan bir sonraki istasyonlarda bekleyen işlerin tamamlanması için gereken zamanlar için öncelik değeri olarak belirleniyor ve en düşük değere sahip olan ilk iş atanmak için seçiliyor.

Holthaus ve Rajendran [37] tarafından literatüre katılan bu kuralın, işlerin ortalama akış süresini en aza indirmede iyi sonuçlar verdiği ifade edilmiştir. Atölyenin kullanım oranının yüksek ve teslim tarihlerinin dar aralıkta belirlendiği durumlarda, bu kural aynı zamanda gecikmeleri ve gecikme yüzdesini de en aza indirmiştir [43]. İkincisi işlerin muhtemel bekleme zamanlarına göre teslim için kalan süresi en az olan iş öncelikli olan kuralıdır. Bu yaklaşımda, öncelikle atama adayları işlerin o ana kadar rotalarında yer alan

sonraki istasyonlarda gerçekleşen bekleme zamanlarının ortalamasının toplamı tahmini bekleme zamanı olarak alınır. Bu muhtemel bekleme de dikkate alarak hesaplanan müsait zaman değeri (Eşitlik 8) en az olan iş atanmak için seçilir.

$$\pi_{i,k} = T_i - \left[t + \sum_{j=k}^{n_i} P_{i,j} + \sum_{j=k}^{n_i} W'_{i,j} \right] \quad (8)$$

Üçüncüsü ise sonraki iş merkezinin toplam iş yükü ve en kısa işlem süreli kuralıdır. Atanmak üzere kuyrukta bekleyen işler için WINQ yöntemine göre en düşük değere sahip iş merkezi belirlenir. Sonrasında bu iş merkezine gönderilecek birden fazla iş var ise bunlar arasından en düşük işlem süresine sahip iş atanmak için seçilir.

3.3 Karma Kurallar (Hybrid rules)

Atama adayı olan her bir iş için atama kuralları farklı öncelik değerleri hesaplar. Karma kurallarda birleştirilecek atama kurallarının belirlenmiş öncelik değerleri toplanarak yeni bir öncelik değeri elde edilmiş olur. Bu değer atanmak için seçilecek işi belirlemede kullanılır. Bu çalışmada yer verilmiş olan karma atama kuralları aşağıda verilmiştir:

SPT+LTWR atama kuralında; atanmak üzere kuyrukta bekleyen işlerin toplam kalan işlem süreleri belirlenir ve bu değere işlerin o iş merkezindeki işlem süreleri eklenerek elde edilen değer atama için öncelik değeri olarak kullanılır.

SPS+ECT atama kuralında; atanmak üzere kuyrukta bekleyen işlerin kalan işlem sayısına işlerin geliş sırası eklenerek elde edilen değer atama için öncelik değeri olarak kullanılır.

WinQ+PT atama kuralında; atanmak üzere kuyrukta bekleyen işlerin gideceği bir sonraki iş merkezinde söz konusu olan toplam iş yüküne işlerin o iş merkezindeki işlem süreleri eklenerek elde edilen değer atama için öncelik değeri olarak kullanılır [44].

Bu şekilde karma atama kurallarının çoğaltılması mümkündür.

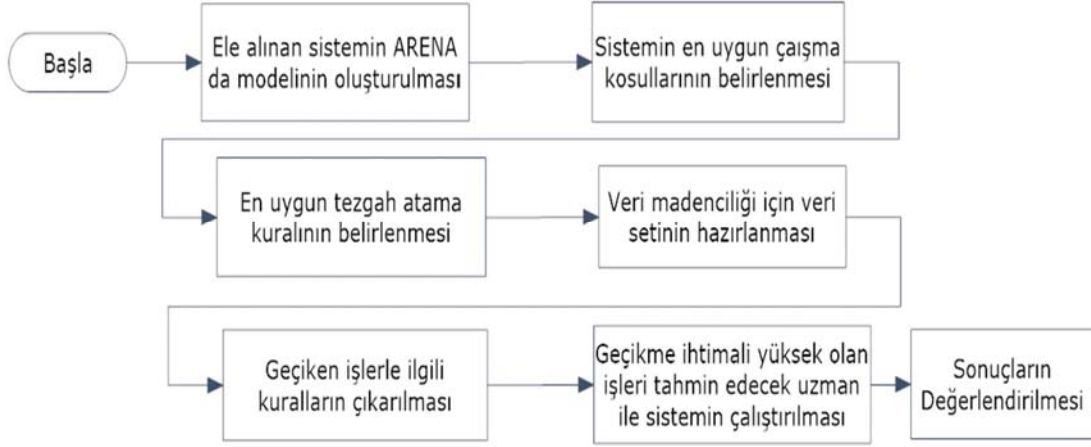
4. ÇALIŞMADA GELİŞTİRİLEN ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

(THE SOLUTION APPROACH DEVELOPED IN THIS STUDY)

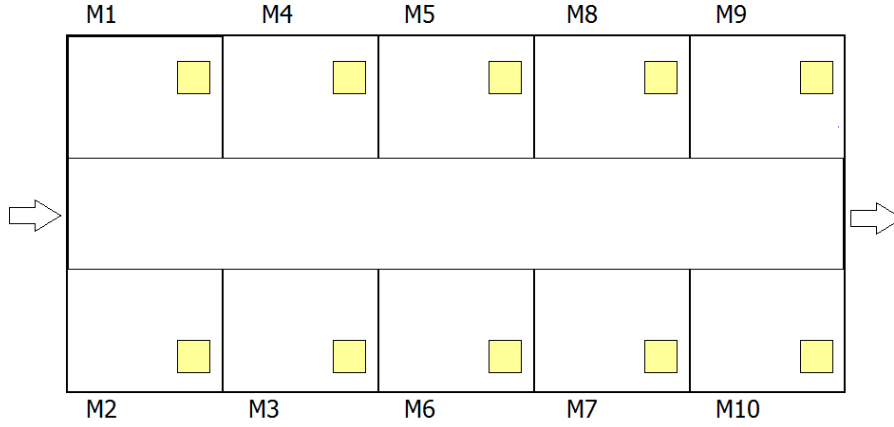
Veri Madenciliği teknikleri kullanılarak gerçekleştirilen çalışmamızda geliştirilen çözüm yaklaşımı Şekil 1'de gösterilmektedir.

4.1. Arena modelinin oluşturulması (Building Arena model)

Atölye tipi üretim gerçekleştiren, sipariş gelişi ile üretime başlanılan sürekli olarak sipariş gelişinin söz konusu olduğu, Türker vd. [43] tarafından geliştirilen ve Şekil 2'de temsili atölye yerleşim planı verilen, bünyesinde özdeş



Şekil 1. Çalışmanın Aşamaları (Stages of the study)



Şekil 2. Temsili Atölye Yerleşim Planı (Representative Workshop Layout Plan) [43]

tezgahlarında bulunan veri toplama ekipmanları ile anlık veri elde edile bilinen 10 iş merkezinde imalatın gerçekleştirildiği, Endüstri 4.0'a uyum sağlamış sanal bir işletme kurgulanmıştır. Burada üretimi gerçekleştirilecek 20 parçanın rotaları ve birim işlem süreleri yedek parça imalatı yapan bir işletmenin en çok üretimi gerçekleştirdiği parçaları baz alınarak belirlenmiş ve Tablo 2'de bunlar verilmiştir.

Gelen siparişin herhangi bir ürün için olabileceği (20 ürününde sipariş olma ihtimali eşit) ve gelen siparişin büyüklüğü ise 10 ile 30 arasında herhangi bir değer olabileceği varsayılmıştır. Buna göre sipariş geliş hızına göre rassal olarak gelişleri sağlanmış ve her bir senaryoda da aynı zamanda oluşturulan 5000 adet siparişin tamamının üretimi gerçekleştirildiğinde benzetim koşumu tamamlanmıştır. Böylece, atama kurallarından dolayı sistem içerisinde sıkışık kalan sipariş olma ihtimali ortadan kaldırılmıştır. Oluşturulan her bir senaryo için aynı siparişler aynı zamanda oluşturularak siparişlerin bire bir karşılaştırma imkânı sağlanmıştır. Böylece daha gerçekçi değerlendirmeler yapılması imkânı yakalanmıştır. Bu oluşturulan 5000 sipariş içerisinde ürünlerin sipariş adetleri Tablo 2'de verilmiştir. Gerçek hayatta işletmeye gelen siparişlere geniş bir teslim zamanı aralığı verilebileceği gibi, acil olan siparişler için dar

bir teslim zamanı aralığı da verilebilmektedir. Buda teslim tarihi zaman aralığının belirlenmesinde gelen siparişlerin özelliğini de (normal veya acil) dikkate alacak bir tesadüflik unsuru da içine almalıdır. Çalışmamızda teslim tarihi belirlemede bu durumu da yansıtacak yeni bir Eşitlik (Eşitlik 9) kullanılmıştır.

Sistemin işleyişi şu şekildedir: Üretilecek için sisteme giren işler rotalarında yer alan ilk iş merkezine yönlendirilir. İş merkezi boş ise işlem başlatılır, dolu ise işlenmek üzere kuyrukta bekletilir. İş merkezi boşaldığında kuyrukta bekleyen işler var ise belirlenen atama kuralının hesaplanan öncelik değerine göre, atanacak iş seçilerek işleme alınır. İşlemi biten işler rotalarındaki bir sonraki iş merkezine yönlendirilerek, bu iş merkezinde de aynı işlemlere tabii tutulurlar. Böylece, işlerin rotasındaki tüm iş merkezlerini ziyaret etmesi sağlanarak üretimi tamamlanır. Benzetim modeli aşağıdaki varsayımlar çerçevesinde oluşturulmuştur.

Her bir sipariş (iş) bir bütündür. İş farklı iş merkezlerinde farklı operasyonlardan geçerek oluşmaktadır. Bu nedenle aynı işin iki operasyonu hiçbir zaman aynı anda gerçekleşemez. Siparişin bölünmesi mümkün değildir. Siparişin herhangi bir operasyonunun başlayabilmesi için

Tablo 2. İşlerin rotaları ve birim işlem süreleri (Job routes and unit process times) [43, 44]

	İşlem1	İşlem2	İşlem3	İşlem4	İşlem5	İşlem6	İşlem7	Sip.Adedi
Parça1	İşM-1(8)	İşM-2(12)	İşM-5(12)	İşM-4(7)	İşM-7(13)			229
Parça2	İşM-1(8)	İşM-5(19)	İşM-4(12)	İşM-8(15)	İşM-6(10)			231
Parça3	İşM-1(10)	İşM-4(8)	İşM-3(6)	İşM-6(8)	İşM-9(9)			248
Parça4	İşM-1(9)	İşM-6(10)	İşM-3(10)	İşM-4(10)	İşM-5(14)	İşM-9(8)	İşM-10(10)	267
Parça5	İşM-1(9)	İşM-4(10)	İşM-3(8)	İşM-5(15)	İşM-10(11)	İşM-9(5)		277
Parça6	İşM-1(9)	İşM-2(10)	İşM-3(8)	İşM-4(11)	İşM-5(10)	İşM-6(9)	İşM-10(14)	248
Parça7	İşM-2(13)	İşM-3(11)	İşM-4(10)	İşM-5(16)	İşM-8(18)	İşM-9(9)		240
Parça8	İşM-2(14)	İşM-4(14)	İşM-5(13)	İşM-7(14)	İşM-8(18)	İşM-9(10)		247
Parça9	İşM-2(12)	İşM-5(9)	İşM-4(11)	İşM-7(16)	İşM-10(14)			231
Parça10	İşM-2(13)	İşM-3(9)	İşM-4(7)	İşM-8(14)	İşM-7(14)	İşM-6(10)		256
Parça11	İşM-2(11)	İşM-5(10)	İşM-6(10)					267
Parça12	İşM-2(10)	İşM-5(11)	İşM-4(10)	İşM-8(17)	İşM-9(12)			249
Parça13	İşM-2(12)	İşM-5(12)	İşM-4(10)	İşM-3(8)	İşM-6(8)	İşM-9(7)		249
Parça14	İşM-2(13)	İşM-5(10)	İşM-4(11)	İşM-3(8)	İşM-6(9)	İşM-7(17)	İşM-10(12)	243
Parça15	İşM-3(10)	İşM-6(9)	İşM-4(11)	İşM-8(17)	İşM-7(15)			258
Parça16	İşM-3(9)	İşM-5(10)	İşM-4(9)	İşM-7(18)				263
Parça17	İşM-3(8)	İşM-4(7)	İşM-8(15)					216
Parça18	İşM-3(9)	İşM-5(10)	İşM-4(10)	İşM-6(8)				280
Parça19	İşM-3(8)	İşM-4(9)	İşM-7(15)	İşM-6(11)				236
Parça20	İşM-3(8)	İşM-5(11)	İşM-4(9)	İşM-8(15)	İşM-6(12)			265

önceki operasyonlarının tamamlanması gerekir. Her bir iş, her bir iş merkezinde bir tane olmak üzere, m tane farklı operasyona sahiptir. Siparişin iptali söz konusu değildir. Her bir sipariş tamamlanmaya dek işlenir. İşler herhangi bir şekilde kontrole tabii tutulmadığından bir fire durumu söz konusu değildir. İş merkezleri arasında işleri taşımak için gereken zaman ihmal edilmiştir. İş merkezleri önünde ara stoka izin verilir.

İşler makinanın boşalması için bekleyebilir. İş merkezlerindeki makinalar boş kalabilir. Makinalar asla bozulmaz ve çizelgeleme periyodu boyunca elverişlidir. Burada belirtilenlere göre sistemin ARENA ile benzetim modeli oluşturulmuştur.

4.2. Sistemin en uygun çalışma koşullarının belirlenmesi (Determination of the most appropriate working conditions of the system)

Tasarlanan sistemin ARENA ile oluşturulan benzetim modeli üstel dağılıma göre çeşitli sipariş geliş hızlarında ilk gelen ilk işlenir atama kuralına göre denenmiştir. Bulunan sonuçlar, iş merkezlerinin kapasite kullanım oranları ve bu iş merkezlerinde kuyruk oluşumları (kuyruk boylarının zamana bağlı olarak sürekli artıp artmadığı ve darboğaza neden olup olmadığı) açısından mukayese edilmiştir. Sonuçta sipariş geliş hızı olarak 65 ortalama üstel dağılım alınmış ve buna bağlı sürekli değişen dinamik sipariş listesinin sistemde üretimi gerçekleştirilmiştir.

Teslim tarihini veren bağıntıyı elde etmek için de, oluşturulan sistem yine ilk gelen ilk işlenir atama kuralına göre çalıştırılmış ve siparişlerin sistemde geçirdikleri süreler bulunmuştur. Bulunan değerlerden siparişin işlem süreleri çıkarılıp tekrar işlem süresine bölünmesi ile bir oran elde edilmiştir. Bu oran gelen siparişlerin işlem sürelerinin yaklaşık kaç katı sürede sistemde işlem görmeksizin

bulunarak teslim edilebildiğini göstermektedir. Elde edilen bu oranlar serisi incelendiğinde üstel dağılıma benzer bir yapı olduğu görülmüştür. Ayrıca, acil siparişleri de modelleyebilmek için teorik açıdan sıfır ile sonsuz arasında değer üretebilen üstel dağılım, bu açıdan da uygun bir dağılım olacağı düşünülmüştür. Buna göre siparişlerin teslim tarihleri aşağıdaki verilen Eşitlik 9 ile belirlenmiştir [43, 44].

$$TT_i = \text{Gelis anı} + \left(\sum_{i=1}^{20} \sum_{j=1}^{10} P_{i,j} \right) \cdot (1 + k + \text{Expo}(\mu)) \quad (9)$$

Bu Eşitlikde; gelen siparişin gerekli olan üretim süresinin hemen bitiminde teslim edilebilmesinin çok olası olmadığı için “k” sabit öteleme oranı olarak alınmış ve böylece siparişlerin bu oran nispetinde sabit bir pay alması sağlanmıştır. Üstel dağılımın alacağı ortalama (μ) değere göre de siparişlerin teslim tarihinin belirlenmesinde genişlik veya sıklık oluşturulması sağlanmıştır. Bu çalışmada k değeri 1,5 ve ortalama değeri de 1,5 olarak alınmıştır.

Benzetim modelimiz yukarıda verilen şartlar altında, iş merkezinde bulunan çeşitli makina sayısı kombinasyonlarına göre çalıştırılmıştır. Sistemde darboğaz oluşturmayan tatminkar sonuç üreten makina sayıları Tablo 3’te verilmiştir.

4.3 En uygun tezgâh atama kuralının belirlenmesi (Determination of the most appropriate dispatching rules)

Tezgâhlara atanacak işler belirlenirken önceki bölümde anlatılan FIFO, SPT, SPS, EDD, LTWR, SLACK, PR, SPT+LTWR, SPS+ECT, SPT+SPS, WinQ+PT, WinQ(SPT) ve SEWT atama kuralları kullanılarak 13 farklı senaryoya göre sistem çıktı değişkenlerinin aldığı değerler elde edilmiştir. Sisteme gelen 5000 sipariş için aynı rassal sayılar

kullanılarak her senaryonun modeli çalıştırılmıştır. Böylece tüm senaryolarda siparişler aynı zamanlarda oluşmuş, aynı teslim tarihi atanmıştır. Böylece daha gerçekçi mukayese ve değerlendirmeler yapılmıştır.

Gerçek hayatta, bir siparişin tesliminin mümkün olduğunca teslim tarihine yakın bir tarihte olması arzu edilir. Siparişin erken tamamlanması stok maliyetlerine, geç bitirilmesi de müşteri memnuniyetsizliği ve/veya geç teslim cezalarının ödenmesine neden olacaktır. Teslim tarihinden sapmaların pozitif de (erken teslim), negatif de (geç teslim) istenmemektedir. Teslim tarihinden sapmaları değerlendirmek için sapmalar toplamına bakmak bizi yanıltıcı sonuçlara götürebilecektir. Bu nedenle çalışmamızda siparişlerin teslimlerinin teslim zamanında sapmaların karesi ortalaması performans ölçütü olarak alınmıştır. Bu ölçütün senaryolardan elde edilen değerleri Tablo 4 ve Şekil 3'te gösterilmiştir. Sonuçta en iyi atama kuralını belirlemek için geciken sipariş sayısı ve siparişin

bitiş zamanının teslim tarihinden sapma kareleri ortalaması kullanılmıştır.

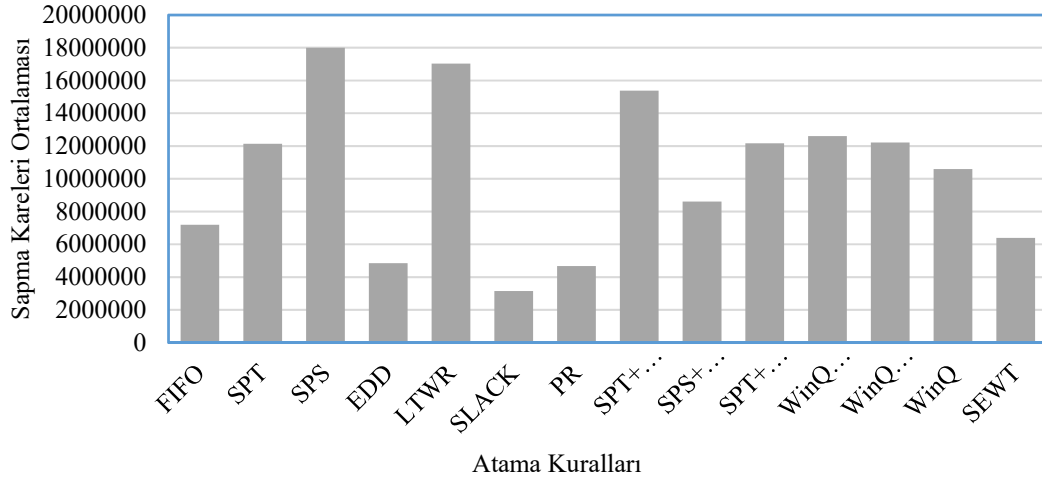
Sonuçlar incelendiğinde Teslim tarihini dikkate alan teslim tarihi öncelikli atama yöntemi (EDD) ve işin sistemdeki rotalarına göre ilerledikçe kalan süreleri dikkate alan SLACK atama kuralının daha iyi sonuçlar ürettiği görülmektedir. Bu analizimize geciken işlerin sayılarını da (Tablo 4) ekleyecek olursak en az geciken işe neden olan SLACK atama kuralı daha da öne çıkmaktadır.

4.4 Veri madenciliği için veri setinin hazırlanması (Data preparation for data mining)

Siparişlerin teslim tarihlerinden sapmaların kareleri toplamı ve geciken işlerin sayısına göre SLACK atama kuralı daha öne çıktığından tezgâha iş yükleme atama kuralı olarak seçilmiştir. Burada elde edilen sonuçları daha da iyileştirmek için bir sipariş sisteme geldiği andaki tezgâhların yükleri, atölyenin toplam yükü, siparişin üretimi için gerekli süre ve

Tablo 3. İş merkezlerindeki makina sayıları (Number of machines in work centers) [44]

İş Merkezi	İşM-1	İşM-2	İşM-3	İşM-4	İşM-5	İşM-6	İşM-7	İşM-8	İşM-9	İşM-10
Makina Sayısı	1	2	2	3	3	2	2	2	1	1



Şekil 3. Teslim Tarihlerinden Sapmaların Kareleri Toplamı (Sum of squares Due date deviations)

Tablo 4. Erken, geç teslim edilen siparişlerin sayısı ve sistemdeki ortalama sipariş adedi
(The number of early and late delivered orders and mean of order numbers in the system)

	FIFO	SPT	SPS	EDD	LTWR	SLACK	PR
Erken	3.679	4.693	3.846	4.811	4.653	4.848	4.783
Geç	1.321	307	1.154	189	347	152	217
Wip	46,0	37,0	54,4	41,5	39,3	40,8	43,0
Sapma K, Ort,	7.189.674	12.134.574	17.993.771	4.846.314	17.024.275	3.147.210	4.677.327
	SPT+	SPS+	SPT+	WinQ	WinQ	WinQ	SEWT
	LTWR	ECT	SPS	+PT	(SPT)	WinQ	
Erken	4.662	3.588	4.692	4.591	4.599	4.182	4.088
Geç	338	1.412	308	409	401	818	912
Wip	38,8	45,8	37,0	36,3	36,3	40,1	44,5
Sapma K, Ort,	15.383.363	8.604.555	12.162.160	12.611.807	12.209.041	10.590.440	6.398.891

teslim tarihine kadarki müsait zamanı arasında bir ilişki olup olmadığının araştırılması hedeflenmiştir. Bunun için sistem, sipariş hızı hızlı (ortalaması 62 olan üstel dağılıma göre geliş), sipariş hızı normal (ortalaması 65 olan üstel dağılıma göre geliş) ve sipariş hızı yavaş (ortalaması 68 olan üstel dağılıma göre geliş) olacak şekilde her birinde 10 biner sipariş ürettirilmiştir.

Bu siparişlerin geldikleri zamandaki yükler ve siparişin üretimi sonrasında gecikip gecikmediği durumu kayıt edilmiştir. Böylece gecikmeleri analiz edebileceğimiz 30 bin adetlik bir veri seti oluşturulmuştur.

4.5 Geciken işlerle ilgili kuralların belirlenmesi (Determination of rules for late works)

Veri madenciliğinde sınıflama algoritmaları ile sistemin bir özelliğinin değeri, diğer özelliklerinin değerleri kullanarak belirlenebilir.

Çalışılan veri seti öğrenme kümesi ve sına kümesi olarak ayrılır. Burada veri kümesinin dağılımına göre bir model bulunur. Bulunan modelin sına kümesindeki başarısı tatminkâr ise değeri araştırılan özelliğın bilinmeyen değerini tahmin etmek için kullanılır.

Elde edilen 30 bin adetlik bir veri seti, adını sadece Yeni Zelanda adalarında bulunan uçamayan bir kuştan alan “Weka 3: Data Mining Software in Java” [41] Weka veri madenciliği programının j48 graft sınıflandırma algoritması ile işlenmiştir.

Sınıflama algoritması olarak çeşitli algoritmalar denenmiş ve en tatminkâr sonuçları üreten j48 graft algoritması ile verilerin işlenmesine karar verilmiştir. Her bir parçanın sistemdeki rotaları farklı olduğundan, kurallarda parça

bazında çıkarılmıştır. Bunun için 30 bin adet veri seti parça tipine göre ayrıştırılmıştır. Bu durumda her parça için yaklaşık 1500 veri seti elde edilmiştir. Bu verilerin %66 sı öğrenme kümesi olarak kullanılmış, kalan veriler de sına kümesi olarak kullanılmıştır.

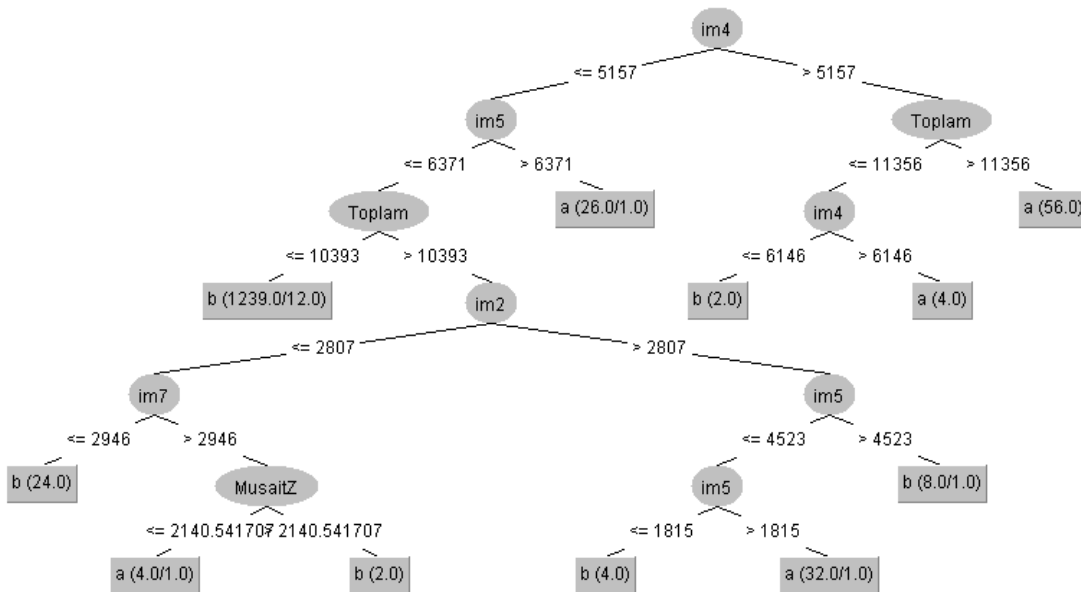
Her bir veri setine teslim zamana kadar kullanabileceği müsait zamanı (MüsaitZ), üretim rotasındaki iş merkezlerinin o andaki iş yükleri (im1, im2, ...im10) ve siparişin rotasındaki iş merkezlerinde oluşan toplam iş yükü (Toplam) tahmin için kullanılacak özellikler olarak alınmıştır.

Bu özelliklere göre oluşan tahmin edilecek özellik yani sınıf bilgisi olarak da siparişin gecikip (“b” sınıfı olarak gösterilmiştir), gecikmediği (“a” sınıfı olarak gösterilmiştir) bilgisi her bir veri setinde verilmiştir.

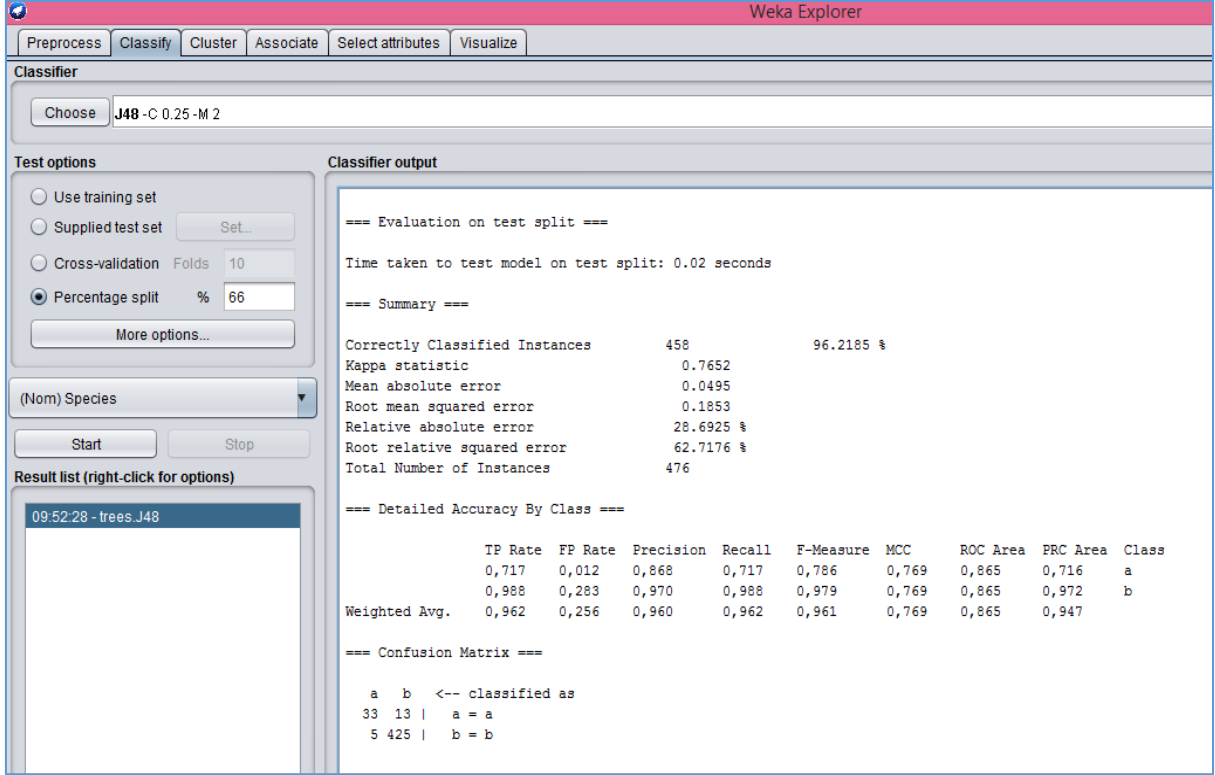
Her bir parçanın veri setleri bu algoritma ile belirtilen şartlarda işlenmesi sonucunda ağaç yapısı şeklinde bir kural seti elde edilmiştir. Bu ağaç yapılarından da sonuca etkisi fazla olduğu görülen kurallar, o parça ile ilgili kural setini oluşturmuşlardır. Şekil 4 ve Şekil 5'te parçal için yapılan çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar görülmektedir.

Buna göre çıkarılan kurallarda şu şekilde oluşmuştur.

- Eğer $im4 > 5157$ ve $Toplam > 11356$ ise “sipariş gecikir”.
- Eğer $im4 > 6146$ ve $Toplam \leq 11356$ ise “sipariş gecikir”.
- Eğer $im4 \leq 5157$ ve $im5 \leq 6371$ ise “sipariş gecikir”.
- Eğer $im4 > 2807$ ve $im4 \leq 5157$ ve $im5 > 1815$ ve $im5 \leq 6371$ ve $Toplam > 10393$ ve $im2 > 2807$ ise “sipariş gecikir”.
- Eğer $im4 \leq 5157$ ve $im5 \leq 6371$ ve $Toplam > 10393$ ve $im2 \leq 2807$ ve $im7 > 2946$ ve $MusaitZ \leq 2140.541707$ ise “sipariş gecikir”.



Şekil 4. Parça 1 için sınıflandırma karar ağacı (Classification decision tree for part 1)



Şekil 5. Parça 1 için yapılan sınıflandırmaya ait uyum istatistikleri (Goodness-of-fit statistics for classification of part 1)

Bu yaklaşım tüm parçalara uygulanarak tüm parçalar için kural setleri oluşturulmuştur.

4.6. Gecikme potansiyeli olan siparişlerin tahmini ve Dış Kaynak Kullanımı (Estimation of probable delays and Outsourcing)

Bilgisayarların hesaplama gücünün giderek artmasıyla büyük ölçekli mikro-benzetim modelleri çalıştırılabilmektedir. Etmen tabanlı modelleme ve benzetim sayesinde birbirleriyle ve çevreyle etkileşimi olan etmenlerin sistemin davranışı incelenebilir ve sistemdeki aktörlerin karar süreçlerini tam anlamıyla tanımlamak amaçlanır [14]. Çalışmamızda ise oluşturulan kural setleri Arena ile oluşturulmuş olan modele uzman sistem olarak eklenmiştir. Bu sistemle, bir sipariş sisteme geldiği zaman o anki atölye durumu değerlerine göre zamanında yetiştirilip yetiştirilemeyeceği sorusu cevaplandırılmıştır. Bu cevap gecikme potansiyeli yüksek şeklinde ise siparişin anlaşmalı yan sanayi kuruluşlarında üretilmesi kararı otomatik verdirilmiştir. Bu yaklaşımın çalışma yapısı Şekil 6'da görülmektedir.

Oluşturulan yapının, yan sanayi kullanımı opsiyonunun olmadığı durum ile mukayese edilmesi için model her koşulda sistem ve istatistikler başlangıç koşullarına döndürülerek 4 kez çalıştırılmıştır.

Üretimin tümünün işletmede gerçekleştirilmesi durumunda (yan sanayi kullanmaksızın) elde edilen sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir.

Gecikme potansiyelinin söz konusu olduğu siparişlerin yan sanayide üretimlerinin gerçekleştirilmesi durumunda (yan sanayi kullanımlı) oluşan sonuçlar da Tablo 6'da verilmiştir.

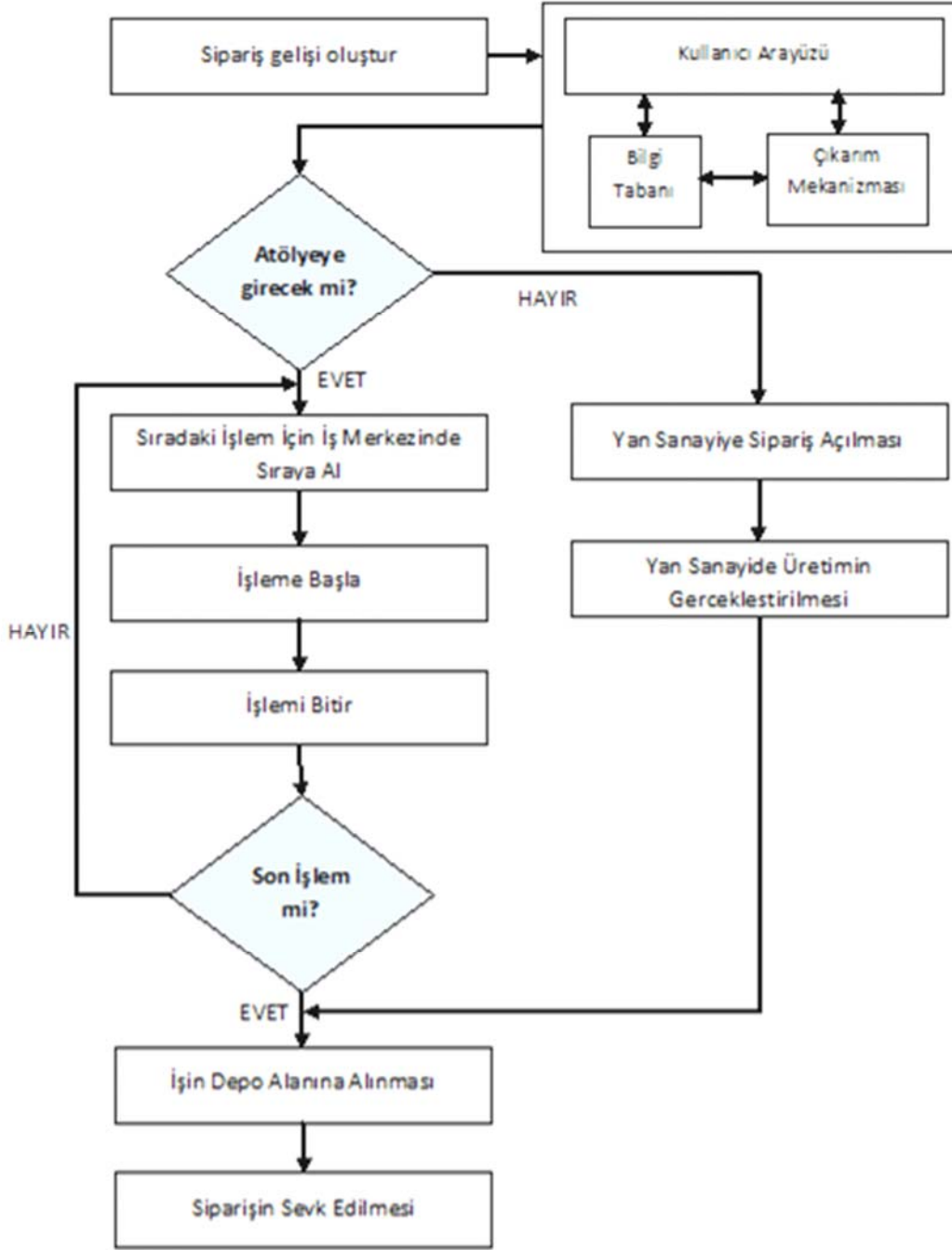
Tablo 5. Üretimin tümünün işletmede gerçekleştirilmesi durumu (The state of whole production in the company)

	Ortalama	Minimum	Maksimum
Erken Adedi	4.204,25	3.566,00	4.848,00
Geç Adedi	795,75	152,00	1.434,00
Wip	50,2201	40,8390	62,2998

Tablo 6. Yan sanayi kullanımının söz konusu olduğu durum (The state of outsourcing)

	Ortalama	Minimum	Maksimum
Erken Adedi	4.963,50	4.926,00	4.990,00
Geç Adedi	36,50	10,00	74,00
Yan Sanayi	89,25	47,00	151,00
Wip	39,1611	37,2518	42,2312

Bu sonuçlarda da açıkça görüldüğü gibi siparişin geldiği anda iş merkezlerinin yüklerine bakılarak gecikme potansiyeli olan işlerin yan sanayide üretilmesi ile geciken işlerin sayısı önemli oranda azalmasına neden olduğu görülmektedir. Ayrıca sistemde aynı anda bulunan sipariş adedinde de düşme görülmektedir.



Şekil 6. Sistemin işleyişi (The workflow of the system)

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Bu çalışmanın sonuçları Veri Madenciliği ile geliştirilen modelden elde edilen bulgular ve Endüstri 4.0'ın dinamik çizelgeleme ve planlama faaliyetlerine getirdiklerinin değerlendirilmesi olmak üzere iki aşamada açıklanmaktadır. Öncelikle geciken sipariş sayısı ve teslim tarihinden sapmaların kareleri ortalaması açısından sonuçlar

incelendiğinde teslim tarihini dikkate alan; EDD, SLACK, PR ve SEWT atama kurallarının daha iyi sonuç ürettiği görülmektedir. Bununla beraber her bir atama kuralının da gecikmelere sebep olabildiği gözlemlenmiştir. Söz konusu gecikmeleri de dikkate almak ve azaltmak için daha derinlikli bir yaklaşıma ihtiyaç duyulduğu aşikârdır. Bu sebeple, sistemden benzetim ile elde edilen veri setleri Veri Madenciliği sınıflama algoritmaları ile işlenmiş, geciken işlerle ilgili kurallar belirlenmiş ve bunlara göre bir uzman

sistem oluşturulmuştur. Uzman sistem ile gecikme potansiyeli olan işlerin dış kaynak kullanımına yönlendirilmesi kararı ile geciken işlerin sayısının önemli oranda azaldığı gözlenmiştir. Bu da memnun müşteri sayısının artmasına, geç teslimlerden kaynaklanacak olan tazminatların azalmasına neden olacaktır. İlave olarak sistemde aynı anda bulunan sipariş adedindeki düşüş ile de atölye sahasının daha kolay kontrol edilebilmesi sağlanmıştır. Bununla birlikte Endüstri 4.0 vizyonu ile tesis edilecek işletmelerde, nesnelere interneti sayesinde dinamik platformlardan çok daha kolay ve anlık veri toplama imkânı elde edilecektir. Böylece sistemin kontrolü daha etkin olacaktır. Toplanan veriler ile oluşan büyük veriler doğru şekilde analiz edilerek sistemin öğeleri arasında oluşan iç dinamikler çözümlenerek rasyonel kararların alınması sağlanacaktır. Sistemden elde edilen anlık veriler ile literatürdeki çalışmalarda yer alan varsayımların birçoğu ortadan kaldırılarak teori ile uygulama arasındaki farkın kapatılması mümkün olacaktır. Söz konusu veriler ile planlama faaliyetinde kullanılan işlem süresi gibi verilerin doğrulamasının yapılması mümkün olacaktır. Oluşacak bu büyük verinin analizi ile sistemin hangi durumda ne tür tepkiler vereceği öğrenileceğinden, sisteme entegre edilecek yapay zekâ ve/veya makine öğrenmesi yaklaşımları ile kendi kendini yönetebilen akıllı fabrikalar oluşturulmuş olacaktır.

Bu çalışmada sürekli sipariş gelişle değişen iş listesinden dolayı oluşan dinamik yapı ele alınmıştır. Bundan sonraki çalışmalarda, buna ek olarak makine arızaları, siparişlerin müşteriler tarafından iptal edilmesi, kalite kontrol işlemlerinden sonra hurda veya yeniden işleme kararlarının verilmesi ve hammadde temininde yaşanabilecek problemlerle ilgili eş zamanlı verinin de elde edilebilmesi atölye içinde oluşan verinin daha fazla ve detaylı olmasını sağlayacaktır. Atölyedeki işleyişe bağlı olarak oluşan değişimleri ve durumları gösterecek olan gerçek zamanlı büyük veri ve bunların ihtiyaç duyulan zamanda analizi ve değerlendirilmesi anında müdahale imkânını artıracaktır. Bu da üretim yönetiminde daha etkin stratejiler geliştirilmesini sağlayacaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Türker A.K., Ersöz O.Ö., Üretim Planlama ve Kontrolün Atölye Yüklü ile Eşzamanlı Gerçekleştirilmesi, *MANAS Journal of Social Studies*, 5 (5), 2016.
2. Elhüseyni, M., Hipotetik Bir Tekstil Atölyesinin Dinamik Çizelgelemesinde Yollama Kurallarının Benzetim Tekniğiyle Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2012.
3. Azadeh, A., Negahban, A. ve Moghaddam, M., A hybrid computer simulation-artificial neural network algorithm for optimisation of dispatching rule selection in stochastic job shop scheduling problems, *International Journal of Production Research*, 50 (2), 551–566, 2012.
4. Larsen, R. ve Marco, P., A framework for dynamic rescheduling problems, *International Journal of Production Research*, 1-18, 2018.
5. Kusiak A., *Smart Manufacturing*, *Int J of Prod Research*, 56 (1-2), 508-517, 2018.
6. L. Li, Z. Sun, J. Ni, et al., Data-based scheduling framework and adaptive dispatching rule of complex manufacturing systems, *Int. J. Adv. Manuf. Tech.* 66 (9), 1891–1905, 2013.
7. Türker A.K. vd. Rfid Teknolojisi Entegreli Otomatik Taşıma Sistemi İle Parçaların Atölye İçerisinde Otomatize Rotalanması Ve Atölye Kontrolünün Gerçekleştirilmesi, *KKU-BAP Projesi, Kırıkkale*, 2018.
8. Cheng ,Ying, Chen, Ken, Sun, Hemeng, Zhang, Yongping, Tao, Fe, Data and knowledge mining with big data towards smart production, *J of Ind Inf Integration*, Volume 9, Pages 1-13, 2018.
9. Banks J., Carson J. S., Nelson B. L., Nicol D. M. *Discrete-Event System Simulation*. Printice Hall 3rd Edition, 2001.
10. Law A. M., Kelton W. D. *Simulation Modeling and Analysis*. McGraw-Hill, International Editions, 2nd Edition., 1991.
11. Kuruca H.İ., Özdemir G., Aydemir E., Çayırılı M., Development of flexible work flow planning editor for simulation software and operations scheduling on gantt charts, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 25 (1), 77-81, 2010.
12. Eguchi, T., Oba, F. ve Hirai, T., A neural network approach to dynamic job shop scheduling, *Global Production Management*, 24, 152-159, 1999.
13. Aydın, M. E. ve Öztemel, E., Dynamic job-shop scheduling using reinforcement learning agents, *Robotics and Autonomous Systems*, 33, 169-178, 2000.
14. Baykasoğlu A., Saltabaş A., Taşan A. S. ve Subulan K., Realizing artificial immune system in a multi agent simulation environment and an application to travelling salesman problem, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27 (4), 901-909, 2012.
15. Yaman K., Sarucan A., Atak M. ve Aktürk N., Preperation of data for dynamic scheduling using image processing and arima models, *journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 16 (1), 19-40, 2001.
16. İpek, M., Dinamik Atölye Çizelgelemede Yapay Sinir Ağı ile Teslim Tarihi Belirlenmesi, *Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya*, 2007.
17. Göçken, M., A Simulated Based Approach to Develop New Approaches for Due Date Assignment and Job Release in Multi-Stage Job Shops, *Doktora Tezi, Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep*, 2007.
18. Gürbüz F., Özbakır L. ve Yapıcı H., Data mining application on component reports of an airline company in turkey, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 24 (1), 73-78, 2009.
19. Köklü M., Kahramanlı H. ve Allahverdi N., A new accurate and efficient approach to extract classification rules, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 29 (3), 477-486, 2014.

20. Ismail, R., Zalinda, O. ve Azuraliza, A. B., Data Mining In Production Planning and Scheduling: A Review, 2nd Conference on Data Mining and Optimization, Selangor, Malaysia, 154-159, 27-28 October 2009.
21. Zhou, R., Nee, A. Y. C. ve Lee, H. P., Performance of an ant colony optimisation algorithm in dynamic job shop scheduling problems, *International Journal of Production Research*, 47 (11), 2903–2920, 2009.
22. Metan, G., Sabuncuoğlu, İ. ve Pierreval, H., Real time selection of scheduling rules and knowledge extraction via dynamically controlled data mining, *International Journal of Production Research*, 48 (23), 6909–6938, 2010.
23. Sharma, P. ve Jain, A., Analysis of dispatching rules in a stochastic dynamic job shop manufacturing system with sequence-dependent setup times, *Frontiers of Mechanical Engineering*, 9 (4), 380–389, 2014.
24. Sharma, P. ve Jain, A., New setup-oriented dispatching rules for a stochastic dynamic job shop manufacturing system with sequence-dependent setup times, *Concurrent Engineering: Research and Applications*, 24 (1), 58-68, 2016.
25. Zhong, R. Y., Huang, G. Q., Dai, Q. Y. ve Zhang, T., Mining SOTs and dispatching rules from RFID-enabled real-time shopfloor production data, *J Intell Manuf*, 25, 825–843, 2014.
26. Karacan, İ., Data Mining For Simulation Input Modeling, Master Tezi, Turkish Naval Academy, İstanbul, 2014.
27. Kulkarni, K. ve Venkateswaran, J., Hybrid approach using simulation-based optimisation for job shop scheduling problems, *Journal of Simulation*, 9 (4), 312-324, 2015.
28. Kück, M., Ehm, J., Freitag, M., Frazzon, E. M. ve Ricardo, P., A Data-Driven Simulation-Based Optimisation Approach for Adaptive Scheduling and Control of Dynamic Manufacturing Systems, *Advanced Materials Research*, 1140, 449-456, 2016.
29. Ersöz S., Türker A.K., Aktepe A. ve diğerleri. Üretim Süreçlerinin Optimizasyonunda RFID Teknolojisi ve Uzman Sistem Temelli Tümlleşik Yapının ERP Sistemine Entegrasyonu ve FNSS Savunma Sistemleri A.Ş.'de Uygulanması. SAN-TEZ Projesi Sonuç Raporu, 2017.
30. Bierwirth, C. ve Kuhpfahl, J., Extended GRASP for the job shop scheduling problem with total weighted tardiness objective, *European Journal of Operational Research*, 261, 835-848, 2017.
31. Xiong, H., Fan, H., Jiang, G. ve Li, G., A simulation-based study of dispatching rules in a dynamic job shop scheduling problem with batch release and extended technical precedence constraints, *European Journal of Operational Research*, 257, 13-24, 2017.
32. Rossit, D. A., Tohme, F. ve Frutos, M., Industry 4.0: Smart Scheduling, *International Journal of Production Research*, 1-12, 2018.
33. Tao, F., Qi, Q., Liu, A. ve Kusiak, A., Data-driven smart manufacturing, *Journal of Manufacturing Systems*, 48, 157-168, 2018.
34. Cheng, Y., Chen, K., Sun, H., Zhang, Y. ve Tao, F., Data and knowledge mining with big data towards smart production, *Journal of Industrial Information Integration*, 9, 1-13, 2018.
35. Gupta, A. K.; Sivakumar, A. I. Job shop scheduling techniques In semiconductor manufacturing. *Int. Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2006, 27 (11-12), 1163-1169, DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-004-2296-z>.
36. Kapanoglu, M., Alikalfa, M. Learning IF-THEN priority rules for dynamic job shops using genetic algorithms. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2010. 27 (1), 47-55, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2010.06.001>, 2010.
37. Holthaus, O., Rajendran, C. Efficient dispatching rules for scheduling in a job shop. *Int. Journal of Production Economics*, 1997, 48 (1), 87-105, DOI:10.1016/S0925-5273(96)00068-0,1997.
38. Jayamohan M. S., Rajendran C. New dispatching rules for shop scheduling: a step forward. *International Journal of Production Research*, 38 (3), 563-586, 2000.
39. Chiang T. C. and Fu L. C. Using dispatching rules for job shop scheduling with due date-based objectives. *International Journal of Production Research*, July 2007, 45 (17), 15, 3245–3262, 2007.
40. Dileepan, P. & Ahmadi, M. Scheduling Rules for A Small Dynamic Jop-Shop: A Simulation Approach. *Int J. Simul Model*, 9 (4), 173-183, 2010.
41. Weka 3: Data Mining Software in Java, (<https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka>).
42. ARENA Simülasyon Yazılımı, (<https://www.rockwellautomation.com/rockwellsoftware/simulation.page>).
43. Türker, A.K.; Aktepe, A.; Inal, A.F.; Ersoz, O.O.; Das, G.S. Birgoren, B. A Decision Support System for Dynamic Job-Shop Scheduling Using Real-Time Data with Simulation. *Mathematics*, 7, 278, 2019.
44. İnal, A.F. Atölye Tipi Üretimde Dinamik Çizelgeleme Problemi İçin Tezgâh Yükleme Kurallarının Kıyaslanması, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, (Danışman: Türker, A.K.), 2018.