

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MATEMATİKSEL MODEL TABANLI ENVANTER YÖNETİMİ:
TALEP TAHMİNİ VE OPTİMUM SİPARİŞ ADEDİ BELİRLEME

BETÜL YAKUT

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ AHMED BURAK PAÇ

TEMMUZ 2024

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MATEMATİKSEL MODEL TABANLI ENVANTER
YÖNETİMİ: TALEP TAHMİNİ VE OPTİMUM SİPARİŞ
ADEDİ BELİRLEME

BETÜL YAKUT

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ AHMED BURAK PAÇ

TEMMUZ 2024

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL

**MATHEMATICAL MODEL-BASED INVENTORY
MANAGEMENT: DEMAND FORECAST AND
DETERMINING OPTIMAL ORDER QUANTITY**

BETÜL YAKUT

**A THESIS OF MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING**

THESIS SUPERVISOR: ASSIST.PROF.DR. AHMED BURAK PAÇ

TEMMUZ 2024

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun 01/07/2024 tarih ve 2024/33 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 16/07/2024 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Betül Yakut'un tez çalışması Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : DR. ÖĞR. ÜYESİ A. BURAK PAÇ

ÜYE : DR. ÖĞR. ÜYESİ SUAT GENÇ

ÜYE : DOÇ. DR. BURAK KOCUK

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Bu çalışma, perakende sektöründe stok yönetimini optimize etmek amacıyla ARIMA zaman serisi analiz modeli kullanarak talep tahmini ve tam sayılı programlama ile sevkiyat miktarının belirlenmesine odaklanmaktadır. Özel gün etkisi dikkate alınarak ve en küçük hata kareleri ortalamasına göre en uygun ARIMA modeli seçilerek mağazalardaki ürünlerin satış adetleri tahmin edilmektedir. Tahmin sonuçları gerçek satış adetleri ile karşılaştırılarak modelin performansı değerlendirilmektedir. Planlama ufkunda mağaza ve ürün bazlı günlük sevkiyat ve stok miktarlarının optimizasyonu için bir matematiksel model oluşturulmuş ve oluşturulan ARIMA modellerinden elde edilen satış tahminleri kullanılarak çözülmüştür. Hedef, ürün satış geliri ile ürün, sevkiyat ve envanter maliyetlerinin farkı olan kârı eniyilemektir. Planlama ufkunda mağazalara hangi günlerde araç çıkacağı, hangi üründen kaç adet teslim edileceği, günlük satış ve stok miktarları geliştirilen tahmin ve optimizasyon modellerine göre tespit edilmektedir. Elde edilen sevkiyat kararları dinamik olarak 100 günlük talep test verisi üzerinde sınanarak model başarımı değerlendirilmektedir. Ana depodan mağazalara sevk edilen ürünlerin, talep tahmini ve matematiksel model ile optimize edilen bir sistem üzerinden yönetilmesi, stok maliyetlerini minimize ederek kâr oranını artırma potansiyeli sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: ARIMA, Envanter İkmali, Perakende, Tam Sayılı Programlama, Zaman Serisi Analiz

ABSTRACT

This study focuses on demand forecasting using the ARIMA time series analysis model and determining the shipment quantity with integer programming in order to optimize stock management in the retail industry. The sales numbers of products in stores are estimated by taking into account the special day effect and selecting the most appropriate ARIMA model according to the least square error average. The model's performance is evaluated by comparing the forecast results with actual sales numbers.

A mathematical model was created to optimize store and product-based daily shipment and stock quantities in the planning horizon and was solved using sales forecasts obtained from the created ARIMA models. The goal is to optimize profit, which is the difference between product sales revenue and product, shipping and inventory costs. In the planning horizon, the days on which vehicles will be delivered to the stores, how many units of which product will be delivered, daily sales and stock amounts are determined according to the developed forecasting and optimization models.

Model performance is evaluated by dynamically testing the resulting shipment decisions on 100-day demand test data. Managing the products shipped from the main warehouse to the stores through a system optimized with demand forecasting and a mathematical model offers the potential to increase the profit rate by minimizing stock costs.

The study emphasizes the importance of mathematical and analytical approaches in retail companies to increase efficiency in inventory management and increase sales and customer satisfaction with stock availability.

Keywords: ARIMA, Inventory Replenishment, Retail, Integer Programming, Time Series Analysis

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde emeği geçen, destek ve katkılarını esirgemeyen tez danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi A. Burak Paç'a araştırma sürecindeki yol gösterici yönlendirmeleri, teşvik edici tutumu ve değerli katkıları için minnettarım. Kendisinin bilgi ve tecrübeleri, bu çalışmanın şekillenmesinde büyük rol oynamıştır.

Araştırmamın her aşamasında desteklerini esirgemeyen, sabır ve anlayışlarıyla beni motive eden sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, bu süreçte bilgi ve deneyimlerini paylaşan, her türlü sorumda yardımcı olan, desteklerini esirgemeyen tüm arkadaşlarıma ve çalışma arkadaşlarıma teşekkür etmek isterim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLOLAR DİZİNİ	xi
1.GİRİŞ	1
2.LİTERATÜR TARAMASI	3
3.PROBLEM TANIMI	6
4.MODEL	7
5.TALEP TAHMİNLERİ VE MODEL PARAMETLERİ İÇİN VERİ ANALİZİ	10
6.HESAPLAMALI SONUÇLAR	22
7.SONUÇ	27
KAYNAKLAR	28
ÖZGEÇMİŞ	31

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

MSE	: Mean Squared Error
ARIMA	: Autoregressive Integrated Moving Average
PACF	: Partial Autocorrelation Function
ACF	: Autocorrelation Function
KPSS	: Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin
ADF	: Augmented Dickey-Fuller
AIC	: Akaike Information Criterion
BIC	: Bayesian Information Criterion
ARIMAX	: AutoRegressive Integrated Moving Average with eXogenous inputs

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.1: Satış Adeti Grafiği	12
Şekil 5.2: Satış Adeti ACF Grafiği	12
Şekil 5.3: Fark Alınmış Veri Çizgi Grafiği	14
Şekil 5.4: Fark Alınmış Veri ACF Grafiği	14
Şekil 5.5: Fark Alınmış Veri SARIMAX Bilgileri	18
Şekil 6.1: Rotaların Kullanım Adetleri	23
Şekil 6.2: Mağazaların Toplam Satış Kaybı	23
Şekil 6.3: Tüm Mağaza Modeller İçin Stok Tutma Oranları	24

TABLÖLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 5.1: Satış Adeti Verisi için Augment Dickey-Fuller Testi Sonucu	13
Tablo 5.2: Satış Adeti Verisi için KPSS Stationary Testi Sonucu	13
Tablo 5.3: Farklı Alınmış Satış Adeti Verisi için Augment Dickey-Fuller Testi Sonucu	15
Tablo 5.4: Farklı Alınmış Satış Adeti Verisi için KPSS Stationary Testi Sonucu	15
Tablo 5.5: Fark Alınmış Veri AIC Değerleri	17
Tablo 5.6: Fark Alınmış Veri BIC değerleri	17
Tablo 5.7: ARIMA Sonuç Tablosu	19
Tablo 5.8: Optimizasyonda kullanılan parametreler	20
Tablo 5.9: Ürün Fiyat ve Maliyetleri	20
Tablo 5.10: Teslimat Rotalarının Kapsadığı Mağazalar ve (Sabit) Teslimat Maliyetleri	21
Tablo 6.1: Tüm Mağaza Modeller için Sonuçlar	24

1. GİRİŞ

Envanter yönetimi birçok firma için stratejik açıdan kritik bir konudur. Her işletme girişiminin verimli bir şekilde yürütülmesi beklendiğinden, herhangi bir ticari organizasyonda mevcut kaynakların etkin yönetimi ihtiyacına vurgu yapılmasına gerek yoktur. İş dünyasındaki şiddetli rekabet nedeniyle ürünlerin fiyatının artırılması konusunda kısıtlamalar bulunmaktadır. Başka seçeneği kalmayan endüstriyel işletmeler, mevcut kaynaklarını daha verimli bir şekilde yönetmek zorunda kalıyor. Sermayenin rolü endüstriyel kalkınma bağlamında çok önemlidir. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeler söz konusu olduğunda bu durum daha da doğrudur. Bir firma tarafından toplanan sermaye, ticari faaliyetlerini gerçekleştirmek için sabit varlıkların yanı sıra dönen varlıklara da yatırılır. Dönen varlıklara yatırılan kısma işletme sermayesi denir ve bunun en büyük kısmını stoklar oluşturur. Bu nedenle stoklar etkin yönetim gerektirir. İyi envanter yönetimi aynı zamanda iyi bir finansal yönetimdir.

Envanter yönetimi alanında, bir firmanın kararlarındaki değişikliklerin etkisinin tahmini, daha fazla envantere sahip olarak riskin sınırlandırılması ile envanter maliyetlerinin sınırlandırılması arasında bir uzlaşmadır. Kurumsal finansal yönetimin temel sorunudur. Envanter yönetiminin temel amacı, maliyetleri göz önünde bulundurarak envanteri mümkün olan en düşük seviyede tutmaktır. Envanter bulundurmamak, sermayenin bu stokların finansmanına harcanması anlamına gelir ve depolama, sigorta, nakliye, eskime, israf ve bozulma gibi maliyetlerle ilişkilidir. Ancak stok seviyesinin aşırı düşük olması, müşteri taleplerini karşılamakta sıkıntılara yol açabilir [Michalski, 2008].

Şirketlerin mal akışını sürekli bir sipariş verme, depolama, üretim, satış ve yeniden stoklama döngüsü hâlinde düzenlerken envanter yönetimini verimli şekilde yapmaları önemli bir gerekliliktir [Hill and Pakkala, 2007]. Uygun stok seviyeleri belirlenerek satış dönemi boyunca talepleri karşılayacak şekilde yeterli stok seviyeleri korunmak istenir. Talep tarafındaki ani dalgalanmalara rağmen, günlük siparişleri optimize ederek, stok tükenmesi nedeniyle oluşabilecek satış fırsatlarının kaybı önlenabilir ve

aşırı siparişlerden kaynaklanan stok maliyet artışları engellenebilir [Demizu vd., 2023].

Bu çalışma, bir perakende şirketinin merkez deposundan yapılan sevkiyatlarını optimize ederek şirket kârını maksimize etmeyi amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda, talep tahminleme yöntemi kullanılarak sipariş miktarları belirlenmiş ve mağaza stoklarının optimal seviyede tutulmasını sağlayan matematiksel bir model geliştirilmiştir. Perakende sektöründe, dağıtım merkezi ile tüketici noktaları arasındaki sevkiyat süreçlerinin nasıl daha verimli hale getirilebileceği incelenmiştir. Bu kapsamda, sipariş tahminleme ve nakliye problemlerini bir arada ele alan bütünleşmiş bir optimizasyon modeli oluşturulmuştur. Modelin temel amacı, envanterle ilgili maliyetler ve nakliye maliyetlerinin toplamını en aza indirerek, hedef envanter düzeyini ve nakliye miktarını optimal şekilde belirlemektir. Bölüm 2'de konu ile alakalı literatür ele alınmaktadır. Bölüm 3'te problem tanımı sunulmaktadır. Bölüm 4'te oluşturulan modelden bahsedilmektedir. Bölüm 5'te kullanılan yöntem ve uygulamadan bahsedilmektedir. Bölüm 6'da hesaplamalı sonuçlar değerlendirilmektedir. Bölüm 7'de sonuçlar özetlenmektedir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Talep tahmini ile ilgili son yıllarda yapılan bir çalışmada, İran metal endüstrisinde enerji tüketimi tahmini için doğrusal ve doğrusal olmayan modeller kullanılmıştır. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) ve Genetik Algoritmalar (GA) ile parametreler belirlenmiş, PSO tabanlı logaritmik doğrusal olmayan modelin en iyi sonuçları verdiği görülmüştür [Piltan vd., 2012]. Envanter yönetimi ile ilgili yapılan bir çalışmada, tedarik zincirleri ve ekonomik güvenlik arasındaki etkileşimi incelemektedir. Hızla büyüyen hizmet sektörüne rağmen, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi sistematik olarak araştırılmamıştır. Çalışma, işletme ile tedarikçiler arasındaki etkileşim sürecini ve maliyetlerin en aza indirilmesini tanımlar. Önerilen model, tedarik zinciri boyunca bileşenlerin teminini ve üretim maliyetlerini optimize etmeyi hedefler. Ayrıca, tedarik güvenilirliği, zamanında teslimat ve işletme sermayesinin etkili kullanımı ile işletmenin kârlılığını artırmaya odaklanır. Model, işletmenin ekonomik güvenliğini sağlamayı amaçlamaktadır [Vlasov, 2020]. Başka bir çalışma kırılabilir veya bozulan ürünler için ekonomik üretim miktarı (EPQ) modelleri zamana bağlı doğrusal değişken taleplerle geliştirmiştir. Üretim oranı ve tutma maliyeti zamana bağlı olup, birim üretim maliyeti üretim güvenilirliği ve üretim oranının bir fonksiyonu olmaktadır. İki modelde de kurulum maliyeti üretim oranına kısmen bağlıdır. Optimal kontrol çerçevesinde geliştirilen modellerde kısıtlara izin verilmiş ve Euler-Lagrangian fonksiyonu ile çözülerek optimal güvenilirlik göstergesi ve üretim oranları hesaplanmıştır [Majumder vd., 2014]. Tedarikçi ve perakendeciden oluşan iki aşamalı bir tedarik zincirinde ortak yenileme düzenlemesini ele alan çalışmada ortak üretim tesisinde, kurulum ve işleme maliyetleri olan bir ürün ailesi incelenmiştir. Her iki tarafın da maliyetleri en aza indirmek için merkezi ve merkezi olmayan karar modelleri geliştirilmiş ve bir arama algoritması önerilmiştir. Ayrıca, kar paylaşımını teşvik etmek için miktar indirim şemasıyla bir kar paylaşım mekanizması önerilmiştir [Chen and Chen, 2005]. Bir başka çalışmada envanter sisteminde fiziksel malların bozulmasının etkilerini dikkatini çekmiştir. Bozulma ne kadar fazla ise sipariş miktarı o kadar fazla olacaktır. Bundan dolayı ürünlerin bozulma oranlarının dikkate alınması gerektiği düşünülerek 3 parametrelili Weibull bozulma dağılımını içerecek şekilde iki depolu kısmi biriktirme envanter modeli geliştirilmiştir. Birim zaman başına toplam

ilgili maliyetin net bugünkü değerini en aza indiren optimal yenileme politikasını ortaya konmuştur [Yang, 2012].

Chandramohan ve arkadaşları [2023], tedarikçi, perakendeci ve müşteri arasında promosyonlu fiyatların talebi artırdığı ve kusurlu ürünlerin perakendeci tarafından ayıklandığı bir envanter yönetim modeli önermektedir. Model, öğrenme süreciyle yanlış sınıflandırmaları önler ve bozulmayan ürünler, karbon vergisi gibi faktörleri dikkate alır.

Rinaldi ve arkadaşları [2023], yedek parça envanter yönetimi için bir simülasyon modeli geliştirmiştir. Heterojen malzemeler analiz edilip dört kategoriye ayrılmış, maliyet ve depolama alanı optimize edilmiştir. Simülasyon, uygulayıcılar için strateji belirleme aracı olarak işlev görmektedir.

Gutiérrez ve arkadaşları [2013], NP-zor dinamik lot büyüklüğü problemi için sezgisel bir prosedür önermektedir. Bu yöntem, etkili algoritmalar geliştirmede fayda sağlayacak optimal çözümler sunmaktadır. Yang [2023], sınırlı depolama kapasitesi ve değişken talebi dikkate alan iki depolu envanter sistemiyle bozulan ürünler için optimal yenileme döngüsünü analiz etmiştir.

Chiua ve arkadaşları [2019], hızlandırılmış üretim ve yeniden işleme süreçlerinin maliyetleri düşürdüğünü göstermiştir. Hill ve Pakkala [2007], rastgele müşteri siparişleri ile çalışan bir perakende envanter sisteminde maliyetlerin optimize edilebileceğini belirtmiştir.

Kumar ve Mahapatra [2021], bozulabilir ürünler için çoklu depo modelini ele alırken, Nia ve arkadaşları [2013] tedarik zincirinde depolama kapasitesi ve belirsizlikleri dikkate alan EOQ modeli geliştirmiştir. Claassen ve arkadaşları [2023], EOQ modelini bozulabilir ürünler ve çevresel etkilerle genişletmiş, Mallick ve arkadaşları [2023] stok bağımlı talep ve bozulma üzerine çalışmıştır.

Bjork [2012], belirsiz döngü süreleri altında üretim partisi boyutlarını belirlemek için bulanık çoklu ögeli Ekonomik Üretim Miktarı (EPQ) modelini geliştirmiştir. Model, üçgensel bulanık sayılarla optimizasyon problemi çözmektedir. Nobil ve arkadaşları [2023], yüksek hassasiyetli üretim sistemlerindeki darboğazları inceleyerek, üç farklı envanter-imalat senaryosu üzerinde çalışmış ve maliyetleri minimize etmeye yönelik modeller sunmuşlardır.

Mareeswaran ve Anandhi [2021], Hindistan'da pirinç türleri için Ekonomik Sipariş Miktarını belirlemek amacıyla çoklu öğeli bir model geliştirmiş, işleme ve tutma maliyetlerini hesaplamışlardır. Pal ve arkadaşları [2012] ise satış fiyatına bağlı olarak talebin azaldığı ve fiyat kırılma seviyesinin artışıyla talebin arttığı durumlar için deterministik bir EOQ modelini incelemiş ve optimal sipariş miktarları ile satış fiyatlarını belirlemiştir.

Yukarıda ele alınan çalışmalar, belirsizlik ve farklı üretim koşulları altında envanter ve üretim planlaması süreçlerini optimize etmeye yönelik katkılar sunmaktadır. Bu çalışmada, talep tahmini yapmak için ARIMA yöntemi kullanılarak bir optimizasyon modeli kurulmuştur. Tezin en önemli özgün yönü, talep tahmininde kullanılan yöntemin farklılığı ve bu yöntemin bir şirket ortamında uygulanmasıdır. Bu alışma, yalnızca teorik bir yaklaşım sunmakla kalmayıp, aynı zamanda gerçek dünya uygulamalarıyla desteklenmiştir. ARIMA yöntemi ile yapılan talep tahmini, şirketteki operasyonel süreçlerin iyileştirilmesi ve daha verimli bir stok yönetimi sağlanması amacıyla kullanılmıştır. Bu yöntemin şirkette uygulanması, teorik bulguların pratikle birleşmesini sağlamış ve elde edilen sonuçların doğruluğunu ve geçerliliğini pekiştirmiştir. Bu sayede, akademik literatüre yenilikçi bir katkı sunulurken, pratikte de uygulanabilir sonuçlar elde edilmiştir.

3. PROBLEM TANIMI

Bu çalışmanın amacı, işletmenin kâr oranını artırmak için stok maliyetlerini en aza indirgeyerek stok seviyesini belirlemek, belirli bir zaman periyodu için optimum sipariş adetini belirlemek ve müşteri hizmet kalitesini en yüksek seviyeye çıkarmaktır. Bunun için bir matematiksel model oluşturulacak ve modelde bağımsız değişken olarak sipariş miktarı talep tahmini yöntemi ile belirlenecektir. Bu çalışma sayesinde sipariş tahminine dayalı olarak firmanın satış adetleri de dikkate alınarak bir model kurulacaktır, böylece optimum çözüme ulaşılabacaktır.

Önerdiğimiz çalışma, yıldız ağında faaliyet gösteren bir perakende şirketinin tüm mağazalarındaki stok yönetimini optimize etmeyi hedeflemiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda, matematiksel bir model oluşturulmuş ve modelde sipariş miktarı bağımsız değişken olarak ele alınmıştır. Çok sayıda ürün için talep tahmini yöntemi ile belirlenen periyodik satış adetlerine dayalı olarak, belirsizlik içeren parametreleri tahminlenen bir model kurulmuştur. Bu çalışmanın sonucunda, tüm mağazalarda optimal sipariş politikasının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Optimal sipariş politikası, şirketin stok maliyetlerini en aza indirerek stok seviyesini belirlemeyi ve müşteri hizmet kalitesini en üst seviyeye çıkarmayı amaçlamaktadır. Bu çalışmanın sonuçları, yıldız ağındaki mağazaların stok yönetimi açısından daha etkili ve verimli olmalarına yardımcı olacaktır.

Yapılan çalışmada mağaza satışı buluna ürünlerin depolandığı ve ürün kabullerinin yapıldığı bir ana depo vardır. Bu ana depodan ürünler belirli aralıklarla mağazalara sevk edilmektedir. Mağazada ürünlerin satış adetlerini talep tahmini ile belirlenip sevkiyatın ne kadar olacağı matematiksel model ile hesaplanacaktır.

4. MODEL

Çalışmanın temel odak noktası, ana depoda depolanan ve belirli periyotlarla mağazalara sevk edilen ürünlerin satış adetlerini talep tahminleriyle belirleyerek, matematiksel bir model aracılığıyla sevkiyat miktarını optimize etmektir. Bu sayede, şirketin stok maliyetlerini en aza indirerek stok seviyelerini optimal bir düzeye çekmesi hedeflenmektedir.

Çalışmanın merkezinde, ana depoda depolanan ve belirli zaman aralıklarıyla mağazalara sevk edilen ürünlerin talep tahminleriyle satış adetlerinin belirlenmesi bulunmaktadır. Bu süreçte kullanılacak matematiksel bir model, sevkiyat miktarını en verimli şekilde düzenlemeyi hedefleyerek, şirketin stok maliyetlerini minimize etme ve stok seviyelerini optimize etme amacını gütmektedir. Aynı zamanda, bu yaklaşımın müşteri hizmet kalitesini en üst düzeye çıkararak müşteri memnuniyetini artırması beklenmektedir.

Çalışmada kullanılmış indeksler aşağıdaki gibidir;

- (i) $i \in \{1, \dots, N\}$ ürün modeli
- (ii) $t \in \{1, \dots, T\}$ planlama ufkündeki günler
- (iii) $m \in \{1, \dots, M\}$ mağazalar
- (iv) $r \in \{1, \dots, R\}$ sevkiyat rotaları

Karar değişkenleri şu şekildedir;

- (i) x_{tim} Tamsayı. t. Günde m mağazasına gidecek i ürünü sayısı
- (ii) y_{tr} $\{0,1\}$. t. gününde r rotasından sevkiyat çıkıp çıkmayacağı
- (iii) I_{tim} Tamsayı. t. günde mağazadaki envanter
- (iv) S_{tim} Tamsayı. t. günde mağazada satılan adet
- (v) V_{tmr-} Tamsayı.t günü m mağazasına r sevkiyatından tahsis edilen
□
kapasite

Tanımlı parametreler şunlardır;

- (i) d_{tim} - t günü m mağazasındaki i ürününün satış tahmin adedi
□
- (ii) p_{tim} - t günü m mağazasındaki i ürününün satış fiyatı
- (iii) f_{tr} - t gününde r rotasındaki sevkiyat maliyeti

- (iv) c_{tim} - t günü m mağazasındaki ürününün maliyeti
- (v) B - kamyonun adet kapasitesi
- (vi) M_r - r rotasının kapsadığı mağazalar
- (vii) R_m - m mağazasına teslimat yapılan rotalar
- (viii) h_{tim} - t günü m mağazasında i ürününün günlük stok tutma maliyeti

Önerilen tam sayılı programlama modeli aşağıdaki şekildedir

$$\begin{aligned}
 \max \quad & \sum_{t=2}^T \sum_{i=1}^N \sum_{m=1}^M p_{tim} \cdot s_{tim} - \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R f_{tr} \cdot y_{tr} - \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{m=1}^M c_{tim} \\
 & \cdot x_{tim} - \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{m=1}^M h_{tim} \cdot I_{tim}
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

Kısıtlar

$$\sum_{i=1}^n x_{tim} \leq \sum_{r \in R_m} v_{tmr} \quad t = 1, \dots, T \quad m = 1, \dots, M \tag{4.2}$$

$$\sum_{m \in M_r} v_{tmr} \leq B \cdot y_{tr} \quad t = 1, \dots, T \quad r = 1, \dots, R \tag{4.3}$$

$$I_{0im} = 0 \quad i = 1, \dots, N \quad m = 1, \dots, M \tag{4.4}$$

$$I_{(t-1)im} + x_{tim} - s_{tim} = I_{tim} \quad t = 1, \dots, T \quad i = 1, \dots, N, \quad m = 1, \dots, M \tag{4.5}$$

$$s_{tim} \leq d_{tim} \quad t = 1, \dots, T \quad i = 1, \dots, N, \quad m = 1, \dots, M \tag{4.6}$$

$$x_{tim} \in Z_+ \quad t = 1, \dots, T \quad i = 1, \dots, N, \quad m = 1, \dots, M \tag{4.7}$$

$$v_{tmr} \in Z_+ \quad t = 1, \dots, T \quad m = 1, \dots, M, \quad r = 1, \dots, R \tag{4.8}$$

$$y_{tr} \in \{0,1\} \quad t = 1, \dots, 180 \quad r = 1, \dots, R \tag{4.9}$$

$$x_{tim} \in Z_+ \quad t = 1, \dots, T \quad i = 1, \dots, N, \quad m = 1, \dots, M \tag{4.10}$$

$$I_{tim} \in Z_+ \quad t = 0, \dots, T \quad i = 1, \dots, N, \quad m = 1, \dots, M \tag{4.11}$$

(4.1) 'in ilk parçası ürün satışından elde edilen kar, ikinci parçası tüm günler ve mağazalar özelinde açılan sevkiyatların sabit maliyet toplamı, üçüncü parçası tüm günler ve mağazalar üzerinden yapılan ürünlerin maliyetlerin toplamıdır, dördüncü parçası ürünün mağazada günlük stok tutma maliyetidir.

Eşitsizlik (4.2)'ye göre planlama ufkundaki t gününde m mağazasına yapılan ürün teslimatlarının toplamı aynı gün için m mağazasına hizmet veren tüm taşıma turundan m mağazasına ayrılan kapasite tahsislerinin toplamını aşamaz. Eşitsizlik (4.3)'ye göre t günündeki r sevkiyatı eğer yapılırsa, bu sevkiyatı yapan aracın B ürünlük kapasitesi M_r ile ifade edilen bu turun uğradığı mağazalara tahsis edilecek şekilde paylaştırılır. Yine bu kısıta göre, eğer t gününde r sevkiyatı açılmazsa, bu durumda bu tur üzerinden mağazalara teslimat yapılmayacaktır. Eşitlik (4.4)'e göre mağazalardaki ilk stok 0'dır. Eşitlik (4.5)'e göre m mağazasının önceki günlük envanteri ve t gündeki mağazaya gelen üründen satılan adeti çıkardığımızda gün sonu mevcut envanterini verir. Eşitlik (4.6)' e göre her mağaza ürün ve gün için satış miktarının günlük talebi aşamayacağını anlatır. Eşitlik (4.7), (4.8) ve (4.10) ve (4.11)'a göre sevkiyat satış ve stok miktarlarının sıfırdan küçük değer alamayan tam sayılı değerler aldıklarını anlatır. Eşitlik (4.9) ile ifade edildiği üzere her gün için mağazalara sevkiyat kararları 0 veya 1 ile temsil edilen ikili kararlardır.

5. TALEP TAHMİNLERİ VE MODEL PARAMETRELERİ İÇİN VERİ ANALİZİ

Bu çalışmada talep tahmin için ARIMA zaman serisi analiz modeli uygulanmıştır. ARIMA modeli varsıysan bir değişkenin gelecekteki değerini çeşitli geçmiş gözlemler ve rastgele hatalar ile doğrusal bir fonksiyonla tahmin eder [Durdu, 2010]. ARIMA süreçleri zaman serilerini analiz etmek için kullanılan bazı stokastik süreçlerin birleşimidir. ARIMA modelinde zaman serisini gerçekleştirmek için öncelikle ham verilerin hazır olması ve verilere Dicky-Fuller gibi bazı testlerin yapılması, trendin belirlenmesi ve veri setinin istatistiklerinin bulunması gerekir [Chyon vd., 2022]. Bir ARIMA modeli genel olarak (p, q, d) şeklinde gösterilir; burada p otoregresif sayısını, q , hareketli ortalama terimlerin sayısını ve d , durağanlık için gereken farkların sayısını gösterir [Jiang vd., 2018]. ARIMA modelini uygulamanın ilk adımı zaman serilerinin tanımlanmasıdır. Arttırılmış Dicky-Fuller birim kök testi, veri kümesinin durağan olup olmadığı gösterir. Birim kök mevcutsa zaman serisinin durağan olmadığı kabul edilir. Zaman serisinin korelogramı, otokorelasyon fonksiyonu (ACF) ve kısmi otokorelasyon fonksiyonu (PACF), gecikmeler hakkında bilgi sağlar [Ediger and Akar, 2007].

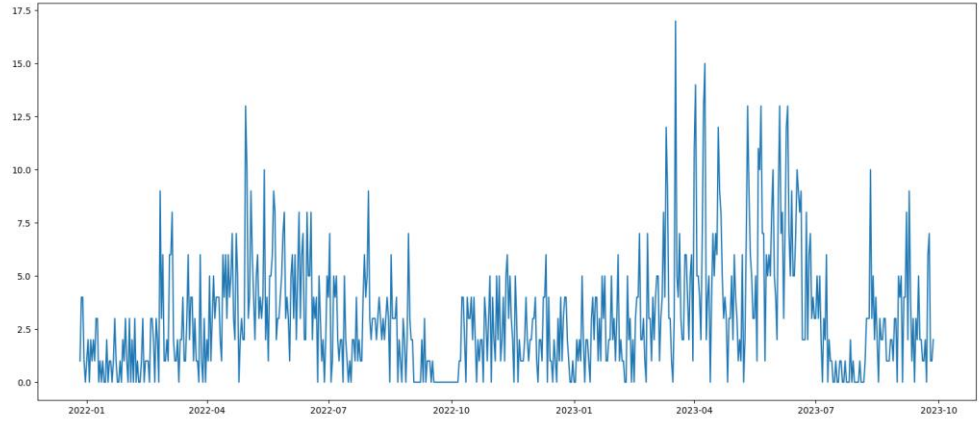
Zaman serisinin durağan olması durumunda model tahmin edilebilir, teşhis edilebilir ve tahmin yapılabilir. Aksi halde veri setinin farkı alınarak durağan hale getirilir ve ARIMA bu işlemten sonra uygulanır [Dey vd., 2023]. ARIMAX modelleri, zaman serisi analizi için kullanılan istatistiksel bir modelleme yaklaşımını temsil eder. Bu modeller, ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) modellerine benzer, ancak dışsal (exogenous) değişkenlerin de dahil edilebildiği bir genişlemedir. Eksojen değişkenler, zaman serisinin içinde doğrudan etkisi olmayan, ancak tahmin performansını artırmak veya belirli olayların etkilerini modele dahil etmek için kullanılan dışsal değişkenlerdir. Örneğin, bir satış tahmin modelinde hava durumu verileri, tatil günleri veya tanıtım kampanyaları gibi dışsal faktörler eksojen değişkenler olarak kullanılabilir. ARIMA modelleri, dışsal değişkenleri doğrudan ele alamazlar. ARIMAX modelleri, ARIMA'nın bu kısıtlamasını aşar ve modelin dışsal değişkenleri içermesine izin verir. Bu dışsal değişkenler, modelin tahmin performansını artırmak veya belirli olayların etkilerini modellemek için kullanılabilir.

ARIMAX modelleri genellikle ekonomi, finans, meteoroloji ve diğer alanlarda kullanılan zaman serisi verilerini analiz etmek için kullanılır.

Özetle, ARIMAX modelleri, ARIMA modellerine benzer, ancak dışsal değişkenleri içerebilen bir zaman serisi analizi yaklaşımıdır. Bu modeller, özellikle dışsal faktörlerin önemli olduğu durumlarda kullanışlı olabilir. Bu şekilde, ARIMAX modelleri, sadece geçmiş değerlere dayalı tahmin yapmakla kalmaz, aynı zamanda dışsal faktörleri de dikkate alarak daha etkili ve hassas tahminler sunabilir. Perakende sektöründe talep tahmininde özel gün ve hafta sonu etkisi genellikle görülür. İnsanların hafta sonlarında daha fazla boş zamanı olduğu için alışveriş yapmaya daha fazla eğilim gösterirler. Bu nedenle perakende işletmeleri genellikle hafta sonlarına yönelik özel promosyonlar ve etkinlikler düzenlerler. ARIMAX modelinde özel günlerin etkisi, genellikle durağanlık ve mevsimsellik bileşenlerinin yanında dikkate alınır. Özel günler, tatiller, indirim etkinlikleri gibi faktörler perakende sektöründe satışları etkileyebilir. ARIMA modelinde bu tür özel günler genellikle bir dizi içindeki belirli dönemler olarak tanımlanır ve modelleme sürecinde bu faktörlerin etkisi dikkate alınır. Bu etkiler, tahminlerin daha doğru olmasına yardımcı olabilir ve satış trendlerini daha iyi anlamımıza olanak sağlar.

Bu uygulamada 3 mağaza 4 ürün ele alınmıştır. Mağazalar A, B, C harfleri ile belirtilmiştir. Ürünler model1, model2, model3 ve model4 kelimeleri ile ifade edilmiştir. Her mağaza ürün için günlük satış adetlerini tahmin etmek amaçlanmıştır. Her mağaza model için ayrı ayrı veri seti incelenmiş, birim kök testi yapılmış ve uygun bir ARIMA modeli ile tahmin sonuçları elde edilmiştir. Bu tahmin sonuçlarında özel gün etkisi dikkate alınarak yapılmıştır.

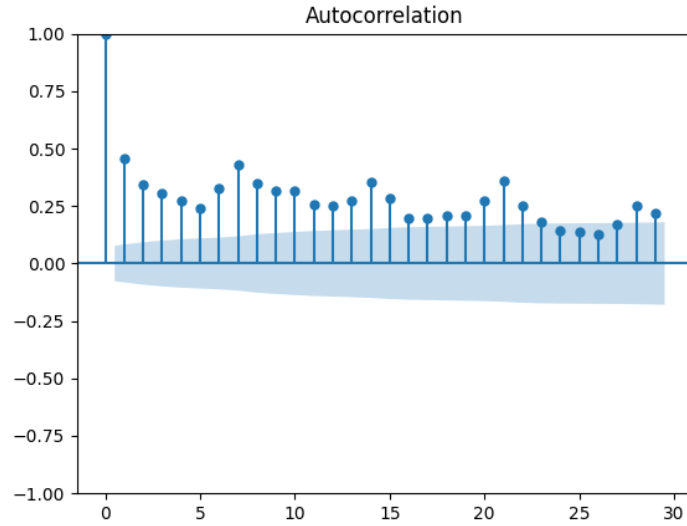
Örnek olarak C mağazası ve model2 ürünü için son iki yıllık satış adet verileri toplanmıştır. Bu veri seti için çizgi grafiği oluşturulmuştur.



Şekil 5.1:Satış Adeti Çizgi Grafiği

Elde edilen bu grafitten veri setinin durağan olmadığı ve mevsimsellik olduğu gözlemlenmektedir. Bu grafikten aynı zamanda veri setinin trend olup olmadığını gözlemleyebiliriz. Veri setinden yılın bazı dönemlerinde trendin mevcut olduğu gözlemlenmiştir.

Veri seti için ACF grafiği oluşturulmuştur.



Şekil 5.2:Satış Adeti ACF Grafiği

Bu grafiğe göre veriler güvenli bölge aralığında olmadığından veri setinin durağan olmadığı aynı zamanda mevsimsellik içerdiği gözlemlenmiştir. Veri setine uzun vadeli baktığımızda sürekli bir azalış olduğundan trend var diyebiliriz.

Verilerin durağan olup olmadığını bilimsel bir yöntem ile anlamak için veri setine KPSS ve ADF testleri uygulanmıştır.

Tablo 5.1:Satış Adeti Verisi için Augment Dickey-Fuller Testi Sonucu

AÇIKLAMA	DEĞER
Test istatistiği	-2.440
P-değeri	0.131
Gecikmeler	20
Trend	Devamlı
Kritik Değerler	-3.44(%1),-2.87(%5),-2.57(%10)
Sıfır hipotezi	Süreç bir birim kök içeriyor
Alternatif hipotez	Süreç zayıf durağandır.

Tablo 5.2:Satış Adeti Verisi için KPSS Stationary Testi Sonucu

AÇIKLAMA	DEĞER
Test istatistiği	0.491
P-değeri	0.042
Gecikmeler	13
Trend	Devamlı
Kritik Değerler	0.74 (%1),0.46 (%5),0.35(%10)
Sıfır hipotezi	Süreç zayıf durağandır.
Alternatif hipotez	Süreç bir birim kök içeriyor

Bu mağaza model için satış adeti veri setinin ADF testine göre;

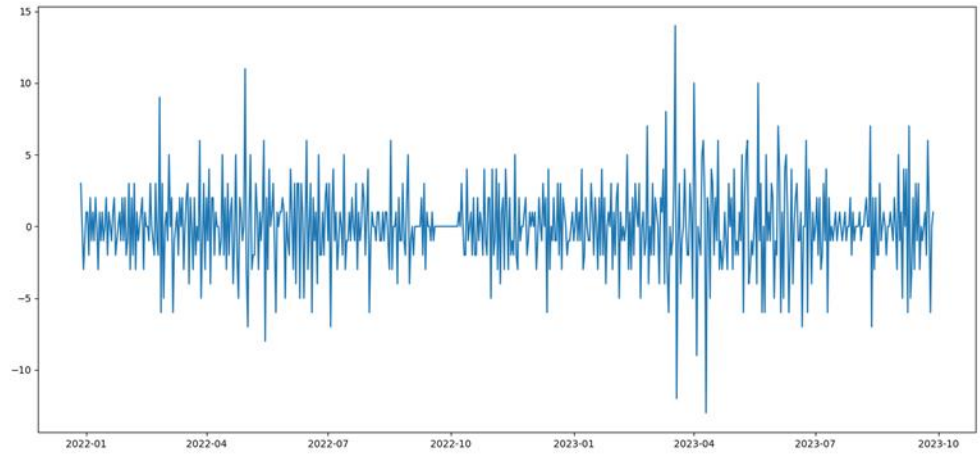
P değeri 0,131 çıkmıştır. Bu değer 0,05'ten büyük olduğundan dolayı H_0 hipotezi reddedilemez. Bundan dolayı proses birim kök hücresi içerir. Bu da veri setinin durağan olmadığını göstermektedir.

KPSS testine göre;

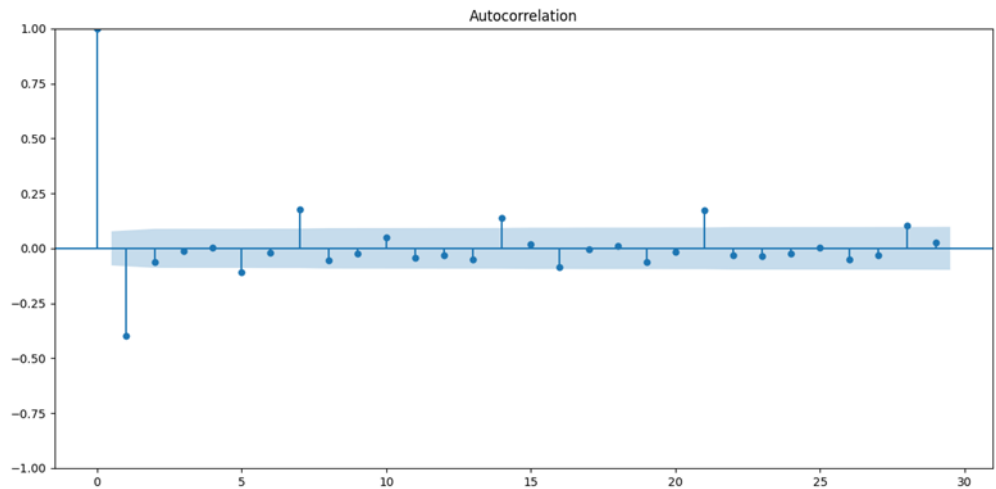
P değeri 0,042 çıkmıştır. Bu değer 0,05'ten küçük olduğundan dolayı H_0 hipotezi reddedilebilir. H_0 hipotezi reddedildiğinden alternatif hipoteze bakılır. Alternatif hipoteze bakıldığında proses kök hücre içermektedir. Bu da veri setinin durağan olmadığını göstermektedir.

Veri seti durağan olmadığından serini 1. Dereceden farkları alınarak durağan hale getirilmeye çalışılmıştır.

Farkı alınmış veri setini çizgi grafiği ve ACF grafikleri oluşturulmuştur.



Şekil 5.3:Fark Alınmış Veri Çizgi Grafiği



Şekil 5.4:Fark Alınmış Veri ACF Grafiği

Farkı alınmış serinin acf grafiğine baktığımızda veriler mavi bölge içerisinde güven aralığından olduğundan veri setini durağan olarak gözlemleyebiliriz. Farkı alınmış veri seti için durağan olup olmadığını tespit etmek için tekrar ADF ve KPSS testleri uygulanmıştır.

Tablo 5.3:Farkı Alınmış Satış Adeti Verisi için Augment Dickey-Fuller Testi Sonucu

AÇIKLAMA	DEĞER
Test istatistiği	-8.919
P-değeri	0.000
Gecikmeler	19
Trend	Devamlı
Kritik Değerler	-3.44 (%1),-2.87 (%5),-2.57(%10)
Sıfır hipotezi	Süreç bir birim kök içeriyor
Alternatif hipotez	Süreç zayıf bir şekilde durağandır

Tablo 5.4:Farkı Alınmış Satış Adeti Verisi için KPSS Stationary Testi Sonucu

AÇIKLAMA	DEĞER
Test istatistiği	0.067
P-değeri	0.768
Gecikmeler	66
Trend	Devamlı
Kritik Değerler	0.74 (%1),0.46 (%5),0.35(%10)
Sıfır hipotezi	Süreç zayıf bir şekilde durağandır
Alternatif hipotez	Süreç bir birim kök içeriyor

ADF testine göre p değeri 0,05'ten küçük olduğundan H0 hipotezi reddedilerek alternatif hipoteze bakılabilir. Alternatif hipoteze göre Proses durağandır.

KPSS testine göre p değeri 0,05'ten büyük olduğundan H_0 hipotezi reddedilemez. H_0 hipotezine göre veri seti durağandır.

Sonuç olarak veri setinin 1 dereceden farklı alınarak durağan hale getirilmiştir. Satış adetleri tahmininde özel gün etkisi de dikkate alınmıştır. Python programında satış tahmini için auto-arima fonksiyonu kullanılmıştır. En iyi ARIMA modelini bulmak için AIC ve BIC kriterlerine göre değerlendirilmiştir. En küçük AIC değerine göre ve BIC değerine göre aşağıda görüldüğü üzere en uygun ARIMA modeli ARIMA (1,1,1) olarak belirlenmiştir.

AIC ve BIC'nin amacı, Akaike Bilgi Kriteri (AIC) ve Bayes Bilgi Kriteri (BIC), bir modelin performansını değerlendirirken hem modelin veriyi ne kadar iyi açıkladığını uyum hem de modelin ne kadar karmaşık olduğunu dikkate alır. Modelin uyumu ne kadar iyi olursa ve karmaşıklığı ne kadar düşük olursa, AIC ve BIC değerleri o kadar düşük olur.

Model performansı ve karmaşıklık dengesi, AIC ve BIC değerlerinin düşük olması, modelin yeterince iyi bir uyum sağladığını ve gereksiz karmaşıklıktan kaçındığını gösterir. Karmaşık modeller genellikle aşırı uyuma yol açar, bu da modelin genelleme kabiliyetini düşürür. Aşırı uyum, modelin eğitim verisinde çok iyi performans göstermesine rağmen, yeni veri üzerinde zayıf performans sergilemesine neden olabilir. En küçük değerin seçilmesi, en küçük AIC ve BIC değerine sahip model, diğer modellere kıyasla daha iyi bir uyum-karmaşıklık dengesine sahip olduğu için tercih edilir. Bu, modelin hem veriyi iyi açıklamasını hem de gereksiz parametrelerle karmaşık hale gelmemesini sağlar. Dolayısıyla, model seçimi yapılırken AIC ve BIC değerlerinin en düşük olduğu model tercih edilmelidir, çünkü bu model, veriyi açıklama ve genel geçerliliği sağlama konusunda en iyi dengeyi sunar.

Tablo 5.5:Fark Alınmış Veri AIC Değerleri

Model	AIC Değeri	Zaman (sn)
ARIMA(2,1,2)(0,0,0)[0]	2913.558	0.43
ARIMA(0,1,0)(0,0,0)[0]	3175.842	0.03
ARIMA(1,1,0)(0,0,0)[0]	3068.187	0.09
ARIMA(0,1,1)(0,0,0)[0]	2924.544	0.12
ARIMA(0,1,0)(0,0,0)[0]	3173.842	0.02
ARIMA(1,1,2)(0,0,0)[0]	2911.497	0.43
ARIMA(0,1,2)(0,0,0)[0]	2909.879	0.19
ARIMA(0,1,3)(0,0,0)[0]	2911.369	0.37
ARIMA(1,1,1)(0,0,0)[0]	2909.564	0.24
ARIMA(2,1,1)(0,0,0)[0]	2911.466	0.26
ARIMA(2,1,0)(0,0,0)[0]	3024.290	0.13
ARIMA(1,1,1)(0,0,0)[0]	2907.583	0.09
ARIMA(0,1,1)(0,0,0)[0]	2922.553	0.06
ARIMA(1,1,0)(0,0,0)[0]	3066.187	0.03
ARIMA(2,1,1)(0,0,0)[0]	2909.485	0.14
ARIMA(1,1,2)(0,0,0)[0]	2909.516	0.21
ARIMA(0,1,2)(0,0,0)[0]	2907.897	0.10
ARIMA(2,1,0)(0,0,0)[0]	3022.290	0.07
ARIMA(2,1,2)(0,0,0)[0]	2911.578	0.17

Tablo 5.6:Fark Alınmış Veri BIC değerleri

Model	BIC	Zaman (sn)
ARIMA(2,1,2)(0,0,0)[0]	2940.317	0.92
ARIMA(0,1,0)(0,0,0)[0]	3184.761	0.03
ARIMA(1,1,0)(0,0,0)[0]	3081.567	0.15
ARIMA(0,1,1)(0,0,0)[0]	2937.924	0.16
ARIMA(0,1,0)(0,0,0)[0]	3178.302	0.05
ARIMA(1,1,1)(0,0,0)[0]	2927.403	0.32
ARIMA(2,1,1)(0,0,0)[0]	2933.796	0.58
ARIMA(1,1,2)(0,0,0)[0]	2933.796	0.58
ARIMA(0,1,2)(0,0,0)[0]	2927.719	0.30
ARIMA(2,1,0)(0,0,0)[0]	3042.129	0.22
ARIMA(1,1,1)(0,0,0)[0]	2920.963	0.18
ARIMA(0,1,1)(0,0,0)[0]	2931.472	0.13
ARIMA(1,1,0)(0,0,0)[0]	3075.107	0.07
ARIMA(2,1,1)(0,0,0)[0]	2927.324	0.23
ARIMA(1,1,2)(0,0,0)[0]	2927.356	0.33
ARIMA(0,1,2)(0,0,0)[0]	2921.277	0.17
ARIMA(2,1,0)(0,0,0)[0]	3035.670	0.13
ARIMA(2,1,2)(0,0,0)[0]	2933.878	0.29

Aşağıda ARIMA modelinin sonuç tablosu gösterilmektedir. Tablodan görüldüğü üzere en uygun model (1,1,1)'dir. Sonuç tablosuna göre ar değerinin katsayısı 0.1 ma

değerinin katsayısı-0.8 bu değerlerinin güven aralıkları 0,05'ten küçük olduğundan anlamlıdır.

SARIMAX Results						
=====						
Dep. Variable:	y	No. Observations:	610			
Model:	SARIMAX(1, 1, 1)	Log Likelihood	-1380.225			
Date:	Mon, 12 Feb 2024	AIC	2766.450			
Time:	10:25:57	BIC	2779.686			
Sample:	12-27-2021	HQIC	2771.599			
	- 08-28-2023					
Covariance Type:	opg					
=====						
	coef	std err	z	P> z	[0.025	0.975]

ar.L1	0.1941	0.039	4.987	0.000	0.118	0.270
ma.L1	-0.8979	0.022	-41.577	0.000	-0.940	-0.856
sigma2	5.4343	0.193	28.112	0.000	5.055	5.813
=====						
Ljung-Box (L1) (Q):	0.01	Jarque-Bera (JB):	380.59			
Prob(Q):	0.94	Prob(JB):	0.00			
Heteroskedasticity (H):	1.83	Skew:	1.08			
Prob(H) (two-sided):	0.00	Kurtosis:	6.21			
=====						

Şekil 5.5:Fark Alınmış Veri SARIMAX Bilgileri

Python programında tahmini satış adetleri bulunduktan sonra gerçek satış adetleri ile bir performans ölçümü yapılmıştır. Bu performans ölçümü için MSE (Mean Squared Error) yöntemi kullanılmıştır.

Belirli bir veri seti üzerinde istatistiksel öğrenme yönteminin performansını değerlendirmek için tahminlerinin gerçekte gözlemlenen verilerle ne kadar iyi eşleştiğini ölçecek bir yola ihtiyacımız var. Yani belirli bir gözlem için tahmin edilen yanıt değerinin o gözlem için gerçek yanıt değerine ne ölçüde yakın olduğunu ölçmemiz gerekir. Regresyon ayarında en çok kullanılan ölçü ortalama ile verilen ortalama kare hatasıdır (MSE).

Bu çalışmada MSE değerleri her mağaza ürün olarak hesaplanmıştır.

Tüm mağaza modeller için ARIMA modeli ve MSE değerleri aşağıdaki gibi gösterilmiştir.

Tablo 5.7:ARIMA Sonuç Tablosu

MAĞAZA	MODEL	ARIMA MODELİ	MSE DEĞERİ
A	Model1	ARIMA(1,1,1)	4,20
A	Model2	ARIMA(2,1,4)	5,36
A	Model3	ARIMA(2,1,3)	0,72
A	Model4	ARIMA(1,1,2)	18,13
B	Model1	ARIMA(0,1,1)	3,59
B	Model2	ARIMA(2,1,3)	4,17
B	Model3	ARIMA(1,0,1)	0,88
B	Model4	ARIMA(1,0,1)	3,25
C	Model1	ARIMA(1,0,3)	4,17
C	Model2	ARIMA(1,1,1)	6,71
C	Model3	ARIMA(1,0,1)	1,06
C	Model4	ARIMA(0,1,5)	31,74

Modelde kullanılan sabit parametreler vardır. f (sevkiyat maliyeti) , her bir rota için farklılık göstermekte olup, depo ile mağazalar arasındaki kilometre cinsinden uzaklık dikkate alınarak hesaplanmıştır. Bu veriler, firmanın lojistik biriminden elde edilen taşıma maliyetleri doğrultusunda belirlenmiştir. p (satış fiyatı), her bir ürün için farklı olup, sezon boyunca sabit kalmaktadır. Bu fiyatlar, firmanın satış ve pazarlama birimi tarafından piyasa koşulları göz önünde bulundurularak sabitlenmiştir. c (ürün maliyeti), her bir ürün için farklıdır ve sezon boyunca ürün başına maliyet değişmemektedir. Bu maliyetler, firmanın tedarik zinciri ve maliyet muhasebesi birimlerinden sağlanan veriler doğrultusunda belirlenmiştir. B (araç kapasitesi), depodan çıkan aracın adet kapasitesini ifade eden ve sabit bir değer olan bir parametredir. Bu kapasite, firmanın lojistik departmanından elde edilen taşıma araçlarına ait kapasite verilerine dayanmaktadır ve taşıma kapasitesi değişmemektedir. Çalışmada, taşıma maliyetleri ve kapasite sınırlamaları nedeniyle, tüm ürünler yerine sınırlı sayıda ürünün gerçek talep düzeyleriyle analiz edilmesi tercih edilmiştir. Bu yüzden, incelemeler küçük ölçekli olarak gerçekleştirilmiş. h (günlük stok tutma maliyeti), stokta tutulan her bir ürün için günlük olarak hesaplanan maliyettir ve her bir ürün için farklı olabilir. Bu maliyetler, firmanın depolama ve envanter yönetimi biriminden alınan veriler doğrultusunda hesaplanmıştır. Optimizasyon hesaplamalı sonuçları için bahsedilen parametrelerin değerleri ve açıklamaları Tablo8’de sunulmuştur.

Tablo 5.8: Optimizasyonda kullanılan parametreler

Parametre	Açıklama	Değer
T	Optimizasyonun gerçekleştirildiği toplam dönem sayısı	100
M	Modelde yer alan mağaza sayısı	3
I	Modeldeki toplam ürün sayısı	4
R	Modelde kullanılan rota sayısı	7
B*	Teslimatlar için kamyon kapasitesi, sabittir	200 adet
p	Ürün satış fiyatı	Tablo 9, Fiyat
c	Ürünlerin satın alma maliyeti	Tablo 9, Alış Maliyeti
h*	Envanterde tutma maliyeti	5 TL
f	Rotalardan teslimat maliyeti	Tablo 10

Bu çalışma kapsamında mağazada bulunan çok sayıda ürün modelinden yalnızca dört tanesi ele alındığı için, teslimatların kapasitesi ve Tablo 10’da gösterilen sabit maliyetler, küçük ölçekte varsayılarak kabul edilmiştir. Envanter maliyeti, mağaza ve modelden bağımsız olarak sabit olarak kabul edilmiş olup, tabloda verilen $h_{tim} = h$ değeri kullanılarak hesaplamalarda uygulanmıştır.

Tablo 5.9:Ürün Fiyat ve Maliyetleri

Ürün	Alış Maliyeti (c_i^*)	Stokta Tutma Maliyeti (h)	Fiyat (p_i)
Model1	483,87 TL	5	1620 TL
Model2	456,99 TL	5	1530 TL
Model3	1364,95 TL	5	2729 TL
Model4	1124,45 TL	5	2453,1 TL

Sezonluk olarak ve mağazalar için fiyatın sabitlenmesinden ötürü $p_{tim} = p_i$, ve alışta da benzer fiyat sabitlemesi bulunduğundan $c_{tim} = c_i$ olarak tabloda verildiği değerleriyle hesaplamada kullanılmaktadır.

Tablo 5.10: Teslimat Rotalarının Kapsadığı Mağazalar ve (Sabit) Teslimat Maliyetleri

Rota	1	2	3	4	5	6	7
Kapsanan Mağaza	C	B	A	A, B	A, C	C, B	A, B, C
Maliyet (f _r)	140 TL	160 TL	200 TL	280 TL	300 TL	240 TL	340 TL

Belirlenen parametreler doğrultusunda optimizasyon hesaplamaları gerçekleştirilmiş olup, elde edilen sonuçlar bir sonraki bölümde sunulmaktadır. Bu kapsamda, modelin çıktıları ve analizleri detaylandırılarak değerlendirilecektir.

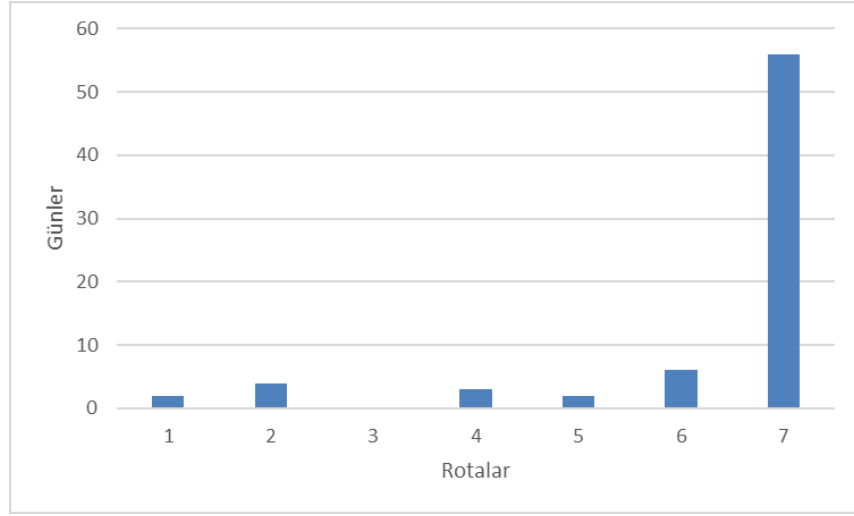
6. HESAPLAMALI SONUÇLAR

Bu çalışmada, belirli kısıtlar altında Python ile modellenen bir optimizasyon çözümünün geliştirilmesi hedeflenmiştir. Geliştirilen model, hangi gün ne kadar araç çıkışının yapılacağını belirlemektedir. Bu kod, stok yönetimi için bir optimizasyon problemi oluşturmakta ve çözmektedir. Öncelikle, belirli bir süre boyunca çeşitli mağazalar ve ürün modelleri için stok yönetimi yapılması gerektiği varsayılmıştır. Bu doğrultuda, mağazaların stoklarını, siparişlerini ve satışlarını optimize etmek amaçlanmıştır. Lineer programlama teknikleri kullanılarak envanter kararları, sipariş miktarları ve stok seviyeleri optimize edilmeye yönelik bir problem formüle edilmiş ve çözülmüştür. Mağaza envanter yönetimi ve dağıtım optimizasyonu için doğrusal programlama modeli, Python 3.10 ve Gurobi 11 yazılımları kullanılarak geliştirilmiş olup, Intel Core i5 12400 işlemcili bir bilgisayar ve 24 GB RAM donanımı üzerinde optimize edilmiştir. Model, her gün için ayrı ayrı optimize edilmiş ve farklı optimizasyon pencere uzunlukları (3, 5, 10, 15, 30, 45, 60 gün) için sonuçlar hesaplanarak karşılaştırılmıştır.

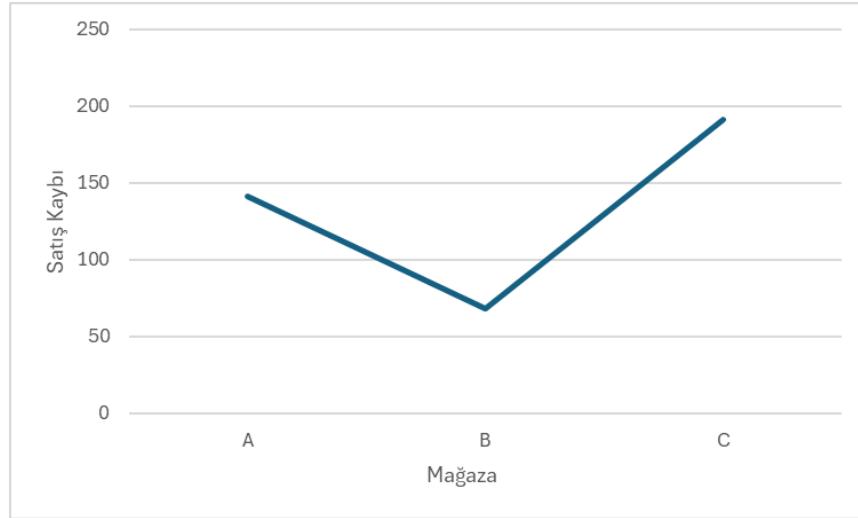
Tüm optimizasyon hesaplama pencereleri için benzer kararlar ortaya çıktığı için sonuçları 15 günlük hesaplama penceresi üzerinden genellenecektir. Bazı modellerde %6 gibi düşük bazı modellerde %35 gibi yüksek satış kaybı oranı görülmektedir. Düşük satış kaybı olan mağaza modeller için hacimli satış söz konusu, bir süre stabil yüksek satış miktarları söz konusu, takiben hiç satış yapılmayan veya tek tük satış yapılan aralıklar vardır, fakat bu aralıklar da stabil devam etmektedir. Bu durumda ARIMA model tahmini başarısı, tahmin edilebilirlik ile süreklilik birleşiyor ve optimizasyonun sağladığı ikmal politikası çok düşük satış kayıplarıyla talebi karşılıyor. Örnek olarak C mağazası Model1 için satış kaybı %4'tür.

Rotaların kullanım sıklıkları dikkate alındığında, optimizasyonun üç mağazaya ortak rotadan sevkiyat çıkararak tasarrufa yönelmesi baskın strateji olarak görülmektedir. 100 test günü içinde 56 gün üç mağazaya ortak sevkiyat sağlayan rotadan sevkiyat çıkarılmıştır. Bunun dışında en fazla sevkiyat 6 gün ile B ve C mağazalarına teslimat yapan rotadır. Bu durumda, diğer rotalar da dikkate alındığında toplamda 73 gün sevkiyat olmuş, yani her 4 günün üçünde sevkiyat çıkmıştır. Burada sık envanter ikmalleri olduğu değerlendirilebilir. Bu sevkiyatlarda bir ürün için ikmal yapılabildiği

gibi iki veya daha fazla ürün için de ikmal yapılmıştır. Rotaların kullanım adetleri Şekil 6.1’de gösterilmektedir.



Şekil 6.1: Rotaların Kullanım Adetleri



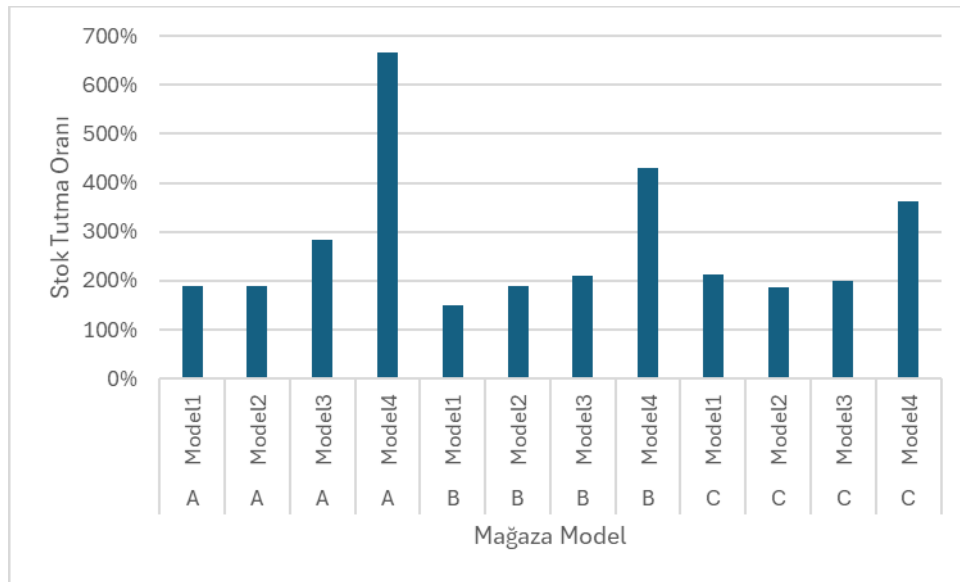
Şekil 6.2: Mağazaların Toplam Satış Kaybı

Tüm mağazalar için toplam satış kayıpları Şekil 6.2’de gösterilmektedir. Yüksek satış kaybı olan mağaza modeller için C mağazası Model3 çok az satış miktarına sahip ve bu da düzenli gitmemektedir. Hiç satış olmayan aralıklardan sonra sadece bir gün bir adet satış olan durumlar yaygındır. Burada bugünün tahmini zor olduğu gibi, optimal ikmal politikası bu uzun ve belirsiz aralıkta envanter maliyetine katlanmak yerine satış kaybına göreceli olarak daha fazla ağırlık veriyor. Yüksek satış kayıplarının olduğu bir diğer durum %32 ile C mağazası Model1 ürünü içindir. Burada çok uzun aralıklarda

ürün satmıyor, ama sonrasında ani çok yüksek miktarlarda günlük satışlar söz konusu. Burada ani satış patlamalarının tahmin edilmezliği ve satış süreci başladığında tahmin yönteminin adaptasyon süreci ikmal politikasına yüksek satış kayıp oranı olarak yansıyor. Tüm mağaza modeller için özet sonuçlar Tablo 6.1’de özetlenmektedir.

Tablo 6.1: Tüm Mağaza Modeller için Sonuçlar

Mağazalar	Modeller	Toplam Satış Kaybı	Toplam Satış	Toplam Stok	Toplam Talep
A	Model1	13	195	368	208
A	Model2	14	245	462	259
A	Model3	9	32	91	41
A	Model4	105	294	1958	399
B	Model1	16	303	457	319
B	Model2	9	239	452	248
B	Model3	13	35	74	48
B	Model4	30	240	1031	270
C	Model1	7	182	389	189
C	Model2	15	221	413	236
C	Model3	15	28	56	43
C	Model4	154	320	1162	474



Şekil 6.3: Tüm Mağaza Modeller için Stok Tutma Oranları

Bir talebin karşılanması için söz konusu üründen kaç gün-adet stok tutulması gerektiği değerlendirildiğinde bir satış başına %151-%666 gibi bir aralık ortaya çıkmaktadır (Şekil 6.3). Yani bir satış başına sıklıkla iki gün ortalamada ürün stokta tutulmakta,

fakat bir satış için ortalamada bir ürünün beş gün stokta tutulduğu mağaza model kombinasyonları da bulunmaktadır. Yaklaşık her dört günün üçünde sevkiyat olduğu dikkate alındığında ürünlerin ortalamada 2 gün stokta bekleyip satılmaları ikmal stratejisinin makul bir karşılığı olarak görülmektedir. Talebin yüksek hacimli ve sürekli olduğu, örneğin B mağazası Model1, gibi durumlarda optimal ikmal politikası verimli bir envanter düzeyi izlemektedir. Burada tahminin başarısı optimal stratejinin başarısı ile birleşmekte, düşük envanter tutulmasına rağmen düşük satış kayıp oranları başarılmaktadır. B mağazasının Model1 ürününde 100 günde toplam 303 ürün satılırken bir ürün ortalama 1,5 gün stokta durduktan sonra satılmaktadır. Yine envanter açısından başarılı bir örnek C mağazasının Model2 ürünüdür. Burada hacimli ve uzun süre devam eden satışlar söz konusudur, fakat belli aralıklarda talep kesintiye uğramaktadır. Burada da optimal ikmal politikası düşük satış kayıp oranlarını verimli bir ikmal politikasıyla, bir ürünü satılmadan ortalama 1,9 gün rafta tutarak sağlamıştır. Satış kaybında göreceli olarak başarısız bir oranın ortaya çıktığı C mağazası Model3, envanter bakımından göreceli olarak başarılı bir politika ile ele alınmakta, bir ürün satılmadan ortalama 2 gün stokta beklemektedir. Nadir gerçekleşen satışlar biraz gecikmeli ve satış kaybına neden olsa da envanter bakımından verimli ikmallerle karşılanmaktadır.

Uzun hiç satış olmayan aralıklardan yüksek hacimli ama oynak satış düzeylerinin gözlemlendiği süreçlere geçilen Model4'te optimal ikmal politikası envanter tutmak bakımından göreceli olarak verimsizdir. A mağazada bu model ortamda 6,7 gün stokta bekledikten sonra satılmaktadır, B mağaza için bu değer 4.3'tür. Bunu optimal ikmal politikasının bir başarısızlığı olarak değerlendirmiyoruz. Tahmin yöntemi açısından da benzer şekilde, hacmin düştüğü ve yükseldiği süreçlere adaptasyon sağlarken ani değişimler içeren her örüntüyü birebir kapsamak gerekmediği gibi, optimizasyon modeli de ileriye yönelik talep artışlarını dikkate alıp ikmal artışlarını sağlamaktadır. Talebin yüksek değişkenliği ve hacmini karşılamak satış kaybetmemek adına yüksek envanter tutmayı gerektirdiği için optimal ikmal politikasının geçerli bir yaklaşım ortaya koyduğu değerlendirilmektedir. Özellikle B mağazası Model4 için göreceli olarak düşük satış kayıpları bu yüksek envanter tutma yaklaşımı ile başarılmıştır.

En çok satan ve en iyi tahmin edilen ürün aynı zamanda talep örüntüsü en zorlu olan üründür. Optimal strateji burada satışı korumak ve ikmal/stok maliyetleri arasında denge sağlamak adına bir yaklaşım getirmektedir. Örüntünün kolaylaştığı diğer

durumlarda tahmin her zaman en düşük hata düzeyini sağlamasa da optimizasyonun ele alınan kriterler açısından başarılı bir denge oluşturduğu gözlemlenmektedir.

7. SONUÇ

Bu çalışmada, perakende sektöründe stok yönetimi etkinliğini artırmaya yönelik bir yaklaşım ortaya konmuştur. Tarihsel satış ve stok verileri incelenmiş, çeşitli dönemlerde stok, satış ve sevkiyat miktarlarının uyumu değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, stok yönetimi süreçlerinin etkinliğinin, isabetli satış tahmini, satışları tam olarak karşılayacak stok seviyelerinin sağlanması ve lojistik süreçlerin optimal şekilde yönetilmesi ile doğrudan ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Çalışmada, stokların satışları karşılaması ve sevkiyat süreçlerinin etkinliği, başarılı bir stok yönetiminin temel göstergeleri olarak belirlenmiştir. Optimizasyon süreci kapsamında, envanter ve lojistik süreçleri doğrusal programlama ile modellenmiş ve farklı hesaplama pencereleri için sonuçlar değerlendirilmiştir. Perakende sektöründe etkin stok yönetimi için doğru talep tahminlerinin yapılmasının, stok seviyelerinin optimize edilmesinde ve sevkiyat süreçlerinin dikkatlice planlanmasında kritik öneme sahip olduğu vurgulanmıştır.

Ele alınan tahmine entegre optimizasyon yaklaşımı, perakende sektöründe stok yönetimi ve satış tahminleri konusunda çeşitli durumlar altında etkili sonuçlar sağlamıştır. ARIMA modelinin başarısı, tahmin ve optimizasyon unsurlarının entegrasyonu ile pekiştirilmiş; özellikle yüksek satış hacimleri sonrası ani satış düşüşleri ve yüksek hacim değişkenliği gösteren modellerde lojistik maliyeti, envanter düzeyleri ve satış kayıpları başarıyla dengelenmiştir. Uzun ve belirsiz satış dönemlerine ve satış olmayan aralıklara adapte olma zorluklarına rağmen, tahmin metodolojisinin ve optimizasyon sürecinin entegrasyonu sayesinde, envanter düzeyleri düşük tutulabilmiştir. Bu bağlamda, tahmine dayalı optimizasyon yaklaşımının, değişken talep paternlerine ve zorlu pazar koşullarına etkin bir şekilde yanıt verdiği ve stok yönetimi ile lojistik süreçlerin başarısını artırdığı gözlemlenmiştir. Geliştirilen model, işletmelerin operasyonel verimliliklerini artırarak rekabet avantajı sağlamaya yöneliktir. Ayrıca, tahmin ve optimizasyon tekniklerinin entegrasyonunun, analitik planlama yaklaşımlarında başarıyı nasıl artırabileceğine dair içgörüler sunmaktadır.

KAYNAKLAR

- Michalski G., (2008), “Value-Based Inventory Management”, *Romanian Journal of Economic Forecasting*, 9, 82-90.
- Hill R. M., Pakkala T. P. M., (2007), “Base stock inventory policies for a multi-item demand process”, *International Journal of Production Economics*, 109, 137-148.
- Demizu T., Fukazawa Y., Morita H., (2023), “Inventory management of new products in retailers using model-based deep reinforcement learning”, *Expert Systems with Applications*, 229, 120256.
- Piltan M., Shiri N., Ghaderi S. F., (2012), “Energy demand forecasting in Iranian metal industry using linear and nonlinear models based on evolutionary algorithms”, *Energy Conversion and Management*, 58, 1-9.
- Vlasov M. P., (2020), “Logistic Supply Chain Management and Economic Security of the Enterprise”, *Journal of Process Management – New Technologies*, 8, 54-65.
- Majumder P., Bera U. K., Maiti M., (2014), “A multi-item EPQ model with imperfect production process for time varying demand with shortages”, *Haceteppe Journal of Mathematics and Statistics*, 45, 929-955.
- Chen J., Chen T., (2005), “The multi-item replenishment problem in a two-echelon supply chain: the effect of centralization versus decentralization”, *Computers & Operations Research*, 32, 3191-3207.
- Yang H., (2012), “Two-warehouse partial backlogging inventory models with three-parameter Weibull distribution deterioration under inflation”, *International Journal of Production Economics*, 138, 107-116.
- Chandramohan J., Chakravarthi R. P. A., Ramasamy U., (2023), “A comprehensive inventory management system for non-instantaneous deteriorating items in supplier-retailer-customer supply chains”, *Supply Chain Analytics*, 3, 100015.
- Rinaldi M., Fera M., Macchiaroli R., Bottani E., (2023), “A new procedure for spare parts inventory management in ETO production: a case study”, *Procedia Computer Science*, 217, 376-385.
- Gutiérrez J., Colebrook M., Abdul-Jalbar B., Sicilia J., (2013), “Effective replenishment policies for the multi-item dynamic lot-sizing problem with storage capacities”, *Computers & Operations Research*, 40, 2844-2851.
- Yang H., (2023), “An optimal replenishment cycle and order quantity inventory model for deteriorating items with fluctuating demand”, *Supply Chain Analytics*, 3, 100021.
- Chiu S. W., Wub C., Tseng C., (2019), “Incorporating an expedited rate, rework, and a multi-shipment policy into a multi-item stock refilling system”, *Operations Research Perspectives*, 6, 100115.

Kumar S., Mahapatra R. P., (2021), “Design of multi-warehouse inventory model for an optimal replenishment policy using a Rain Optimization Algorithm”, *Knowledge-Based Systems*, 231, 107406.

Nia A. R., Far M. H., Niaki S. T. A., (2013), “A fuzzy vendor managed inventory of multi-item economic order quantity model under shortage: An ant colony optimization algorithm”, *International Journal of Production Economics*, 155, 259-271.

Claassen G. D. H., Kirst P., Van A. T. T., Snels J. C. M. A., Guo X., Beek P. V., (2023), “Integrating time-temperature dependent deterioration in the economic order quantity model for perishable products in multi-echelon supply chains”, *Omega*, 125, 103041.

Mallick R. B., Patra K., Mondal S. K., (2023), “A new economic order quantity model for deteriorated items under the joint effects of stock dependent demand and inflation”, *Decision Analytics Journal*, 8, 100288.

Bjork K., (2012), “A multi-item fuzzy economic production quantity problem with a finite production rate”, *International Journal of Production Economics*, 135, 702-707.

Nobil A. H., Nobil E., Sedigh A. H. A., Cardenasbarron L. E., Garza-Núñez D., Trevino-Garza G., C’éspedes-Mota A., Loera-Hernandez I. J., Smith N. R., (2023), “Economic production quantity models for an imperfect manufacturing system with strict inspection”, *Ain Shams Engineering Journal*, 15, 102714.

Mareeswaran M., Anandhi M., (2021), “Optimization of inventory in agriculture material processing industry by using multi-item deterministic model”, *Materials Today: Proceedings*, 46, 4183-4186.

Pal B., Sana S. S., Chaudhuri K, (2012), “Multi-item EOQ model while demand is sales price and price break sensitive”, *Economic Modelling*, 29, 2283-2288.

Durdu Ö. F., (2010), “A hybrid neural network and ARIMA model for water quality time series prediction”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 23, 586-594.

Chyon F. A., Suman N. H., Fahim R. I., Ahmmmed S., (2022), “Time series analysis and predicting COVID-19 affected patients by ARIMA model using machine learning”, *Journal of Virological Methods*, 301, 114433.

Jiang S, Yang C, Guo J, Ding Z., (2018), “ARIMA forecasting of China’s coal consumption, price and investment by 2030”, *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 13, 190-195.

Ediger V. Ş., Akar S., (2007), “ARIMA forecasting of primary energy demand by fuel in Turkey. *Energy Policy*”, *Energy Policy*, 35, 1701-1708.

Dey B., Roy B., Datta S., Ustun T. S., (2023), “Forecasting ethanol demand in India to meet future blending targets: A comparison of ARIMA and various regression models”, Energy Reports, 9, 411-418.

ÖZGEÇMİŞ

2019 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldum. Şu anda Gebze Teknik Üniversitesi'nde Endüstri Mühendisliği alanında yüksek lisans eğitimime devam ediyorum. Profesyonel kariyerime Şubat 2020'de Sanel Auto Elektronik'te Üretim Planlama Mühendisi olarak başladım. Bu görevde üretim süreçlerini analiz ederek verimliliği artırmaya yönelik öneriler geliştirdim, veri analizi ve raporlama çalışmaları yaptım. Aynı zamanda, stok seviyelerini izleyerek malzeme siparişlerini yönettim ve üretim hedeflerine ulaşmayı sağlamak için düzenli olarak raporlar hazırladım.

Mayıs 2021'de Varroc Lighting Systems'te Üretim Planlama Mühendisi olarak çalışmaya başladım ve Nisan 2022'ye kadar bu pozisyonda devam ettim. Burada da üretim süreçlerinin verimliliğini artırmak için analizler yaptım ve iyileştirme projeleri geliştirdim.

Nisan 2022'den beri Eren Perakende'de Alokasyon Uzmanı olarak görev yapıyorum. Bu rolde, ürünlerin doğru zamanda ve doğru yerlere dağıtılmasını sağlıyor, stok seviyelerini izleyerek olası stok fazlası veya yetersizliği durumlarını minimize etmek için stratejiler geliştiriyorum. Aynı zamanda geçmiş satış verilerini analiz edip gelecekteki talebi tahmin ederek, mevsimsel ve trend değişikliklerine göre dağıtım planları oluşturuyorum.