



## BİR OLUKLU MUKAVVA İŞLETMESİNDE REGRESYON ANALİZİ İLE MAKİNE İŞLEM SÜRELERİNİN TAHMİN EDİLMESİ

Ozan ÇAPRAZ\*, Gülşah ALTAY, Olcay POLAT

Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Denizli, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Oluklu Mukavva,  
Regresyon Analizi,  
Makine İşlem Süresi,  
Tahmin,  
Üretim Planlama.*

### Öz

Bu çalışma, Türkiye’de oluklu mukavva üretimi alanında faaliyet gösteren bir işletmenin makine işlem sürelerinin tahmin edilmesi üzerine odaklanmaktadır. İşletmede iki aşamalı üretim yapılmakta olup birinci aşamada oluklu makinesinden (hattından) çıkan yarı mamul levhalar ikinci aşamada konfeksiyon makinelerinde müşterinin istediği nihai ürün haline gelmektedir. Korelasyon analizleri yapılarak belirlenen girdi değişkenleri (bobin büyüklüğü, dalga cinsi, kâğıt türü, çalışılan metre) kullanılarak oluklu makinesi için çok değişkenli doğrusal regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Konfeksiyon bölümünde ise, bir bağımsız değişken (levha adedi) kullanılarak farklı özellikteki makineler için farklı analizler (kuşe durumuna, dalga cinsine göre) ile tek değişkenli doğrusal regresyon analizleri yapılmıştır. Tahminlerin gerçek verilerle karşılaştırılması için ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) kriteri kullanılmıştır. İşletmede mevcut durumda kullanılan uzman tahminlerine göre kıyasla regresyon analizleri ile tahminler daha başarılı sonuçlar vermiştir. Mevcut veriler üzerinden yapılan kıyaslamada, oluklu makinesi için MAPE değeri %22,333’ten %3,530’a ve konfeksiyon bölümü için ortalama MAPE değeri %38,167’den %22,456’ya düşmüştür. Sonuç olarak, planlama ve çizelgeleme süreçlerinin etkinliğinin artacağı düşünülmektedir.

## ESTIMATION OF MACHINE PROCESSING TIMES USING REGRESSION ANALYSIS IN A CORRUGATED CARDBOARD COMPANY

### Keywords

*Corrugated Cardboard,  
Regression Analysis,  
Machine Processing Time,  
Estimation,  
Production Planning.*

### Abstract

This study focuses on estimating machine processing times of a company producing corrugated cardboard in Turkey. The production process consists of two stages. Semi-finished products (plates) are produced by a corrugating machine (line), and then the plates become final products according to the customers’ requests. Multi-variate linear regression (LR) analysis has been performed for the corrugating machine by using independent variables (i.e. coil size, wave type, paper type, worked meter) determining by correlation analyses. Secondly, uni-variate LR analyses for coated condition and wave type of final product have been performed with an independent variable (number of plates) for each machine with different characteristics. MAPE criterion has been selected to compare the estimated results with real values. The estimations of LR analyses are more successful compared to the estimations of experts currently used in the company. Using the existing dataset, MAPE has reduced from 22,333% to 3,530% for the corrugating machine and from 38,167% to 22,456% for average of machines in the second stage. The findings show that efficiency of production planning and scheduling activities will increase.

### Alıntı / Cite

Çapraz, O., Altay, G., Polat, O., (2023). Bir Oluklu Mukavva İşletmesinde Regresyon Analizi ile Makine İşlem Sürelerinin Tahmin Edilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(4), 1348-1364.

### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

O. Çapraz, 0000-0003-4469-2638  
G. Altay, 0000-0003-0989-8497  
O. Polat, 0000-0003-2642-0233

### Makale Süreci / Article Process

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	08.03.2023
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	04.09.2023
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	04.09.2023
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	30.12.2023

\* İlgili yazar / Corresponding author: ocapraz@pau.edu.tr, +90-258-296-3083

# ESTIMATION OF MACHINE PROCESSING TIMES USING REGRESSION ANALYSIS IN A CORRUGATED CARDBOARD COMPANY

Ozan Çapraz<sup>†</sup>, Gülşah Altay, Olcay Polat

Pamukkale University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Denizli, Turkey

## Highlights

- Uni- and multi-variate linear regression models are proposed to estimate machine processing times.
- It is aimed at increasing the efficiency of the production planning and scheduling activities.
- MAPE are reduced as compared to experts' estimations currently applied in the company.

## Graphical Abstract

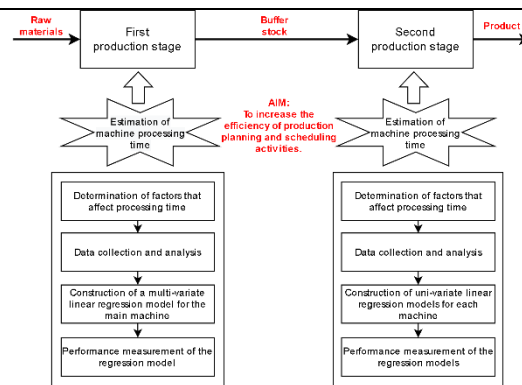


Figure. The Flowchart of the Study

## Purpose and Scope

The corrugated cardboard company has two-stage production system. According to the observations, some problems resulting from production planning and scheduling activities may occur in the buffer stock area. Using average value for the planning and scheduling may cause deviations from the planned production amounts due to estimation errors. Therefore, in this study, it aimed at increasing the efficiency of production planning and scheduling activities with more accurate estimations.

## Design/methodology/approach

In this study, uni- and multi-variate linear regression (LR) models are proposed to estimate machine processing times. In the first production stage, multi-variate LR analysis has been performed for the corrugating machine by using independent variables (i.e. coil size, wave type, paper type, worked meter) determining by correlation analyses. Secondly, uni-variate LR analyses for coated condition and wave type of final product have been performed with an independent variable (number of plates) for each machine with different characteristics.

## Findings

The estimations of LR analyses are more successful compared to the estimations of experts currently used in the company. Using the existing dataset, MAPE has reduced from 22,333% to 3,530% for the corrugating machine and from 38,167% to 22,456% for average of the machines in the second stage.

## Research limitations/implications

In the study, the successful estimations with the multi-variate LR models have been obtained in the corrugating machine. Although average value of the estimations in the second stage are good, the estimations of some machines are still improvable due to operator -based productivity changes in those machines.

## Practical implications

A real problem of a company has been handled in this study. The real past data between 2018 and 2019 have been used in the regression analyses. The obtained regression equations demonstrate the practical implication of the study because these equations can help to significantly improve the company's planning activities.

## Originality

The originality of the study can be given in the following three aspects. Firstly, the study aims to contribute the company's production planning and scheduling activities by reducing the deviations of the planned and actual processing times. Secondly, it helps to determine the parameters affecting the processing times in both stage for researchers and companies. Thirdly, specific LR equations have been created to estimate machine processing times of the products. Therefore, using these equations, it is planned to contribute process improvement studies.

## 1. Giriş (Introduction)

<sup>†</sup> Corresponding author: ocapraz@pau.edu.tr, +90-258-296-3083

İşletmelerin artan rekabet koşullarına ayak uydurabilmeleri; müşteri taleplerini doğru zamanda, istenen uygunluk ve kalitede, istenen miktarda ve minimum maliyetle karşılanması yönünde çalışmalar yapması ile sağlanabilir. Bu çalışmalar kapsamında, işletmeler değişime hızlı bir şekilde cevap vermek isterken kar elde edebilmek için de maliyetleri düşürmenin yollarını aramaktadır. Maliyetleri azaltmanın yolu üretimde belirli hedeflere yönelik planlamalar yapmak, hazırlanan planlara uygun çalışmak, girdi başına düşen çıktı miktarını arttırmak ile mümkün gözükmektedir. İşletmelerin mevcut kaynaklarını verimli şekilde kullanması ve rekabet koşullarında devamlılığını sağlaması için literatürde çeşitli yöntemler ve teknikler geliştirilmiş olup üretim planlama ve kontrol çalışmaları altında üretim planlama, üretim çizelgeleme, malzeme ihtiyaç planlaması, kapasite planlaması, hat dengeleme vb. çalışmalar bunların başında gelmektedir (Nahmias, 2005; Tanyaş ve Baskak, 2008).

Üretim çizelgeleme, üretim planlama ve kontrol çalışmalarında yapılacak işlerin sırasının ve bu işlere ayrılacak optimum kaynak miktarının belirlendiği önemli bir karar verme problemi. Çizelgeleme çalışmalarında, parçaların üretime başlama ve bitiş zamanları, hangi bölümlerde ve makinelerde işlem göreceği, varsa parçaların işleme öncelikleri ayrıntılı olarak belirlenmeye çalışılmaktadır (Tanyaş ve Baskak, 2008; Pinedo, 2016). Gerçek hayat problemlerinde çoğu zaman iş sayısı fazladır ve kısa zaman içinde işlerin teslim edilmesi talep edilmektedir. Böyle durumlarda müşterilerin ve çalışanların beklentilerini sağlayarak optimum sonuca ulaşmak genellikle zor olmaktadır (Kırış, 2008). Diğer bir ifade ile, üretim çizelgeleme problemi, girdi sayısının artmasına bağlı olarak optimum çözümü bulmanın zor olduğu veya zaman aldığı problemlerden biridir (Pinedo, 2016). Bahsedildiği gibi zaten zor bir problem olan çizelgeleme çalışmalarında, gelen siparişlerin süreçteki her makine için üretim sürelerinin belirlenerek başlangıç ve bitiş zamanlarının planlanması çizelgeleme çalışmalarının daha doğru sonuçlar vermesine ve üretimin düzenli yapılmasına katkı sağlayacaktır (Sabuncuoğlu ve Bayız, 2000; Kırış, 2008). Sonuç olarak, çizelgeleme çalışmaları sırasında makinelerin siparişleri işleme süreleri büyük önem taşımaktadır. Gelen siparişin üretim süresini belirleyerek makinelere sipariş yüklemesi yapmak, çizelgelemenin daha doğru sonuçlar vermesini ve üretimin daha düzenli yapılmasını sağlayacaktır. Bu şekilde beklentiler ve duruşlar azaltılabilir, zamandan ve enerjiden tasarruf sağlanabilir (Cihanlı, 2010).

İşletmeler belirli hedefler doğrultusunda geleceğe yönelik planlamalar yapabilmek için çeşitli tahmin çalışmaları yürütmektedir (Karahan, 2015). Birçok sektörde olduğu gibi oluklu mukavva işletmeleri de sektörün zorlu rekabet koşullarına ayak uydurabilmek için potansiyel üretim miktarlarını belirlemek istemektedirler. Makinelerin çalışma sürelerinin belirlenmesi, üretimdeki planlama ve çizelgeleme faaliyetleri için ihtiyaç duyulan önemli girdilerden biridir. Fakat makine çalışma sürelerinin ürünün en ufak ayrıntısına göre farklılık göstermesi ve bunun sonucunda çalışma süreleriyle ilgili detaylı bir çalışma yapılmayarak genel geçer süre tahminlerinde bulunulması bazı problemleri ortaya çıkarmaktadır (Özcan, 2007).

Bu makalede, Türkiye’de oluklu mukavva sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin üretimde süreç iyileştirme çalışmaları kapsamında makine işlem sürelerinin tahmin edilmesi için çalışmalar yürütülmüştür ve elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. İşletmede, oluklu mukavva üretim süreci iki aşamalı olarak gerçekleşmektedir: Birinci aşamada ana makine olarak adlandırılan oluklu hattından çıkan yarı mamul levhalar ikinci aşamadan konfeksiyon makinelerinin bulunduğu iş istasyonlarında müşterinin istediği nihai ürün haline gelmektedir. Oluklu hattından çıkan ara stokların konfeksiyon makineleri için uygun olmadığı durumlarda, konfeksiyon makinelerinden bazıları kullanım dışı kalabilmektedir. Benzer şekilde, ara stok miktarının çok olduğu durumlarda stok alanında levha aranması durumu sebebiyle makineler boş bekleyebilmektedir. Bu durum işletme için üretim kayıplarına neden olabilmektedir. Bu kapsamda bazı süreçlerin iyileştirmesi için çalışmalar yapılmıştır. Ara stok alanında yaşanan sorunların üretimdeki planlama ve çizelgeleme çalışmaları kaynaklı olduğu belirlenmiştir. Sistemde üretimin planlaması için kullanılan en önemli ölçüt makinelerin çalışma süreleridir. Bu çalışma sürelerinin ürünün en ufak ayrıntısına göre farklılık göstermektedir. Örneğin; günlük 24 saat kullanılması düşünülen makinelerde olabilecek tahmin yanlışları yüzünden ortalama bir rakama göre üretimde planlama ve çizelgeleme yapılması zorunlu hale gelmektedir. Bunun sonucunda ise istenilen üretim akışında sapmalar oluşmaktadır. Sonuç olarak, planlama ve çizelgeleme süreçlerinin etkinliğinin artırılması adına tahminleme çalışmaları yapılmıştır.

Oluklu mukavva üretiminde üretim hızını etkileyen birçok etmen bulunmaktadır. Üretilen ürünün çeşitliliği yanında makinelerin hazırlık süreleri, duruşları, arızaları gibi etmenler bunlardan bazılarıdır. Planlama ve çizelgeleme gibi faaliyetlerin yapılabilmesi için ürün çeşitleri ve makine özelliklerine bağlı olarak değişen bu üretim sürelerinin tahmin edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılan gözlemlerle her sipariş için kullanılan kâğıt cinsleri, dalga cinsleri, bobin büyüklüğü, sipariş boyutları, baskı türleri gibi özellikler belirlenmiş ve her siparişin üretim süresi tespit edilmiştir. Bu veriler kullanılarak regresyon analizleri yapılmış ve tahmini üretim süreleri için uygun denklemler oluşturularak yeni siparişler için yaklaşık süreler belirlenmeye çalışılmıştır. Makine üzerinde yapılan gözlemlerden elde edilen veriler üzerinde yapılan analizler ile tahmin modelleri hazırlanmıştır.

Çalışmanın geri kalan bölümleri şu şekilde oluşmaktadır. İkinci bölümde konu ile ilgili literatür özeti verilmiştir ve çalışmanın literatüre ve uygulamaya katkısı tartışılmıştır. Üçüncü bölümde nicel ve nitel tahmin yöntemlerinden bahsedilerek regresyon analizi ile ilgili açıklamalara yer verilmiştir. Dördüncü bölümde üzerinde çalışılan vaka analizi tanıtılmış ve makine sürelerinin tahmin edilmesine yönelik gereksinimler vurgulanmıştır. Beşinci bölümde makine işlem sürelerinin tahmin edilmesinde regresyon analizlerinin uygulanması ile elde edilen sayısal sonuçlar sunulmuştur ve yorumlanmıştır. Çalışmanın son bölümünde genel bir değerlendirme yapılmış, çalışmanın sınırları verilmiş ve gelecek çalışma önerilerinde bulunulmuştur.

## 2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Tahminleme çalışmaları literatürde geniş bir alanda uygulanmış olup bu konuda yapılmış güncel çalışmalar Tablo 1'de özetlenmiştir.

**Tablo 1.** Literatürde çeşitli alanlardaki çalışmalar (The studies in various fields in the literature)

Yazar(lar) (Yıl)	Kullanılan tahmin yöntemi*	Çalışma kapsamı
Çuhadar ve Kayacan (2005)	YSA	Türkiye'de konaklama işletmelerinde doluluk oranlarının tahmini
Saplıoğlu ve Çimen (2010)	YSA	ABD'nin Portland bölgesinin günlük yağış miktarının tahmini
Karahan (2015)	ARIMA ve YSA	Malatya ili kuru kayısı ihracat miktarlarının tahmini
Mutlu vd. (2016)	YSA ve monte carlo simülasyonu	Gelecek dönemlere ait finansal oranların (enflasyon, mevduat faiz oranları, fon getirileri) tahmini
Aktaş ve Aydın (2018)	AR ve ARIMA	Talaşlı imalat sektöründe üretim etkinliğinin tahmini
Sarıkaya (2019)	YSA ve regresyon yöntemleri	Bist Ulusal - 100 endeksinin tahmini
Can (2020)	ARIMA ve çoklu doğrusal regresyon	Rüzgâr türbinlerinden üretilen elektrik enerjisi miktarının tahmini
Ordu ve Zengin (2020)	ARIMA, ES ve STL	Türkiye'de hayvansal üretimin tahmini
Özdemir ve Ballı (2020)	Makine öğrenmesi	Türkiye erkekler basketbol ligi maç sonuçlarının tahmini
Kozaklı vd. (2021)	SARIMA	Türkiye'de etlik piliç üretiminin tahmini
Ordu vd. (2021)	ARIMA, ES, SLR ve STL	Bir sağlık organizasyonunda hasta taleplerinin tahmini
Ceyhan ve Kasapbaşı (2022)	Makine öğrenmesi	Bir döküm fabrikasındaki makinede kestirimci bakım uygulaması için arıza zamanı tahmini
Sarı ve Gül (2022)	ARIMA, Holt-Winters ve YSA	İlaç sektöründe bir ürünün talep tahmini
Senocak ve Guner Goren (2022)	SVR	Denizli'de biyokütle tabanlı enerji potansiyelinin tahmini
Kesriklioğlu ve Oktay (2022)	Makine öğrenmesi	Türkiye'de hanehalkı toplam enerji harcamalarının tahmini
Köprü (2022)	Makine öğrenmesi	Bir demir çelik tesisinin sıcak hadde tezgahlarında arıza tahmini

\*AR: otoregresif (autoregressive), ARIMA: otoregresif bütünleşik hareketli ortalama (autoregressive integrated moving average), ES: üstel yumuşatma (exponential smoothing), SARIMA: mevsimsel otoregresif bütünleşik hareketli ortalama (seasonal autoregressive integrated moving average), SLR: adimsal doğrusal regresyon (stepwise linear regression), STL: loess kullanarak mevsimsel ve trend ayrıştırma (seasonal and trend decomposition using loess), SVR: destek vektör regresyonu (support vector regression), YSA: yapay sinir ağları (artificial neural network)

Tablo 1'den görülebileceği üzere tahminleme konulu çalışmalar çeşitli alanlarda uygulanmış ve probleme uygun olabilecek yöntemler kullanılarak sonuçlar araştırılmıştır. Makine işlem sürelerinin tahmin edilmesi için farklı sektörlerde çalışmalar bulunmaktadır ve ilgili çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Özcan (2007) siparişe göre peçete imalatı yapan bir işletmede YSA kullanarak makinelerde işlem sürelerini tahmin etmeye çalışmıştır. Makinelerde yapılan gözlemler ve alanında uzman kişilerle beyin fırtınası ile her makinenin işlem sürelerine etki eden değişkenler (Örneğin; matkap tezgâhı için malzeme cinsi, malzeme boyutları, yüzey hassasiyeti, delik sayısı, çap değişimi, toplam derinlik, yüzey sayısı, karmaşıklık) belirlenmiştir. Belirlenen değişkenler için iş etüdü çalışmaları ile elde edilen veriler YSA'da girdi olarak kullanılmıştır. Uygun ağ yapısının bulunması için deneysel tasarım kullanılmış olup performansının ölçülmesi için hata kareler ortalamasının karekökü (root mean squared error - RMSE), ortalama mutlak yüzde hata (mean absolute percentage error - MAPE) ve hatanın mutlak ortalaması (mean absolute error - MAE) değerleri hesaplanmıştır.

Alenezi vd. (2008) çok kaynaklı ve çok ürünlü sistemlerde gerçek zamanlı üretim süresini tahmin etmek için destek vektör regresyon (support vector regression - SVR) yöntemini kullanmıştır. Çalışmada deneyler üç farklı (küçük, orta ve büyük) çok kaynaklı ve çok ürünlü sistem üzerinde gerçekleştirilmiştir. SVR yöntemiyle elde edilen sonuçlar RMSE ve MAPE performans ölçütleri bakımından üstel düzeltme ve hareketli ortalama gibi zaman serisi modellerinden ve YSA yönteminden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Vaka için SVR yöntemi ile elde edilen sonuçların üç deney için daha iyi olduğunu gösterilmiştir.

Munguía vd. (2009) çalışmasında eklemeli üretim süreçlerinde maliyet değerlendirmesinin büyük oranda üretim süresi tahminine bağlı olduğundan bahsetmiş ve toplam üretim süresinin, parçalar için işçilik, makine maliyetleri ve genel giderler gibi dolaylı maliyetleri etkilediğini vurgulamıştır. Buradan yola çıkarak yazarlar, YSA aracılığıyla eklemeli üretim teknolojilerinden biri olan seçici lazer sinterleme (selective laser sintering) işleminde üretim süresi ve maliyetlerini tahmin etmeye çalışmıştır. Sonuçların, mevcut parametrik ve ampirik zaman tahminleriyle karşılaştırıldığında hata oranı %20-35 bandından %2-15 bandına azaltıldığı görülmüştür.

Bilekdemir (2010) işletmelerin müşteri isteklerini karşılamak için ürünlerin kaliteli, düşük maliyetli ve zamanında teslim edilmesinde siparişin teslim süresinin doğru tahmin edilmesinin önemini vurgulamıştır. Yazar, su sayacı üretim sürecinde veri madenciliği yöntemlerinden karar ağaçlarını kullanarak makinelerin üretim süresini tahmin etmeye çalışmıştır. İşletmedeki 2007-2009 yılları arasındaki veriler girdi olarak kullanılmıştır. Ürünün adı, makine tipi, hangi vardiyada (gece, gündüz) üretildiği ve tezgahdaki bir önceki ürün gibi özellikler karar ağaçlarının oluşturulmasında dikkate alınmıştır. Üretim sürelerinin tahmin edilmesinde Excel, MySQL ve WEKA yazılımları kullanılmıştır.

Vainio vd. (2010), elektronik montaj endüstrisinde üretim çizelgeleme ve montaj hattı dengeleme çalışmalarında işlem sürelerinin tahmin edilmesinin önemini vurgulamıştır. Yazarlar, iki farklı yerleştirme makinesi (Turret ve Gantry) için baskılı devre kartları (PCB) montaj sürelerinin tahmin edilmesinde YSA eğitimi üzerine çalışmıştır. Eğitim sürecinde iki farklı PCB montaj fabrikasındaki gerçek üretim süreleri ve literatürdeki geçmiş çalışmaların veri setleri kullanılmıştır. YSA için montaj olacak bileşen sayısı, farklı bileşen türünün sayısı, PCB'nin yan uzunluğu, farklı bileşen şekillerinin sayısı, bileşen alanının ortalama boyutu, bileşen boyutu varyansı gibi çeşitli girdi değişkenlerinin kombinasyonu altında MATLAB programında Netlab araç kutusu kullanılmıştır. Sonuçların çok değişkenli doğrusal regresyon modelleri ile karşılaştırılmasında; hata kareler ortalaması (mean squared error - MSE), MAE, bağıl hata karesi (RSE) ve bağıl mutlak hata (RAE) gibi ölçütler kullanılmıştır.

Altın (2011) bir döküm ve hammadde işleme firmasında ölçüm yapılamayan ürün gruplarının standart zaman tahmini için YSA yöntemini kullanarak bir yazılım geliştirmiştir. Yazılımda ileri yayımlı öğrenme, dinamik geri yayımlı öğrenme ve moment geri yayımlı öğrenme olmak üzere üç farklı öğrenme algoritması modellenmiştir. Yazılım JAVA ortamında kodlanmıştır. Kesme uzunluğu, kesme hızı, delme uzunluğu, delme hızı, kılavuz uzunluğu, kılavuz hızı, çap uzunluğu, çap hızı ve makine kodu girdi değişkenleri altında CNC tezgahında üretim süresi tahmin edilmeye çalışılmıştır. Çeşitli kombinasyonlar altında çalıştırılan modellerde dinamik geri yayılım ve moment geri yayılım algoritmaları ile sonuç bulunmuştur.

Sütçü (2018) siparişe göre fason üretim yapan bir firmanın kaynaklı imalat operasyon süreleri tahmin etmek için YSA kullanmıştır. Modelde parçaların üretim süresini belirlemek için montaj parça adedi, ağırlık ve ebat girdi değişkenleri kullanılmıştır. 0-30 kg arası, 30-100 kg arası, 100-250 kg arası, 250 ve üzeri olmak üzere 4 grup için bu girdi değişkenleri ile doğrusal tahmin fonksiyonları elde etmiştir. Elde edilen sonuçlar gerçek değerler ile karşılaştırılmıştır. Tahmin değerlerinin hata oranlarını ölçmek için MSE değerleri hesaplanmıştır. Analizler sonucunda gerçek değerlere yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Kurnaz (2019), Türkiye'de havacılık ve savunma sanayinde faaliyet gösteren bir firmanın kablo takımı üretim sürelerinin YSA kullanarak tahmin edilmesi üzerine çalışmıştır. Çalışmada kablo takımı üretim süresi üzerine etkisi olabilecek değişkenler kablo iş emri miktarı, kablo modül sayısı, kablo pin sayısı, kablo terminal sayısı, kablo arkalık sayısı, kablo makaron sayısı ve kablo etiket sayısı olarak belirlenmiştir. YSA uygulaması için Knime programından yararlanılmıştır. Elde edilen sonuçlar  $R^2$ , MAE, MSE ve RMSE performansları bakımından çok regresyon modelleri ile karşılaştırılmış ve vaka için YSA'nın daha iyi sonuçlar bulduğu belirlenmiştir.

Işık ve Kapan Ulusoy (2021) metal sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede üretim süresine etki eden faktörleri veri madenciliği yöntemleri kapsamında çeşitli sınıflandırma algoritmaları (Random tree, Part, REPTree, OneR, Jrip, LMT, Decision table) ile belirlemiştir. İşlemler WEKA programı aracılığıyla uygulanmıştır. Uygulama sonunda vaka için en iyi sonuçlar random tree algoritması ile elde edilirken parça adı, makine adı, üretim ayı, ortalama sıcaklık, operatör adı, tezgâh boyutu, ürün miktarı üretim süresine etki eden faktörler olarak belirlenmiştir.

Yüce ve Kabak (2021), savunma ve havacılık sektöründe faaliyet gösteren bir firmada 4 temel sürece (talaşlı imalat, sac metal, kalite ve kompozit imalat) ait her süreçte 2'şer iş merkezi olmak üzere toplam 8 iş merkezi için YSA, SVR ve gradyan artırma makinesi (gradient boosting machine - GBM) kullanarak üretim sürelerini tahmin etmeye çalışmıştır. Çalışmada seçilen iş merkezlerine ait 5 yıllık geçmiş veriler kullanılmıştır. İlgili literatür, uzman görüşleri ve korelasyon testleri ile tahmin modellerinde kullanılmak üzere parça no, proje yılı, tecrübe, en, kalınlık, boy, toplam saat, proje kodu gibi girdi değişkenleri ile çalışılmıştır. Modeller çeşitli değişken kombinasyonları altında Python programında çalıştırılmıştır. Modellerin performans değerlendirme ölçütleri  $R^2$ , MSE, MAE ve MAPE kullanılmıştır. Sonuç olarak, iş merkezi için en iyi sonucu veren modeller belirlenmiş olup YSA'nın ortalama %56,02, SVR'nin %84,08 ve GBM'nin %85,31 oranında başarı sağladığı belirlenmiştir.

Literatür incelendiğinde iki aşamalı oluklu mukavva üretim sürecinde makine işlem sürelerinin tahmin edilmesi üzerine çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmanın katkısı üç ana başlıkta toplanmıştır. İlk olarak, literatürdeki çalışmalarda da vurgulandığı gibi üretim sürelerinin tahmin edilmesi ve bu sayede planlanan ve gerçekleşen üretim sürelerindeki sapmaların azaltılması ile üretimdeki planlama ve çizelgeleme faaliyetlerinin etkinliğinin artırılmasına katkı sağlanması planlanmaktadır. İkinci olarak, oluklu mukavva üretim sürecinin mevcut işleyişini

analiz ederek hem oluklu makinesi hem de konfeksiyon makineleri için üretim süresine etki eden parametrelerin belirlenmesidir. Dolayısıyla, bu alanda çalışma yapacak işletmelere/araştırmacılara bir kaynak oluşturulması amaçlanmaktadır. Üçüncü olarak, literatürdeki bazı çalışmalar geçmiş verilerden faydalanarak geleceğe yönelik tahmin çalışmalarını bazıları ise problemdeki girdi değişkenlerinin değerlerine göre uygun modellerle çıktı değerlerinin tahmini çalışmalarını yürütmüştür. Araştırmacılar, çalışılan vakanın durumuna göre zaman serisi modelleri, regresyon analizleri, YSA, makine öğrenmesi vb. çeşitli yöntemler uygulamıştır. Bu çalışmada da oluklu mukavva üretim süreçlerinde makine işlem sürelerinin tahmin edebilecek uygun regresyon modelleri geliştirmek ve bu modellerin kullanılması ile süreçlerin iyileştirilmesine katkıda bulunulması beklenmektedir.

### 3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Üretimde planlama ve çizelgeleme çalışmaları sırasında makinelerin çalışma sürelerinin tahmin edilmesi büyük önem taşımaktadır. Burada kullanılan yöntemler, nitel ve nicel yöntemler olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır (Krajewski vd., 2015). Nitel tahmin yöntemleri, elde geçmişe yönelik istatistiksel bilginin olmadığı veya bu bilgilerin yeterli olmadığı durumlarda matematik ve istatistiğe dayanan teknikler dışında kişisel görüşlerin kullanıldığı yöntemlerdir. Bu yöntemler üç başlık altında sınıflandırılmaktadır (Mize vd., 1984; Tanyaş ve Baskak, 2008; Bilici, 2010; Kobu, 2017).

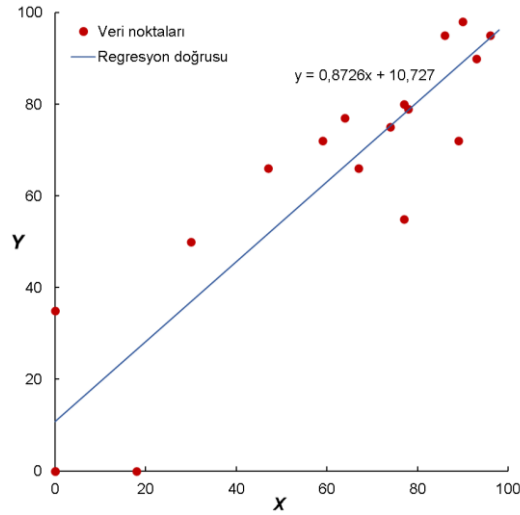
- Yöneticiler grubunun görüşleri
- Kilit personelin fikirleri
- Anketler

Nitel tahmin yöntemleri büyük ölçüde kişisel görüşlere dayalı olduğu için sistematik bir şekilde yukarıdaki yöntemlerden bir ya da birkaçı beraber kullanılabilir (Tanyaş ve Baskak, 2008).

Nicel tahmin yöntemleri, geçmişteki gözlem verilerine dayanarak geleceğe yönelik verilerin tahmin edilmesine dayanmaktadır. Bu kapsamda, yöntemler temelde beş kategori altında toplanabilmektedir (Makridakis vd., 1998; Lim ve McAleer, 2001; Tanyaş ve Baskak, 2008).

- Basit ortalama yöntemi
- Hareketli ortalama yöntemi
- Ağırlıklı hareketli ortalama yöntemi
- Üstel düzeltme yöntemi
- Regresyon analizi

Regresyon analizi, ilk olarak 19.yüzyılın ikinci yarısında Sir F. Galton tarafından aileler ve çocukların boy uzunlukları arasındaki ilişkinin araştırılmasında kullanılmıştır. Günümüzde ise, değişkenler arasındaki istatistiksel ilişkileri açıklayarak gelecekteki bilinmeyen olayların tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. Regresyon analizinde, bağımlı değişken ve bağımsız değişken(ler) arasındaki ortalama ilişki matematiksel bir denklem ile ifade edilmektedir. Burada bahsi geçen bağımlı değişken ( $y$ ) tahmin edilmek istenen değer ve bağımsız değişken ( $x$ ) ise bağımlı değişkenin değerini tahmin etmek için kullanılmaktadır. Regresyon analizinde bağımsız değişken sayısı bir ya da birden fazla olabilir. Bağımlı değişkenin tahmin edilmesinde, tek bir bağımsız değişken kullanılarak bir model oluşturuluyor ise tek değişkenli regresyon analizi, birden fazla bağımsız değişken kullanılıyorsa çoklu regresyon analizi olarak adlandırılmaktadır. Problemlerde, gerçekleşen değerler kullanılarak Şekil 1'de gösterildiği gibi bir regresyon doğrusu ve denklemi oluşturulur. Yeni gözlemlerin değerleri bu doğru denklemi kullanılarak tahmin edilmektedir (Kutner vd., 2004; Rencher ve Schaalje, 2008; Hamzaoğlu, 2013; Sarıkaya, 2019). Şekil 1'de kırmızı noktalar gerçekleşen değerleri temsil ederken bu değerlerin doğruya olan dik uzaklıkları hataları göstermektedir (Rencher ve Schaalje, 2008).



**Şekil 1.** Bir örnek için veri noktaları ve regresyon doğrusu (Data points and regression line for an example)

Eşitlik (1)'de bir bağımlı değişken ve bir bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi doğrusal olarak açıklamak için kullanılan tek değişkenli doğrusal regresyon modeli gösterilmektedir (Sarıkaya, 2019).

$$y = \alpha + \beta x + \varepsilon_i \quad (1)$$

Burada;  $y$ , bağımlı (sonuç) değişkeni;  $x$ , bağımsız (sebepl) değişkeni;  $\alpha$ , sabit (doğrunun  $y$  eksenini kestiği nokta);  $\beta$ , regresyon katsayısı ( $x$ 'in kendi birimi cinsinden 1 birim değişimine karşılık  $y$ 'de kendi birimi cinsinden meydana gelen değişim miktarı) ve  $\varepsilon$ , tesadüfi hata terimi veya artık olarak ifade edilmektedir (Sarıkaya, 2019).

Eşitlik (2)'de bir bağımlı değişken ve  $p$  tane bağımsız değişken içeren çoklu doğrusal regresyon modeli verilmiştir (Sarıkaya, 2019).

$$y = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \dots + \beta_p x_p + \varepsilon_i \quad (2)$$

Burada da benzer şekilde;  $y$ , bağımlı (sonuç) değişkeni;  $x_p$ : bağımsız (sebepl) değişkeni;  $\alpha$ , sabit;  $\beta$ , regresyon katsayısı ve  $\varepsilon$ , tesadüfi hata terimidir. Genellikle en küçük kareler yöntemi kullanılarak modeldeki artık kareler toplamı minimize edilerek katsayılar tahmin edilmeye çalışılır.

Regresyon analizinde denklemlerin üretilebilmesi için kullanılacak bağımlı değişken(ler)e ait veri setinin normal dağılıma sahip olması gerekmektedir. Verilerin normal dağılıma uygunluğu test etmek için kullanılacak iki farklı test bulunmaktadır: (i) Kolmogorov-Smirnov testi, (ii) Shapiro-Wilk testi. Bu testlerde kullanılan hipotezler Eşitlik (3)'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} H_0 &= \text{Veriler normal dağılıma uygundur.} \\ H_1 &= \text{Veriler normal dağılıma uygun değildir.} \end{aligned} \quad (3)$$

%95 güven seviyesi literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır ve bu seviyede hesaplanan anlamlılık değerinin 0,05'ten büyük olması durumunda  $H_0$  hipotezi kabul edilmektedir yani kullanılan veri setinin normal dağılıma uygun olduğu söylenebilmektedir. Literatürde genelde regresyon analizi için kullanılan veri setindeki veri sayısının 30'dan fazla olması durumunda verilerin normal dağılıma sahip olduğu varsayılır (Mendes vd., 2005).

Tahmin amaçlı oluşturulacak modellerin kurulması sırasında değişkenler arasındaki ilişkinin orta ya da yüksek derecede olması durumunda bağımsız değişkenlerden bir tanesinin modelde kullanımı yeterli olmaktadır. Değişkenler arasındaki ilişkinin düzeyini ve yönünü belirlemek için kullanılan yöntemlerden biri korelasyon analizidir. Bu analiz, iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkinin yönünü ve büyüklüğünü sayısal olarak değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilir. Korelasyon katsayısı olan  $r$  değeri -1 ile +1 arasında değişmektedir.  $r$  değeri 0'dan uzaklaştıkça ilişkinin büyüklüğünün arttığı ve işaretin negatif (-) olması durumunda değişkenlerden biri artarken diğerinin azaldığı söylenmektedir (Hair vd., 2013). Tablo 2,  $r$  korelasyon katsayısının aralıklarını göstermektedir.

**Tablo 2.** Korelasyon katsayısı aralıkları (The scale of correlation coefficient) (Hair vd., 2013)

İlişki düzeyi	Korelasyon aralığı
Kuvvetli (-)	$-1 \leq r < -0,9$
Orta (-)	$-0,9 \leq r < -0,5$
Zayıf (-)	$-0,5 \leq r < 0$
Zayıf (+)	$0 \leq r < 0,5$
Orta (+)	$0,5 \leq r < 0,9$
Kuvvetli (+)	$0,9 \leq r < 1$

Kurulan regresyon modelleri ile oluşan denklemler kullanılarak bulunan tahmini değerler, gerçek değerlerle karşılaştırılmıştır ve sapma oranları tespit edilmiştir. Hata hesaplamaları için literatürde kullanılan *MAPE*, *MAE*, *RMSE*, *MSE*, *RAE*, *RSE* gibi farklı göstergeler vardır. Bu göstergeler araştırılarak literatürde en çok kullanılan ve probleme en uygun olan gösterge tespit edilmeye çalışılmıştır. Tahmin verilerinin gerçekleşen verilerden sapma oranlarını bulmak için *MAPE* kullanılmıştır. *MAPE* değeri Eşitlik (4)'te verildiği gibi hesaplanmaktadır (Gönültaş vd., 2020; Güler ve Kandemir, 2022):

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \%100 \quad (4)$$

Burada;  $A_t$ , gerçek değerleri;  $F_t$ , tahmin edilen değerleri ve  $n$ , nokta sayısını temsil etmektedir. Literatürde, hesaplanan *MAPE* değerlerinin %10'un ( $MAPE < \%10$ ) altında olması durumunda modeller yüksek doğruluk derecesine sahip ve *MAPE* değeri %10 ile %20 arasında ( $\%10 < MAPE < \%20$ ) olanlar ise doğru modeller olarak belirtilmektedir (Gönültaş vd., 2020; Güler ve Kandemir, 2022).

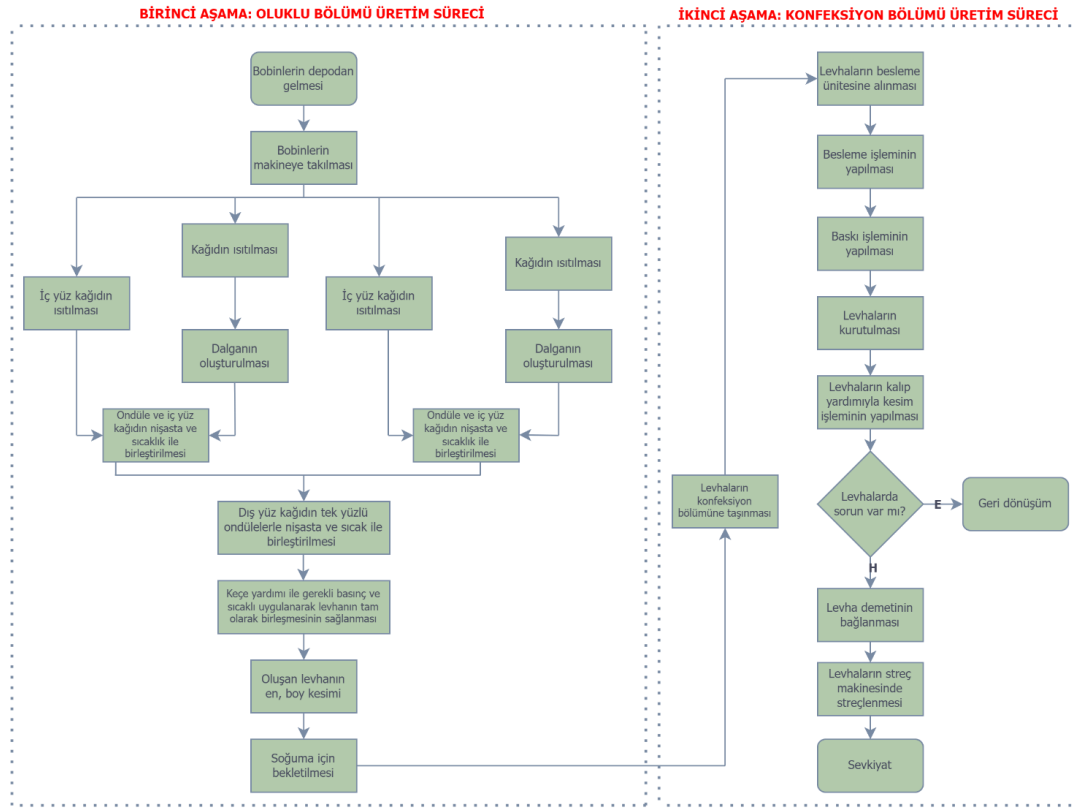
#### 4. Vaka Çalışması (Case Study)

##### 4.1. Problemin Tanımı (Problem Definition)

Oluklu mukavva; gıda, tekstil, mobilya, kimya, matbaa, elektrik, ilaç vb. çok çeşitli sektörde taşıma, saklama ve koruma için kullanılan kutu ve kasa gibi ambalajların üretiminde yer almaktadır. Oluklu mukavva; iç ve dış yüzeyi düz kağıtla kaplı olacak şekilde iç kısmında bir ondüleden (dalgalı, kıvrımlı karton) (tek dalga) veya aralarında düz kâğıt bulunan iki ondüleden (çift dalga) meydana gelmektedir (Üçüncü, 2011; Deniz, 2012).

Bu çalışmanın yürütüldüğü işletmede oluklu mukavva üretim süreci iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada karton kutuların üretilmesi için hammadde olarak kullanılan kâğıt bobinler oluklu makinesine yerleştirilir. Oluklu makinesinde, iç ve dış yüz kağıtları ile oluk haline gelmiş bir ya da daha fazla ondüle nişasta kullanarak bir araya getirilmektedir. Meydana gelen oluklu mukavvalar yüksek ısı ve presleme işlemine tabi tutularak tüm yüzeylerde yapışma sağlanmaktadır. Böylece, ürüne sertlik ve sağlamlık kazandırılması amaçlanmaktadır. Sağlam yapısına rağmen, oluklu mukavvalar herhangi bir yönden kolaylıkla kıvrılabilen ve kesilebilmektedir. Sonraki aşamada ürünler istenen ölçüde enden boydan kesilerek istiflenmektedir (Üçüncü, 2011; Deniz, 2012). İkinci aşamada yani konfeksiyon bölümünde oluklu makinesinden çıkan yarı mamuller (levhalar) kesme, baskılama, yapıştırma işlemleri görür. Bu iki aşamalı üretim sürecinde bobin olarak gelen kağıtlar ambalaj kutusu haline getirilmektedir. İşletmede gerçekleştirilen oluklu mukavva üretim süreci Şekil 2'de verilmiştir.





Şekil 2. İşletmenin üretim iş akış şeması (Production process flowchart of the company)

Satış departmanına siparişler geldikten sonra ilgili siparişin termin süresi planlama bölümü ile belirlenmektedir. Gelen siparişler için üretime en uygun makineler seçilmekte ve sipariş sisteme kaydedilmektedir. Planlama bölümü ilk olarak gelen iki günlük siparişler için bir kombine havuzu oluşturmaktadır. Bu kombineler oluşturulurken oluklu makinesinde çalışacak ürünlerin, kâğıt bobininin enine göre en az fireyle kaç adet yan yana üretilmesi gerektiği hesaplanmaktadır. İşletmede hali hazırda kullanılan bobin enleri 185, 200, 215, 230, 245 cm'dir. İşletmede her bobin eninden kombine sonucu oluşan fireye trim denilmektedir. İstenilen trim değerleri 3-8 cm arasındadır. Kombine işlemi için bir örnek aşağıda verilmiştir. Oluklu makinesi için levha eni 105 cm olan bir ürün olduğunu varsayarsak bu ürün en az fireyle 215 cm enindeki bobin için yan yana iki adet çalıştırılabilir. Bu durumda trim değeri 5 cm olacaktır ( $105 \times 2 = 210$  cm,  $215 - 210 = 5$  cm). Aynı kalite özelliklerine sahip (kâğıt kalitesi, dalga boyu, sertlik vb.) fakat farklı levha boyutlarına sahip ürünler de aynı anda aynı bobinle çalıştırılabilmektedir.

Oluklu makinesinde üretim sırası için planlama yapılırken yaklaşık 1 gün 10 saati dolduracak (220 km) ve konfeksiyon makinelerine göre 24 saat önceden gidecek bir plan yapılmaya çalışılmaktadır. Sıralama aşamasında ise bobin enlerinin küçükten büyüğe çalışması, ilk vardiyada tek dalga türleri, ikinci vardiyada sertleştirici ürünler ve son vardiyada çift dalga türlerinin çalışması, aynı dalga türlerinin arka arkaya çalışması gibi kısıtlarla işlem gerçekleştirilmektedir. Böylece oluklu makinesindeki duruşlar minimize edilmeye çalışılmaktadır. Konfeksiyon bölümünün planlaması yapılırken ise her gün yaklaşık 20 saatlik bir iş yüklenmektedir. Bu planlama yapılırken baskı ve kalıp çeşidi, renk ve bıçak türleri gibi özellikler arka arkaya getirilerek bir kombinasyon oluşturulmakta ve böylece hazırlık süreleri azaltılmaya çalışılmaktadır.

Oluklu planlamasına göre siparişler için bobinler hazırlanmakta ve oluklu makinesine bağlanmaktadır. İnceden kalına doğru E, B, C dalgaları (mukavvalar arası oluklar) ve çift BE, CB dalgaları için üretim sırasıyla yapılmaktadır. İki aşamalı çalışan makinede bir sipariş çalışırken diğerinin hazırlık (setup) işlemi yapılabilir. Böylece hazırlık işlemleri için makinelerin durmaması sağlanabilir. Oluklu makinesinde günlük ufak duruşlar dışında pazar günleri 8 saatlik bir bakım yapılmaktadır. Ayrıca aynı özellikte iki farklı sipariş aynı anda çalışabilir. Planlama işlemi yapılırken termin sürelerine bağlı olarak üretimi yapılacak siparişler belirlenmektedir. Kombine havuzları fireleri en aza indirecek şekilde manuel olarak gerçekleştirilir. Kombinelerin belirlenmesinde fireleri aza indirmenin yanında farklı kısıtlar da bulunmaktadır.

Oluklu üretiminde levhalar en uzunluklarına göre çoklu partiler olarak üretilebilirler. Levhalar tek tek dalga genişliğine göre belirlenen sayıda yaklaşık 180 cm olacak şekilde üst üste dizilmektedir. Her dalğanın uzunluğuna göre belirlenen adette partiler tamamlandıktan sonra konveyörde sehpa kartlarına koyularak paletlere

yerleştirilmektedir. Forkliftlerle ilgili konfeksiyon makinesine taşınan paletler belirlenen soğuma süreleri kadar bekletilmelidir. Bu süre dalga türü ve sertleştirici içermesine göre 3 ile 16 saat arasında değişmektedir.

Konfeksiyon makinesinde sırası gelen sipariş için gerekli hazırlıklar yapılmaktadır. Bu sırada ürünler makinenin önüne getirilmektedir. Gerekli kalite kontroller hazırlık aşamasında yaklaşık 15 dakika süren bir işlemle gerçekleştirilmektedir. Adet/saat cinsinden çalışılan makinelerde üretimler tamamlanıp konveyörlerle ambalaj bölümüne ilerletilmekte ve daha sonra ambalaj işlemi yapılarak ambara ya da sevkiyat noktasına götürülmektedir.

#### 4.2. Veri Toplama ve Analizi (Data Collection and Analysis)

Yukarıda verilen bilgiler ışığında, zor ve karmaşık bir işlem olan planlama aşamasında üretimde işlemlerin gerçekleştirilme sürelerinin sapma olmadan ve doğru bir şekilde tahmin edilmesi oldukça önemlidir. Makinelerin işlem yapabileceği maksimum hızları bilinmektedir fakat bu hızları etkileyebilecek birçok faktör bulunmaktadır. İşletmede çalışan uzmanlarla yapılan görüşmeler sonucunda, birinci aşamada kâğıt kalitesi (gramaj, özellik vb.), sertleştirici kullanıma durumu, dalga çeşidi, sipariş uzunluğu, levha boyu, bobin büyüklüğü gibi faktörler oluklu makinesinin hızını etkileyen temel faktörler iken ikinci aşamada oluklu makinesini etkileyen faktörlerin yanı sıra konfeksiyon makinelerinde baskı çeşitleri (trigonometrik, parlak, patates baskı vb.), kesme detayları, kalıp durumu (kalıp var ya da yok), kuşe, levha adedi gibi makinenin hızını etkileyen faktörler olarak belirlenmiştir.

Görülebileceği üzere, mevcut oluklu makinasının üretim süresini etkileyebilecek farklı değişkenler bulunmaktadır. Regresyon modellerinde, bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasında doğrusal bir ilişki olduğu göz önüne alındığında bağımsız değişkenler arasında çoklu doğrusal bağlantının olup olmadığını test etmek için korelasyon analizleri yapılmıştır. Bu analizlerde, çoklu bağlantı probleminin olmaması için bağımsız değişkenlerin korelasyon katsayısının genellikle 0,8'den küçük olması istenmektedir ve böyle durumlarda çoklu bağlantının olmadığına karar verilebilmektedir (Aydın, 2020). Buradan yola çıkarak hem uzman görüşleri hem de yapılan korelasyon analizleri sonucunda çoklu bağlantı probleminin ortaya çıkmaması için korelasyon katsayısı 0,80'in altında olan bağımsız değişkenler regresyon modellerinde kullanılmıştır.

Oluklu bölümünde, siparişlerin makinada üretim süreleri bilinmemektedir ve korelasyon analizlerine göre üretim süresini etkileyen dalga cinsi ( $B, BE, C, CB, E$ ), kâğıt türü ( $K1, K2, K3, K4, K5$ ), bobin büyüklüğü ve çalışılan metre gibi birçok faktör mevcuttur. Bu kısıtlar kullanılarak bir regresyon analizi yapılmış ve tahmin yapmak için bir uygun denklem bulunmuştur. Konfeksiyon bölümü için yapılan çalışmada ise veriler filtrelenmiş ve farklı analizler bir bağımsız değişken kullanılarak yapılmıştır. Konfeksiyon bölümünde farklı özellikteki makineler için ayrı ayrı regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon analizi yardımıyla ürünlerin makinede işlem sürelerini tahmin etmeye yönelik uygun denklemler oluşturulmuştur. Regresyon analizi yapılırken IBM SPSS Statistics 22 programından yararlanılmış olup Enter yöntemi kullanılmıştır.

Bu amaçla 2018-2019 yılları arasında üretimi gerçekleştirilen oluklu hattı için yaklaşık 18.750 adet ve konfeksiyon makineleri için yaklaşık 15.000 adet veri ile yapılan istatistiksel analiz ve modelleme çalışmalarına doğrultusunda yeni bir siparişin üretileceği süre tahmini olarak elde edilmesi hedeflenmiştir. Oluklu ve konfeksiyon bölümleri için yapılan çalışmalar aşağıda sunulmuş ve yorumlanmıştır. Bu analizlere bağlı olarak tahmin yapmak için kullanılacak uygun denklemler belirlenmiş ve örnek olarak bazı siparişler için süre tahminleri yapılmıştır.

#### 5. Sayısal Sonuçlar (Numerical Results)

İşletmenin geçmiş üretim raporları incelendiğinde, 2018-2019 yılları arasındaki 1 yıllık veri için işletmede çalışan uzmanların deneyimlerine göre yaptıkları tahminler ile gerçekleşen üretim süreleri arasındaki yıllık sapmaların Eşitlik (4)'de verilen formüle göre MAPE (%) değerleri hesaplanmış ve Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Mevcut durumda MAPE (%) değerleri (MAPE (%) values for the current situation)	
Oluklu makinesindeki yıllık sapma - MAPE (%)	Konfeksiyon bölümündeki yıllık sapma - MAPE (%)
%22,333	%38,167

Tablo 3'ten görüleceği gibi tahmin edilen sürelerdeki sapmalar planlama ve çizelgeleme faaliyetlerinin doğru yapılmasında önemli derecede negatif etki yaratmaktadır. Burada yapılan regresyon analizi çalışması ile tahmini sürelerdeki sapmaların indirgenmesi amaçlanmaktadır.

Daha önce de bahsedildiği gibi 5 çeşit dalga tipi bulunmaktadır. Bunlar arasındaki geçişler ise genellikle toplu olarak ve bir akış içerisinde gerçekleştirilmek istenmektedir. Örneğin günlük siparişteki bütün normal B dalgaları işledikten sonra C dalgalarına geçmek ya da çift dalgalara geçmek gibi bir akış olmalıdır. Bunun nedeni ise sürekli karışık dalga tipleri işlendiğinde ikili olarak çalışan ve oluk oluşturmaya yarayan valsler çok daha fazla kapatılıp

açılacağı için büyük bir enerji maliyetine neden olacaktır. Bunun yanı sıra dalga tiplerinin her seferinde değiştirilmesi makinenin sıfır hızdan başlayarak yeniden ivmelenmesine neden olacaktır ve bu da günlük ürün işleme kapasitesini düşürecektir. Bunların dışında bobin enlerinin ve kâğıt kalitelerinin de dalga cinsleri belirlendikten sonra sabitlenerek toplu bir şekilde işlenmesi daha az hazırlık süreleriyle daha az ivme kaybına neden olmaktadır. Son olarak ise sertleştirici bulunan ürünlerin bir tank içerisinde saniyelik formüllerle günde bir kere hazırlanabilmesi de gün içerisinde işlenmesi gereken bütün sert siparişlerin tek bir partide çıkarılması sorununu ortaya çıkartmaktadır.

Oluklu makinesinden çıkan levhalar konfeksiyon bölümünde farklı özellikteki makinalarda, levha için uygun olan makine seçimi yapılarak işlenmektedir. Levhaların işleneceği makinelerin belirlenebilmesi için konfeksiyon bölümünde bulunan makinaların özellikleri doğrultusunda atama çalışması yapılmaktadır. Siparişlerin dalga cinsi, siparişin en ve boy uzunluğu, kutu tipleri, baskı olup olmaması ve varsa baskının çeşidi, baskı renk sayısı, kalıp kullanma durumu, kuşeli olup olmaması gibi özellikler değerlendirilerek siparişin çalışabileceği konfeksiyon makinası belirlenmektedir. Her sipariş için üretimin uygun olabileceği birden fazla makine bulunmaktadır. Her sipariş için optimum makinenin belirlenmesi ve bunun yanında en kısa sürede siparişleri üretebilecek bir atama yapılması gerekmektedir.

Makine atamasında ve üretim planlama ve çizelgeleme faaliyetlerinin belirlenmesinde zaman, her işletmede olduğu gibi en önemli etmenlerden biridir. İşletme sipariş üzerine üretim yapmakta ve müşterilere en iyi hizmeti verebilmek amacıyla gelen siparişlere en iyi şekilde uyum sağlanarak istenilen zamanda istenilen kalitede ürünlerin üretilmesi gerekmektedir. Sipariş özellikleri analiz edildikten sonra en kısa sürede üretiminin gerçekleştirilebileceği makineyi tespit edebilmek işletmenin devamlılığı ve üretimin verimliliği açısından önemlidir. Ürünlerin işleneceği uygun makineyi tüm ürünleri değerlendirerek en kısa sürede üretecek planı ve çizelgeyi oluşturmak gerekmektedir.

Oluklu makinesi için üretim süresini etkileyecek en önemli kısıtlar; kâğıt cinsi, bobin büyüklüğü, dalga cinsi ve çalışılan metre olarak tespit edilmiştir. Bu kısıtlar kullanılarak bir regresyon analizi yapılmış ve tahmin yapmak için uygun bir doğru denklemi tespit edilmiştir. Bahsedildiği üzere, oluklu hattı için yaklaşık 18.750 adet geçmiş veriyle çalışılmıştır ve merkezi limit teoremine göre veri sayısı 30'dan fazla olduğu için ilgili veri setinin normal dağılım gösterdiği varsayılmıştır (Yaşarsoy ve Oktay, 2020; Yılmaz, 2020). Oluklu makinesine ait regresyon modeli özeti Tablo 4'te ve regresyon analizi katsayıları ve anlamlılıkları Tablo 5'te özet olarak verilmiştir.

**Tablo 4.** Oluklu makinesine ait regresyon modeli özeti (Regression model summary for the corrugating machine)

Model	R	R <sup>2</sup>	Düzeltilmiş R <sup>2</sup>	Tahminlerin standart hatası	İstatistiksel değişkenler				
					R <sup>2</sup>	F	Serbestlik derecesi 1	Serbestlik derecesi 2	P
1	0,967 <sup>a</sup>	0,934	0,934	0,04880082	0,934	33451,74	8	18760	0

a: Prediktörler (sabit): Çalışılan metre, Dalga Cinsi, Bobin, K1, K2, K3, K4, K5

Tablo 4'te görülebileceği üzere analiz sonucu hesaplanan P anlamlılık değerinin 0,05'ten küçük olması kurulan regresyon modelinin uygun olduğunu ifade etmektedir. Regresyon analizlerinde yaygın olarak kullanılan R<sup>2</sup> değeri (0,934) dikkate alındığında, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkendeki değişimin %93,4'ünü açıklayabildiği görülmektedir. Buradaki %93,4 değeri modelin tahmin gücünü göstermektedir.

**Tablo 5.** Oluklu makinesine ait regresyon analizi katsayıları ve anlamlılıkları (Regression analysis coefficients and their significance for the corrugating machine)

Model		Standardize edilmemiş katsayılar <sup>a</sup>		Standardize edilmiş katsayılar <sup>a</sup>	t	Anlamlılık <sup>b</sup>	B için %95,0 güven aralığı		Gizlilik istatistikleri	
		B	Standart hata	β			Alt sınır	Üst sınır	Tolerans	VIF
1	Sabit	-0,034773	0,005		-6,507	0	-0,045	-0,024	-0,035	0,005
	K1	-0,000248	0	-0,016	-6,928	0	0	0	0,00025	0
	K2	0,00352	0	0,183	15,028	0	0,003	0,004	0,00352	0
	K3	-0,000298	0	-0,016	-5,911	0	0	0	-0,0003	0
	K4	-0,000248	0	-0,044	-3,741	0	-0,001	0	-0,0003	0
	K5	0,00023	0	0,010	4,064	0	0	0	0,00023	0
	Bobin	0,000005	0	0,005	2,438	0,015	0	0	0,00005	0
	Dalga cinsi	-0,000314	0	-0,009	-4,873	0	0	0	-0,0003	0
	Çalışılan metre	0,000098	0	0,926	471,221	0	0	0	0,00009	0

a: Bağımlı değişken: Sure, b: Prediktörler (sabit): Çalışılan metre, Dalga Cinsi, Bobin, K1, K2, K3, K4, K5

Tablo 5'ten görülebileceği üzere, sabit terimin katsayısı -0,034773 olarak hesaplanmış ve p değeri 0 olarak belirtilmiştir. Bu durumda sabit terim anlamlıdır. Kullanılan değişkenler için, birinci kâğıt (K1) değişkeninin regresyon modeli katsayısı -0,000248 olarak, ikinci kâğıt (K2) değişkeninin regresyon modeli katsayısı 0,00352

olarak, üçüncü kağıt ( $K3$ ) değişkeninin regresyon modeli katsayısı  $-0,000298$  olarak, dördüncü kağıt ( $K4$ ) değişkeninin regresyon modeli katsayısı  $-0,000248$  olarak, beşinci kağıt ( $K5$ ) değişkeninin regresyon modeli katsayısı  $0,00023$  olarak, bobin değişkeninin ( $Bobin$ ) regresyon modeli katsayısı  $0,000005$  olarak, dalga cinsi ( $DalgaCinsi$ ) değişkeninin regresyon modeli katsayısı  $-0,000314$  olarak, çalışılan metre ( $CalMetre$ ) değişkeninin regresyon modeli katsayısı  $0,000098$  olarak belirlenmiştir. Buradaki her değişkenin  $p$  değeri  $0,05$ 'ten küçük olduğu için %5 anlamlılık derecesinde anlamlı olduğu söylenebilir. Regresyon analizi sonucuna bağlı olarak bulunan denklem Eşitlik (5)'te verilmiştir.

$$\begin{aligned} Sure = & (-0,034773) + K1 \times (-0,000248) + K2 \times (0,00352) + K3 \times (-0,000298) \\ & + K4 \times (-0,000248) + K5 \times (0,00023) + Bobin \times (0,000005) \\ & + DalgaCinsi \times (-0,000314) + CalMetre \times (0,000098) \end{aligned} \quad (5)$$

Konfeksiyon bölümünde farklı özellikteki makineler için ayrı ayrı regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon analizi yardımıyla ürünlerin makinede işleme sürelerini tahmin etmeye yönelik doğru denklemleri oluşturulmuştur. Konfeksiyon bölümünde, veri sayısı 30'dan az olan tüm analizler için Kolmogorov-Smirnov testi ve Shapiro-Wilk testi uygulanarak ilgili veri setlerinin normal dağılıma uygun olduğu belirlenmiştir. Veri sayısı 30'dan fazla olan veri setlerinin ise oluklu hattında olduğu gibi normal dağılıma uygun olduğu varsayılmıştır. Konfeksiyon bölümü makineleri için her makinede kuşeli, kuşesiz ve dalga çeşitlerine bağlı olarak farklı analizler yapılmıştır. Örneğin; konfeksiyon bölümünde bulunan 2002 makinesinde üretilen kuşeli, E dalga cinsine ait regresyon modeli özeti Tablo 6'da, regresyon analizi katsayıları ve anlamlılıkları Tablo 7'de ve normallik testi sonuçları ise Tablo 8'de özet olarak verilmiştir.

**Tablo 6.** 2002 makinesi için kuşeli, e dalga cinsine ait regresyon modeli özeti (Regression model summary of the coated, e wave type for the 2002 machine)

Model	R	R <sup>2</sup>	Düzeltilmiş R <sup>2</sup>	Tahminlerin standart hatası	İstatistiksel değişkenler				
					R <sup>2</sup>	F	Serbestlik derecesi 1	Serbestlik derecesi 2	P
1	0,957 <sup>a</sup>	0,917	0,913	38,863	0,917	220,070	1	20	0

a: Prediktörler (sabit): *Levha Adet*

Tablo 6'dan görülebileceği üzere; analiz sonucu hesaplanan  $P$  anlamlılık değerinin  $0,05$ 'ten küçük olması kurulan regresyon modelinin uygun olduğunu ifade etmektedir.  $R^2$  değeri ( $0,917$ ) dikkate alındığında, bağımsız değişkenin bağımlı değişkendeki değişimin %91,7'sini açıklayabildiği görülmektedir.

**Tablo 7.** 2002 makinesi için kuşeli, e dalga cinsine ait regresyon analizi katsayıları ve anlamlılıkları (Regression analysis coefficients and their significance of the coated, e wave type for the 2002 machine)

Model		Standardize edilmemiş katsayılar		Standardize edilmiş katsayılar	t	Anlamlılık	B için %95,0 güven aralığı		Gizlilik istatistikleri	
		B	Standart hata	$\beta$			Alt sınır	Üst sınır	Tolerans	VIF
		1	Sabit	52,874			15,182	3,483	0,002	21,21
	Levha Adet	0,013	0,001	0,957	14,835	0	0,011	0,015	1	1

a: Bağımlı değişken: *Sure*, b: Prediktörler (sabit): *Levha Adet*

Tablo 7'deki sonuçlara göre; sabit terimin katsayısı ( $52,874$ ) olarak hesaplanmış ve anlamlılık değeri  $0,002$  olarak belirtilmiştir. Bu durumda sabit terim anlamlıdır. *Levha adedi* değişkeninin (*LevhaAdet*) regresyon modeli katsayısı  $0,013$  olarak ve anlamlılık derecesi  $0$  olarak hesaplanmıştır.  $0,05$ 'ten küçük olduğu için anlamlı bir sonuçtur. Tablo 7'deki sonuçlara göre, 2002 makinesinin kuşeli E dalga bir ürünü üretme süresi levha adedine bağlı olarak oluşturulan doğrusal denklem Eşitlik (6)'da verilmiştir.

$$Sure = 0,012877 \times LevhaAdet + 52,874169 \quad (6)$$

**Tablo 8.** 2002 makinesi için kuşeli, e dalga cinsine ait normallik testi (Normality test of the coated, e wave type for the 2002 machine)

Değişken	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	İstatistik	Serbestlik derecesi	Anlamlılık	İstatistik	Serbestlik derecesi	Anlamlılık
Levha adet	0,127	22	0,200*	0,941	22	0,205
Süre	0,109	22	0,200*	0,968	22	0,654

a. Lilliefors Anlamlılık düzeltmesi

Tablo 8'de 2002 makinesi kuşeli E dalga üretim sürelerini tahmin etmek amacı ile kullanılan veri setine ait normallik testi verilmiştir. Tablodan görüleceği üzere Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk testlerinin anlamlılık değerleri (*Sure*) ve (*LevhaAdet*) değişkenleri için  $0,05$ 'ten büyük olarak bulunduğu için  $H_0$  hipotezi kabul edilir

yani %95 güvenle veriler normal dağılıma uygundur denilebilir. Tablo 6, Tablo 7 ve Tablo 8'deki analizlere benzer olarak, daha önceden çalışılmış olan siparişlerin verileri kullanılarak konfeksiyon bölümündeki her makinenin yeni bir siparişte harcayabileceği sürelerin tahmin edilebilmesi için denklemler oluşturulmuş, regresyon modeli özet tabloları, regresyon katsayıları ve anlamlılıkları, uygulandıysa normallik testi sonuçları kontrol edilmiştir.

Hem oluklu hattı hem de konfeksiyon bölümündeki makineler için oluşturulan denklemler yeni bir sipariş geldiğinde üretim sürelerini tahmin etmek ve çözümlenmede kullanılmak üzere kaydedilmiştir. Değişkenler arasında nümerik olmayan değerler bulunduğundan (Örn. Dalga cinsi: B, BE, C, CB, E; Kâğıt türü: BT120, BK130, BT135, KBT140, NP160, NP180, NP225, F080, F085, vb.), bu değişkenlerin regresyon analizi ile belirlenen katsayı değerleri ile tahmin değerleri oluşturmak zor olmaktadır. SPSS programı bu değerleri kendi içinde uyguladığı katsayılar ile çözmeye yönelik bir analiz sistemine sahiptir. Konfeksiyon bölümü makineleri için her makinede kuşeli, kuşesiz ve dalga çeşitlerine bağlı olarak farklı analizler yapılmıştır. Böylece nümerik olmayan değerler ortadan kaldırılarak tahmin değerleri bulunabilecektir. Bütün makineler için yapılmış olan analizler sonucu elde edilen denklemler, kullanılan veri sayıları ve  $R^2$  değerleri Tablo 9'da verilmiştir.

**Tablo 9.** Analiz sonuçları (Analysis results)

OLUKLU MAKİNESİ						$R^2$
$y = (-0,034773) + K1 \times (-0,000248) + K2 \times (0,00352) + K3 \times (-0,000298) + K4 \times (-0,000248)$						0,934
$+ K5 \times (0,00023) + \text{Bobin} \times (0,000005) + \text{DalgaCinsi} \times (-0,000314) + \text{CalMetre} \times (0,000098)$						
KONFEKSİYON BÖLÜMÜ						$R^2$
Makine	Kuşe	Dalga cinsi	Veri sayısı	Doğru denklemi		
2002	Kuşeli	E	22	$y = 0,012877 \times \text{LevhaAdet} + 52,874169$	0,917	
		B	20	$y = 0,005358 \times \text{LevhaAdet} + 76,785521$	0,544	
		C	43	$y = 0,012191 \times \text{LevhaAdet} + 39,770330$	0,722	
		BE	67	$y = 0,010617 \times \text{LevhaAdet} + 20,297456$	0,839	
		BC	53	$y = 0,010146 \times \text{LevhaAdet} + 50,385428$	0,349	
	Kuşesiz	B	66	$y = 0,009 \times \text{LevhaAdet} + 21,713$	0,800	
		C	141	$y = 0,007 \times \text{LevhaAdet} + 24,123$	0,755	
		BE	162	$y = 0,011 \times \text{LevhaAdet} + 20,297$	0,814	
		BC	244	$y = 0,012 \times \text{LevhaAdet} + 16,456$	0,750	
		2005 (JUMBO)	Kuşesiz	C	42	$y = 0,015005 \times \text{LevhaAdet} + 53,221254$
		BC	1624	$y = 0,013381 \times \text{LevhaAdet} + 37,041045$	0,660	
2008 (DBP)	Kuşesiz	B	42	$y = 0,012672 \times \text{LevhaAdet} + 20,411931$	0,691	
		BC	10	$y = 0,019566 \times \text{LevhaAdet} + 68,884523$	0,578	
2009 (CXF1)	Kuşesiz	B	355	$y = 0,007238 \times \text{LevhaAdet} + 25,349973$	0,746	
		C	148	$y = 0,009183 \times \text{LevhaAdet} + 30,270137$	0,541	
		BE	12	$y = 0,007797 \times \text{LevhaAdet} + 48,419145$	0,871	
		BC	152	$y = 0,009720 \times \text{LevhaAdet} + 32,792372$	0,475	
2013 (WARD BASKI)	Kuşesiz	B	2191	$y = 0,0009806 \times \text{LevhaAdet} + 16,382354$	0,531	
		C	395	$y = 0,010661 \times \text{LevhaAdet} + 30,462440$	0,226	
		BE	162	$y = 0,013867 \times \text{LevhaAdet} + 18,561387$	0,267	
		BC	912	$y = 0,014314 \times \text{LevhaAdet} + 23,251766$	0,257	
2014 (WARD IN-LINE)	Kuşesiz	B	204	$y = 0,0009806 \times \text{LevhaAdet} + 16,382354$	0,847	
		C	614	$y = 0,008435 \times \text{LevhaAdet} + 18,390354$	0,760	
		BE	20	$y = 0,008054 \times \text{LevhaAdet} + 24,54632$	0,711	
		BC	403	$y = 0,010486 \times \text{LevhaAdet} + 14,236845$	0,871	
2015 (MARTIN 1628)	Kuşeli	E	34	$y = 0,011716 \times \text{LevhaAdet} + 40,366865$	0,678	
		B	35	$y = 0,017698 \times \text{LevhaAdet} + 35,962793$	0,857	
		C	56	$y = 0,008153 \times \text{LevhaAdet} + 44,143813$	0,378	
		BE	119	$y = 0,01892 \times \text{LevhaAdet} + 16,930223$	0,862	
		BC	957	$y = 0,01773 \times \text{LevhaAdet} + 21,61523$	0,783	
	Kuşesiz	E	104	$y = 0,009622 \times \text{LevhaAdet} + 31,392313$	0,917	
		B	575	$y = 0,011902 \times \text{LevhaAdet} + 28,442811$	0,331	
		C	167	$y = 0,009265 \times \text{LevhaAdet} + 33,154298$	0,520	
		BE	106	$y = 0,010163 \times \text{LevhaAdet} + 26,596144$	0,907	
		BC	508	$y = 0,017730 \times \text{LevhaAdet} + 21,615230$	0,105	
2016 (LMC P1200)	Kuşesiz	B	310	$y = 0,010913 \times \text{LevhaAdet} + 16,262783$	0,800	
		C	589	$y = 0,007691 \times \text{LevhaAdet} + 23,512662$	0,612	
		BE	31	$y = 0,021039 \times \text{LevhaAdet} - 1,178590$	0,837	
		BC	1867	$y = 0,013675 \times \text{LevhaAdet} + 21,667437$	0,583	
2017 (P1600-A)	Kuşesiz	E	175	$y = 0,012199 \times \text{LevhaAdet} + 21,597305$	0,658	
		B	424	$y = 0,009872 \times \text{LevhaAdet} + 39,641376$	0,718	
		C	135	$y = 0,01168 \times \text{LevhaAdet} + 16,904818$	0,120	
		BE	37	$y = 0,014 \times \text{LevhaAdet} + 41,950$	0,843	
		BC	620	$y = 0,015115 \times \text{LevhaAdet} + 26,297792$	0,206	

Tablo 9'dan görülebileceği üzere, oluklu makinesi için oluşturulan regresyon modelinin  $R^2$  değeri 0,934 olarak tespit edilmiştir. Regresyon modelinin sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla, aynı girdi değişkenleri kullanılarak açık kaynak kodlu Knime programı üzerinden makine öğrenmesi algoritmalarından Random Forest (RF), Probabilistic Neural Network (PNN) ve Simple Regression Tree (SRT) algoritmaları uygulanmıştır. Elde edilen  $R^2$

ve MAPE (%) değerleri Tablo 10'da karşılaştırılmıştır. Kıyaslanan yöntemler tahmin gücü bakımından literatürde kanıtlanmış ve başarılı yöntemler olmasına rağmen bu çalışmadaki veri seti kullanılarak oluklu makinesinde işlem sürelerinin tahmin edilmesinde önerilen regresyon modelinin;  $R^2$  değerleri bakımından karşılaştırıldığında tahmin gücünün uygulanan diğer yöntemlere göre daha yüksek olduğu ve MAPE (%) değeri bakımından karşılaştırıldığında en düşük hataya sahip olduğu görülmektedir. MAPE (%) değerleri açısından sonuçlar karşılaştırıldığında, önerilen çok değişkenli regresyon modeli çok iyi, PNN, SRT ve RF modelleri ise kabul edilebilir olarak sınıflandırılabilir.

**Tablo 10.** Oluklu makinesi için tahmin yöntemlerinin  $R^2$  ve MAPE (%) açısından karşılaştırılması (Comparison of estimation methods for the corrugating machine in terms of  $R^2$  and MAPE (%))

	Çok değişkenli doğrusal regresyon analizi (SPSS)	RF tahmini (Knime)	PNN tahmini (Knime)	SRT tahmini (Knime)
$R^2$	0,934	0,813	0,886	0,908
MAPE (%)	%3,53	%50,2	%21,8	%22,8

Konfeksiyon bölümü için yapılan analizler incelendiğinde ise; 44 adet regresyon denkleminin  $R^2$  değerleri 0,105 ile 0,917 değişmektedir. Genellikle birçok kaynakta  $R^2$  değerinin 0,7'nin üzerinde olduğu durumlarda bağımlı değişken üzerinde yüksek seviyede etki olduğu ve  $R^2$  değerinin 0,4'ten küçük olduğu durumlarda ise düşük seviyede etki olduğu söylenmektedir. Tablo 9'da verilen sonuçlar incelendiğinde 44 adet regresyon denkleminin 22 tanesinin  $R^2$  değeri 0,7'den büyüktür. Diğer bir bakış açısıyla, 44 adet regresyon denkleminin 10 tanesinin  $R^2$  değeri 0,4'ten küçüktür. Firmada çalışan uzmanlarla yapılan görüşmeler sonucunda, konfeksiyon makinelerindeki bazı regresyon modellerinin  $R^2$  değerlerinin yüksek bazılarının düşük çıkmasının sebebi olarak operatör bazlı makine kullanımına bağlı verimlilik değişimlerinin girdi verilerini ve dolayısıyla sonuçları etkilediği belirlenmiştir. Tablo 11 ve Tablo 12, oluşturulan modeller doğrultusunda elde edilebilecek sonuçlar örnek olması açısından geçmiş siparişler üzerinde gösterilmiştir.

**Tablo 11.** Oluklu makinesi için üretim süresi tahmini örneği (An example of processing time estimation for the corrugating machine in the first stage)

Sipariş numarası	Çalışılan metre	Dalga cinsi	Bobin eni (mm)	Kullanılacak kağıtlar	Oluklu hattı tahmini süre (dk.)
21850181/3	1.020	CB	2.300	T090-F115-F080-F115-T090	6,314
21850979/1	2.250	CB	2.300	BT120-F115-F080-F115-T090	13,978
21851080/11	270	CB	2.300	K100-F080-F080-F115-K100	1,494
21850845/1	370	CB	2.300	K100-F080-F080-F115-K100	2,082
21849488/2	9.690	CB	2.300	K100-F080-F080-F115-T090	57,049
21851080/2	570	CB	2.300	T090-F080-F080-F115-T090	3,245
21851080/8	650	CB	2.300	T090-F080-F080-F115-T090	3,716
21851275/1	2.140	CB	2.300	T090-F080-F080-F115-T090	12,477
21851080/12	2.700	CB	2.300	T090-F080-F080-F115-T090	15,770
21851080/9	710	CB	2.300	T090-F080-F080-F115-T090	4,068
21841860/1	1.270	CB	2.300	DK110-F115-F080-F115-DK110	7,801
21851380/1	830	C	2.450	BT120-F140-T140	5,209
21849831/1	1.420	C	2.450	T150-DC150-T140	11,581
21850994/1	6.760	C	2.450	T150-DC150-T140	42,980
21851133/1	280	C	2.450	DK150-IN140-DK150	3,305
21849888/1	1.950	C	2.450	DK150-IN140-DK150	13,124

**Tablo 12.** Konfeksiyon bölümündeki makineler için üretim süresi tahmini örneği (An example of processing time estimation for the machines in the second stage)

Sipariş no.	Sipariş mik. (adet)	Konfeksiyon makineleri tahmini süreler (dk.)									
		2002	2005	2008	2009	2013	2014	2015	2016	2017	
21850181/3	5.251	79,468	0	0	0	0	79,608	0	93,475	0	
21850979/1	8.399	117,244	0	0	0	143,475	112,618	0	136,524	153,249	
21851080/11	526	22,768	44,079	0	0	30,781	30,062	30,941	28,860	34,248	
21850845/1	756	25,528	47,157	0	0	34,073	32,474	35,019	32,006	37,725	
21849488/2	14.911	195,388	236,565	0	0	236,688	180,903	285,987	225,575	251,678	
21851080/2	1.973	40,132	63,442	0	0	51,493	45,235	56,597	48,648	56,120	
21851080/8	1.050	29,056	51,091	0	0	38,281	35,557	40,232	36,026	42,169	
21851275/1	5.249	79,444	107,278	171,586	83,813	98,386	79,587	114,680	93,448	105,636	
21851080/12	5.250	79,456	107,291	0	0	98,400	79,598	114,698	93,461	105,652	
21851080/9	1.050	29,056	51,091	0	0	38,281	35,557	40,232	36,026	42,169	
21841860/1	2.022	40,720	64,097	0	0	52,195	45,749	57,465	49,318	56,860	
21851380/1	1.051	0	0	0	0	38,296	35,567	0	36,040	0	
21849831/1	2.711	43,100	73,317	0	0	62,057	52,974	69,681	58,740	67,275	
21850994/1	14.112	122,907	225,874	0	0	225,251	172,525	271,821	214,649	239,601	
21851133/1	587	28,232	44,896	0	0	31,654	30,702	32,023	29,695	35,170	
21849888/1	4.070	52,613	91,502	0	0	81,510	67,224	93,776	77,325	87,816	

Konfeksiyon bölümünde, bir siparişin üretiminin uygun olabileceği birden fazla makine bulunmaktadır ve bu

makinelere üretim süreleri çok farklı olabilmektedir. Tahmini sürelerle hazırlanacak bir üretim planlama tablosu ile siparişlerin hangi makinede üretilebileceği ve bu üretimin yaklaşık süresi tespit edilebilecektir. Yapılan bu çalışma sayesinde makine çalışma süre tahminlerinin iyileştirilmesi ile işletmede minimum zamanda en uygun makineler kullanılarak üretimin yapılabilmesi bir üretim planı hazırlamak hedeflenmektedir.

Sonuç olarak, işletmenin mevcut durumda yapmakta olduğu uzman görüşlerine göre tahminlerin sonuçlarının iyileştirileceği ve bu bağlı olarak üretim planlama ve çizelgeleme faaliyetlerinin verimliliğinin arttırılacağı düşünülmektedir. Tablo 13, 2018-2019 yıllarına ait kullanılan veri seti göz önüne alındığında bu çalışmada önerilen regresyon modellerinden elde edilen tahminler ile gerçekleşen sürelerin makine bazında MAPE (%) değerleri açısından karşılaştırılmasını göstermektedir.

**Tablo 13.** Tahmin edilen makine işlem sürelerinin MAPE (%) değerleri (MAPE (%) values of the estimated machine processing times)

Makine	Yıllık MAPE (%)	Yıllık ortalama MAPE (%)
Oluklu	3,530	3,530
	2002	16,290
	2005	22,300
	2008	42,050
	2009	22,520
Konfeksiyon	2013	20,510
	2014	18,000
	2015	19,140
	2016	16,130
	2017	25,160

2018-2019 yıllarına ait kullanılan veri seti göz önüne alındığında uzman görüşlerine göre yapılan tahminlerin MAPE değerleri ile (Bakınız Tablo 3) ve önerilen regresyon modellerinden elde edilen tahminlerin MAPE değerleri karşılaştırıldığında oluklu makinesi MAPE değeri %22,333'den %3,530'a; konfeksiyon bölümü için ortalama MAPE değeri %38,167'den %22,456'e düşürülmüştür. Böylelikle işletmede kayıp zamanlar buna bağlı enerji kaybı ve malzeme kaybının minimuma indirilmesi amaçlanmıştır.

## 6. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Üretim çizelgeleme, üretim planlama bünyesinde yapılacak işlerin ne zaman ve hangi makinede yapılacağını belirlemeyi hedefleyen programlardır. Bu çalışma kapsamında ele alınan firma sipariş üzerine üretim yapmaktadır. Bu doğrultuda bir siparişin gelmesi ile sistemde görülmekte ve termin süresine bağlı olarak üretimi için planlaması yapılmaktadır. Burada ürünler en az iki ana makineden geçerek hazırlanmaktadır. İlk aşama olan oluklu makinesi tüm ürünlerin başlangıcını oluşturan levhaları oluşturmak için kullanılır. Oluşan levhalar ikinci aşama olan konfeksiyon bölümünde bulunan ana makinelerinden birinden geçerek hazırlanmaktadır. Her makinenin belirli kısıtları doğrultusunda iş ataması gerçekleştirilmektedir. İş atamaların daha verimli olabilmesi için makine sürelerinin tahmin edilmesi önem taşımaktadır. Bunun yanı sıra makine işlem sürelerinin dolayısıyla üretim sürelerinin tahmin edilmesi aşağıdaki avantajları sağlayabilir:

- Siparişlerin ne zaman çıkacağı bilindiği için müşteriye bilgi sağlanarak rekabet avantajı sağlanabilir.
- Bobin değişiminin ve hazırlık sürelerinin planlamasını sağlanabilir.
- Maliyetlerin tahmin edilmesinde kullanılabilir. Böylece yöneticilerin karar vermesi kolaylaştırılabilir.
- Zaman etütlerinin yapılması yerine tahminleri kullanılarak zaman kaybının önlenmesi sağlanabilir.
- Stok yönetimi yapılabilir. Fazla mesainin azaltılması sağlanabilir.

Bu çalışmada, Türkiye'de oluklu mukavva sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin verileri kullanılarak üretim sürelerinin tahmin edilmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır ve işletmenin gerçek bir problemi ele alınmıştır. Oluklu makinesi için çeşitli girdi değişkenleri altında çok değişkenli doğrusal regresyon analizi ve konfeksiyon bölümündeki farklı özellikteki makineler için tek bağımsız değişken kullanılarak farklı analizler altında tek değişkenli doğrusal regresyon analizi ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen regresyon denklemleri çalışmanın pratik katkısını göstermektedir. Bu denklemler işletmenin planlama ve çizelgeleme faaliyetlerinin iyileştirilmesine yardımcı olabilir. Regresyon analizlerinde 2018-2019 yılları arasındaki geçmiş 1 yıllık üretim verileri kullanılmıştır. Konfeksiyon bölümünde bulunan makineler birbirinden farklı özelliklere sahiptir. Dolayısıyla işletmedeki uzmanlar ile yapılan görüşmeler sonucunda, farklı özellikteki bu makineler için kuşe durumuna ve dalga cinsine göre çeşitli analizlerin levha adedi bağımsız değişkeni kullanılarak yapılmasının uygun olacağı belirlenmiştir. Sayısal sonuçlar bölümünde Tablo 9'dan da görülebileceği üzere, konfeksiyon bölümündeki regresyon modellerindeki veri sayısı analize göre 10 adet ve 2191 adet arasında değişkenlik göstermektedir. Dolayısıyla, regresyon modellerinin tahmin gücünü temsil eden  $R^2$  değerlerinin yükseltilmesi için bazı analizler birleştirilebilir, özellikle kuşesiz C ve BC dalga ürünler için veri sayısı arttırılabilir ve  $R^2$  değerlerinin yükselip

yükselmediği kontrol edilebilir. Regresyon analizleri ile yapılan tahminler işletmede halihazırda kullanılan uzman görüşlerine göre tahminlere kıyasla daha başarılı sonuçlar vermiştir. Oluklu makinesi için MAPE değeri %22,333'ten %3,530'a ve konfeksiyon bölümü için ortalama MAPE değeri %38,167'den %22,456'ya düşmüştür. Sonuçlara göre, çalışmada çok değişkenli doğrusal regresyon modeli ile oluklu makinesinde başarılı tahminler elde edilmiştir. Ayrıca konfeksiyon bölümündeki bazı makinaların süre tahminleri, bu makinalardaki operatör bazlı verimlilik değişimlerinden dolayı geliştirilmeye açıktır.

### Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2017FEBE039 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi sırasında ihtiyaç duyulan verinin paylaşımını sağlayan Türkiye'de faaliyet gösteren Oluklu Mukavva firmasına ve yetkililerine teşekkür ederiz.

### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

### Kaynaklar (References)

- Aktaş, B., Aydın, C., 2018. Talashlı İmalat Sektöründe Zaman Serileri Kullanarak Üretim Etkililiğinin Tahmini. Bilişim Teknolojileri Dergisi, 11(4), 407-416.
- Alenezi, A., Moses, S. A., Trafalis, T. B., 2008. Real-time prediction of order flowtimes using support vector regression. Computers & Operations Research, 35(11), 3489-3503.
- Altın, S. Ş., 2011. Benzer Süreçlerde Üretilen Ürünler için Yapay Zeka ile Zaman Tahmini. Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. Başkent Üniversitesi, Ankara.
- Aydın, B., 2020. İktisadi Göstergelerin Beklenen Yaşam Süresi Üzerindeki Etkileri: Panel Veri Analizi. Istanbul Journal of Economics, 70(1), 163-181.
- Bilekdemir, G., 2010. Veri Madenciliği Tekniklerini Kullanarak Üretim Süresi Tahmini ve Bir Uygulama. İşletme Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Bilici, A. Y., 2010. Sanayi İşletmelerinde Üretim Planlaması ve Sezersan Matbaacılık ve Ambalaj San. Tic. A.Ş.'de Örnek Uygulama Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Can, S., 2020. Rüzgar Türbinleri Kullanılarak Üretilen Elektrik Enerjisi Miktarının Zaman Serileri ile Analizi ve Uygulaması. Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. İskenderun Teknik Üniversitesi, İskenderun, Hatay.
- Ceyhan, H., Kasapbaşı, M. C., 2022. Üretim Sistemlerinde Makine Öğrenmesi ile Kestirimci Bakım Uygulaması ve Modellemesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi,(33), 167-175.
- Cihanlı, Ö., 2010. Hibrit Akış Tipi Atölyede Çizelgeleme. Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- Çuhadar, M., Kayacan, C., 2005. Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Konaklama İşletmelerinde Doluluk Oranı Tahmini: Türkiye'deki Konaklama İşletmeleri Üzerine Bir Deneme. Anatolia: Turizm Araştırmaları Dergisi, 16(1), 24-30.
- Deniz, Ş. L., 2012. Çağımızın ambalajı oluklu mukavva. İstanbul: Oluklu Mukavva Sanayicileri Derneği Yayınları.
- Gönültaş, H., Kızılaslan, H., Kızılaslan, N., 2020. Projections of Effects of Global Warming on Rainfall Regimein Some Provinces; Ankara, Rize, Aydın andHakkâri Provinces Example. Turkish Journal of Agriculture -Food Science and Technology, 8(10), 2156-2163.
- Güler, E., Kandemir, S. Y., 2022. Lineer ve Kübik Regresyon Analizleri Kullanılarak OECD Ülkelerinin CO2 Emisyonlarının Tahminlemesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi,(Özel Sayı 34), 175-180.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E., 2013. Multivariate Data Analysis. Seventh. New Jersey: Pearson New International Edition.
- Hamzaoğlu, S., 2013. Çoklu regresyon yöntemlerinde güç analizi. İstatistik Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.
- Işık, K., Kapan Ulusoy, S., 2021. Metal Sektöründe üretim sürelerine etki eden faktörlerin veri madenciliği yöntemleriyle tespit edilmesi. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 36(4), 1949-1962.
- Karahan, M., 2015. Yapay Sinir Ağları Metodu İle İhracat Miktarlarının Tahmini: ARIMA ve YSA Metodunun Karşılaştırmalı Analiz. Ege Akademik Bakış, 15(2), 165-1172.
- Kesriklioğlu, E., Oktay, E., 2022. Makine Öğrenmesi Yöntemleri Kullanılarak Hanehalkı Toplam Enerji Harcamaları Tahmini. Turkish Research Journal of Academic Social Science, 5(2), 110-118.
- Kırış, Ş., 2008. Hizmet sektörü için bir tepkisel çizelgeleme sistem önerisi acil servis kontrol sistemi. Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. Doktora tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Eskişehir.
- Kobu, B., 2017. Üretim Yönetimi. 18. İstanbul: Beta Yayınevi.
- Kozaklı, Ö., Mert, M., Fırat, M. Z., 2021. Türkiye etlik piliç üretiminin zaman serisi yöntemi ile modellenmesi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 58(4), 557-566.
- Köprü, T., 2022. Kestirimci Bakım Zamanlarının Makina Öğrenmesi Yöntemleriyle Tahminlenmesi: Demir Çelik Sektöründe Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi. Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi, Karabük.
- Krajewski, L. J., Malhotra, M. K., Ritzman, L. P., 2015. Operations Management Processes and Supply Chains. 11th Edition. Cambridge: Pearson Education Limited.



- Kurnaz, G., 2019. Kablo takımı üretim süresinin ve kusurlu ürün oluşumuna yönelik risk faktörlerinin makine öğrenmesi algoritmaları ile belirlenmesi. Akıllı Sistemler Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.
- Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., 2004. Applied Linear Regression Models. Fourth. New York: McGraw-Hill/Irwin.
- Lim, C., McAleer, M., 2001. Forecasting tourist arrivals. *Annals of Tourism Research*, 28(4), 965-977.
- Makridakis, S. G., Wheelwright, S. C., Hyndman, R. J., 1998. Forecasting: Methods and Applications. 3rd. New York: Wiley.
- Mendeş, M., Subaşı, S., Başpınar, E., 2005. Bilimsel Çalışmalarda P-Değerinin Rapor Edilmesi ( $P<0.01?$ ,  $P<0.05?$ ,  $P>0.05?$ ). *Tarım Bilimleri Dergisi*, 11(4), 359-363.
- Mize, J. H., Charles, W. R., Brooks, G. H., 1984. Üretim planlama ve kontrol. İstanbul: İTÜ Yayınları.
- Munguía, J., Ciurana, J., Riba, C., 2009. Neural-network-based model for build-time estimation in selective laser sintering. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 223(8), 995-1003.
- Mutlu, Ö., Ordu, M., Polat, O., 2016. Düşük Riskli Yatırımcılar İçin Bireysel Emeklilik Sistemi İle Banka Vadeli Mevduat Sisteminin Karşılaştırılması. *Alphanumeric Journal*, 4(2), 95-114.
- Nahmias, S., 2005. Production and Operations Analysis. 5th. New York: McGraw/Irwin.
- Ordu, M., Demir, E., Davari, S., 2021. A hybrid analytical model for an entire hospital resource optimisation. *Soft Computing*, 25(17), 11673-11690.
- Ordu, M., Zengin, Y., 2020. A Comparative Forecasting Approach to Forecast Animal Production: A Case of Turkey. *Livestock Studies*, 60(1), 24-31.
- Özcan, B., 2007. Yapay Sinir Ağı Yaklaşımıyla, Peçete Makinesi İmalatı Yapan İşletmede Makine İşleme Sürelerinin Tahmin Edilmesi. Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- Özdemir, E., Ballı, S., 2020. Türkiye Erkekler Basketbol Ligi Maç Sonuçlarının Makine Öğrenmesi Yöntemleri ile Tahmini. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(3), 740-752.
- Pinedo, M. L., 2016. Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems. 5th. NY, USA: Springer Cham.
- Rencher, A. C., Schaalje, G. B., 2008. Linear models in statistics. Second. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Sabuncuoğlu, I., Bayız, M., 2000. Analysis of reactive scheduling problems in a job shop environment. *European Journal of Operational Research*, 126(3), 567-586.
- Saplıoğlu, K., Çimen, M., 2010. Yapay Sinir Ağlarını Kullanarak Günlük Yağış Miktarının Tahmini. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 1(1), 14-21.
- Sarı, T., Gül, B. S., 2022. Bütünleşik Zaman Serisi Analizi ile Talep Tahmini: İlaç Tedarik Zincirinde Bir Uygulama. *Verimlilik Dergisi*,(4), 597-610.
- Sarıkaya, G., 2019. Yapay Sinir Ağları Ve Regresyon Modelleri ile Bist Ulusal -100 Endeksinin Tahmini. 21. Yüzyılda Eğitim ve Toplum, 8(23), 325-340.
- Senocak, A. A., Guner Goren, H., 2022. Forecasting the biomass-based energy potential using artificial intelligence and geographic information systems: A case study. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 26 100992.
- Sütçü, E., 2018. Kaynaklı İmalat Operasyon Sürelerinin Matlab Yapay Sinir Ağları ile Tahmin Edilmesi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 4(1), 16-24.
- Tanyaş, M., Baskak, M., 2008. Üretim Planlama ve Kontrol. Genişletilmiş 3. İstanbul: İrfan Yayımcılık.
- Üçüncü, M., 2011. Gıda Ambalajlama Teknolojisi. İstanbul: Ambalaj Sanayicileri Derneği.
- Vainio, F., Maier, M., Knuutila, T., Alhoniemi, E., Johnsson, M., Nevalainen, O. S., 2010. Estimating printed circuit board assembly times using neural networks. *International Journal of Production Research*, 48(8), 2201-2218.
- Yaşarsoy, E., Oktay, K., 2020. Destinasyonda Markalaşma Yolunda Şanlıurfa İçin Bir Model Önerisi. *Türk Turizm Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 234-258.
- Yılmaz, N., 2020. 6360 Sayılı Yasa'nın Belediyelerin Mali Yapıları Üzerine Etkileri: Denizli ve Uşak İllerine Yönelik Bir Memnuniyet Araştırması. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*,(57), 89-114.
- Yüce, T., Kabak, M., 2021. Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Detay Üretim Alanları İçin İş Merkezi Kırılımında Üretim Süresi Tahminleme. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 37(1), 47-60.