



T.C.  
NECMETTİN ERBAKAN  
ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ÇOK DÖNEMLİ, ÇOK ÜRÜNLÜ İMALAT  
SİSTEMLERİNDE OPTİMAL SİPARİŞ  
KABUL/RET VE STOK KARARLARI İÇİN  
MATEMATİKSEL BİR MODEL VE UYGULAMA

ALİ ÖZAYDIN  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

NİSAN-2023  
KONYA  
Her Hakkı Saklıdır

**TEZ KABUL VE ONAYI**

Ali ÖZAYDIN tarafından hazırlanan “Çok Dönemli, Çok Ürünlü İmalat Sistemlerinde Optimal Sipariş Kabul/Ret ve Stok Kararları için Matematiksel Bir Model ve Uygulama” adlı tez çalışması 18/04/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Jüri Üyeleri****İmza****Başkan**

Prof. Dr. Mehmet AKTAN

.....

**Danışman**

Dr. Öğr. Üyesi Bilal ERVURAL

.....

**Üye**

Doç. Dr. Süleyman METE

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun ....../.../20.. gün ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. İbrahim KALAYCI

FBE Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Ali Özaydın

Tarih:

**ÖZET****YÜKSEK LİSANS TEZİ****ÇOK DÖNEMLİ, ÇOK ÜRÜNLÜ İMALAT SİSTEMLERİNDE OPTİMAL SİPARİŞ KABUL/RET VE STOK KARARLARI İÇİN MATEMATİKSEL BİR MODEL VE UYGULAMA****Ali ÖZAYDIN****Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı****Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Bilal ERVURAL****2023, 60 Sayfa****Jüri****Dr. Öğr. Üyesi Bilal ERVURAL****Prof. Dr. Mehmet AKTAN****Doç. Dr. Süleyman METE**

Günümüzde, üreticiler genellikle istikrarsız piyasa talebine dayalı satış ve üretim kararları almak zorundadır. Bu üretim ortamında, şirketler sınırlı kaynaklar altında hangi müşteri siparişlerini yerine getireceklerini veya hangi ürünleri stoklayacaklarını belirlemek zorunda kalabilmektedirler. Bu amaçla çalışmada, çok dönemli ve çok ürünlü hibrit siparişe üretim - stoka üretim sistemlerinde optimal sipariş kabul/ret ve stok kararlarını belirlemek amacıyla bir karma tamsayı matematiksel programlama modeli önerilmiştir. Modelde stok maliyetleri, üretim maliyetleri, stok bulundurmama maliyetleri, bütçe, üretim süresi, işgücü kısıtları ve her bir sipariş için maliyetler dikkate alınmaktadır. Her bir dönem için model, stok için üretim veya sipariş kabul/ret kararı verirken kaynak kullanımını, üretim teslim sürelerini, stok maliyetlerini ve stoksuz kalma maliyetlerini dikkate alır. Ayrıca, model stok için üretim, sipariş için üretim ve güvenlik stok seviyelerinin miktarlarını belirlemekte ve tüm bunları nihai kâr hedefine göre optimize etmektedir. Çalışmada üretim stratejileri, stok maliyetleri ve stok türleri kapsamlı bir şekilde tartışılmaktadır. Çalışmada önerilen matematiksel modelin doğruluğunu test etmek amacıyla bir dizi çalışma gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, bir kimya işletmesinden elde edilen veriler kullanılarak gerçek hayat uygulaması gerçekleştirilmiştir. Ele alınan problem farklı senaryolar altında araştırılarak modelin duyarlılığı ve yetenekleri test edilmiştir. Ayrıca, problem boyutunun arttığı durumlarda matematiksel modelin sınırlılıklarını analiz etmek amacıyla bir deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla farklı boyutlarda test problemleri geliştirilerek önerilen matematiksel modelin etkinliği ölçülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Sipariş Seçimi, Stok Yönetimi, Siparişe Üretim, Stoka Üretim, Karma Tamsayı Matematiksel Programlama

**ABSTRACT****MS THESIS****A MATHEMATICAL MODEL FOR OPTIMAL ORDER  
ACCEPTANCE/REJECTION AND INVENTORY POLICIES IN MULTI-  
PERIOD, MULTI-PRODUCT MANUFACTURING SYSTEMS AND ITS  
APPLICATION****Ali ÖZAYDIN****THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY THE DEGREE OF MASTER OF  
SCIENCE OF INDUSTRIAL ENGINEERING****Advisor: Asst. Prof. Dr. Bilal ERVURAL****2023, 60 pages****Jury****Asst. Prof. Dr. Bilal ERVURAL****Prof. Dr. Mehmet AKTAN****Assoc. Prof. Dr. Süleyman METE**

Manufacturers often have to make sales and production decisions based on unstable market demand in today's business environment. In this production environment, companies may need to determine which customer orders to fulfill or which products to stock under limited resources. To achieve this objective, this study proposes a mixed-integer mathematical programming model to determine optimal order acceptance/rejection and inventory decisions using in a multi-period and multi-product hybrid make-to-order (MTO) and make-to-stock (MTS) system. The model considers inventory costs, production costs, stockout costs, budget constraints, production lead time, labor constraints, and costs for each order. For each period, the model considers resource utilization, production lead times, stock costs, and stockout costs when making decisions on production for stock or order acceptance/rejection. Additionally, the model determines the production quantities for stock and order, and safety stock levels, optimizing them based on the ultimate profit objective. The study extensively discusses production strategies, stock costs, and types of inventory. A series of analyses are conducted to validate the accuracy of the proposed mathematical model. Firstly, a real-life application is performed using data obtained from a chemical plant. The problem is investigated under different scenarios to test the model's sensitivity and capabilities. Furthermore, an experimental study is conducted to investigate the limitations of the mathematical model as the problem size increases. For this purpose, test problems of different sizes are developed to measure the effectiveness of the proposed mathematical model.

**Keywords:** Order Selection, Inventory Management, Make-To-Order, Make-To-Stock, Mixed-Integer Mathematical Programming

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında firmaların üretim ve satış operasyon kararları, stok ve üretim yönetimi için bir sipariş kabul modeli oluşturularak incelenmiştir. Stok yönetimine genel hatları ile değinilmiştir. Söz konusu çalışmada KOBİ boyutunda nitelendirilebilecek işletmelerin kaynaklarını en iyi şekilde kullanabilmesi için sistemli bir yaklaşım geliştirmeye çalışılmıştır.

Tez yazım sürecimde emekleri geçen kıymetli hocam Dr. Bilal ERVURAL'a teşekkürü borç bilirim.

Ali Özaydın  
KONYA-2023

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ.....</b>	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. LİTARATÜR TARAMASI.....</b>	<b>4</b>
<b>3. ÜRETİM STRATEJİLERİ.....</b>	<b>9</b>
3.1. Sipariş için Üretim .....	9
3.2. Stok için Üretim .....	10
3.3. Hibrit MTO-MTS.....	10
<b>4. TEDARİK ZİNCİRİ VE STOK YÖNETİMİ .....</b>	<b>12</b>
4.1. Tedarik Zinciri Yönetimi .....	12
4.2. Stok Yönetimi .....	13
4.2.1. Stok Bulundurma Sebepleri .....	14
4.2.2. Stokların Sınıflandırılması .....	15
4.2.3. Stok Maliyetleri.....	16
4.2.4. Güvenlik Stoku .....	19
<b>5. PROBLEMİN TANIMLANMASI VE FORMÜLASYON.....</b>	<b>21</b>
5.1. Problem Tanımı.....	21

5.2. Önerilen Model .....	24
<b>6. UYGULAMA.....</b>	<b>29</b>
6.1. Örnek Problem .....	29
6.2. Çözüm Yaklaşımı ve Çıktıları.....	32
6.3. Senaryo Analizi.....	36
6.3.1. Senaryo 1 - Stok Kontrol Limitlerinin Farklı Uygulamaları.....	37
6.3.2. Senaryo 2 - Genel Dönemlik Bütçenin Azaltılması.....	38
6.3.3. Senaryo 3 - Stok Kontrol Döneminin Değiştirilmesi.....	39
6.3.4. Senaryo 4 - Sipariş Bölünemez Kısıtlamasının Kaldırılması.....	40
6.3.5. Senaryoların karşılaştırılması.....	43
6.4. Deneysel Çalışma.....	43
<b>7. SONUÇLAR .....</b>	<b>46</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>48</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>53</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Kısaltmalar

MTS	: Stok için Üretim (Make-To-Stock)
MTO	: Sipariş için Üretim (Make-To-Order)
ATO	: Sipariş için Montaj (Assembly-To-Order)
ATP	: Söz Verilebilir Durumdan Bulunan Stok (Available-To-Promise)
MIP	: Karma Tamsayı Programlama



## 1. GİRİŞ

Firmalar, ürettikleri yüksek kalite ürünleri zamanında müşterisine sunmayı hedeflerken, lojistik ve tedarik alanındaki belirsizlikler genellikle çıktılarını en üst düzeye çıkarma çabalarını engellemektedir (Abedi ve Zhu, 2020). Hammadde kıtlığı, yüksek taşıma maliyetleri ve sınırlı üretim kapasitesi, yerine getirilemeyen taahhütlere ve müşteri memnuniyetinde önemli bir düşüşe yol açabilir. İmalat şirketlerinin yanıt verebilirliğini artırmak için, ürün özelliklerine göre uyarlanmış esnek üretim stratejileri ve güvenilir bir sipariş karşılama sistemi kritik öneme sahiptir. Farklı üretim ortamları için Stok-için-Üretim (Make-to-Stock - MTS), Sipariş-için-Üretim (Make-to-Order - MTO) ve Sipariş-için-Montaj (Assemble-to-Order - ATO) gibi çeşitli üretim stratejileri ve ilgili sipariş karşılama teknikleri geliştirilmiştir. Son yıllarda, imalat şirketleri, düzensiz taleplere sahip ürünleri ele almak için MTS ve MTO stratejilerini birleştiren hibrit üretim stratejilerini tercih etmektedir.

Günümüz teknolojisiyle birlikte ticaretin kapsamı küresel bir boyuta ulaşmış ve bu da müşteri çeşitliliğini artırarak tedarik zincirini doğrudan etkilemiştir (Tutar, 2000). Küresel rekabet ortamı, müşteri ve tedarikçi çeşitliliği, ürün çeşitliliği, parti büyüklükleri ve tedarik sürelerinde değişken müşteri taleplerine yol açmıştır. Rekabetin yoğun olduğu bu ortamda, şirketler ayakta kalabilmek için ürün fiyatlandırması ve maliyetlerinin yanı sıra tedarik hızında da küresel rakiplerinden daha iyi bir konumda olmalıdır (Güzelcık, 1997). Üretim şirketleri, ürünleri tüketicilere anlaşmaya varılan teslim süreleri içinde ve hedeflenen kalitede teslim etmekle sorumludur. Ancak, lojistik veya tedarikteki belirsizlikler çoğu zaman üreticilerin bu hizmeti sağlamasını zorlaştırır. Örneğin, hammadde kıtlığı, stok maliyetleri, lojistik maliyetleri ve sınırlı üretim kapasitesinden kaynaklanan zorluklar müşteri memnuniyetinin azalmasına yol açabilir. Bu üretim ortamında, şirketler sınırlı kaynaklar altında hangi müşteri siparişlerini yerine getireceklerini veya hangi ürünleri stoklayacaklarını belirlemek zorunda kalabilirler (Kuthambalayan ve Bera, 2020). Birçok durumda, esnek bir üretim stratejisi (ürün spesifikasyonlarıyla uyumlu) ve güvenilir bir sipariş karşılama sistemi, imalatçı şirketlerde yanıt verebilirliği önemli ölçüde artırabilir (Tsai vd., 2008).

Üreticiler genellikle istikrarsız bir piyasa talebine dayalı satış ve üretim kararları almak zorundadır. Üretim stratejileri, üretim miktarı, teslimat süresi ve ürün çeşitliliği gibi faktörler genellikle önemli satış kararları dikkate alınmadan planlanır. Diğer taraftan,

özellikle üretim kapasitesi sınırlıysa, pazarlama/satış birimi üretim üzerindeki etkisini değerlendirmeden siparişleri kabul edebilir ve üretim verimliliğini engelleyebilir. Satış ve üretim fonksiyonları arasında stratejik iş planlaması ve operasyonel etkinlik açısından koordinasyon eksiklikleri birçok imalat şirketinde mevcuttur. Bu tür ikili koordinasyon eksiklikleri olumsuz sonuçlara yol açabilir. Satış birimi, müşterilere ürün çeşitliliği ve hızlı teslimat gibi seçenekler sunmak isterken, üretim sabit bir üretim planı ve düşük stok seviyelerine odaklanır. Bu durumda, iki kutuplu bir işletmede alınan üretim kararları optimal olmaktan uzaktır (Ashayeri ve Selen, 2001). Literatürde bu bağlamda çeşitli çalışmalar yapılmış olmasına rağmen, satış ve üretim dinamiklerini aynı anda dikkate alan sipariş seçimi ve üretim planlaması modelleri üzerinde sınırlı sayıda kaynak ve öneri bulunmaktadır.

Üretim planlaması, bir şirketin üretim sürecinin nasıl gerçekleştirileceğini belirlemektedir. Önceki araştırmalar genellikle tamamen talep odaklı (MTO) veya tamamen stok odaklı (MTS) geleneksel yöntemlere odaklanmıştır. Ancak, bu yöntemler müşteri taleplerini tam olarak karşılamada sınırlılıklara sahiptir. Bu nedenle, müşteri taleplerine daha iyi yanıt verebilen MTO-MTS hibrit yaklaşımları geliştirilmiştir (Peeters ve Ooijen, 2020). Bununla birlikte, müşteri siparişlerini etkin bir şekilde karşılamak için halen verimli bir sipariş kabul sistemi gerekmektedir. Sipariş verme süreçlerinde yapılan iyileştirmeler, imalat endüstrisinde önemli maliyet tasarrufları sağlayabilir. Literatürde mevcut araştırmaların çoğunluğunun üretim ortamını ve kaynak mevcudiyetini dikkate almadan sipariş verme yöntemlerine odaklandığı gözlemlenmiştir.

Bu bağlamda, yukarıda bahsedilen eksiklikler dikkate alınarak, çok dönemli ve çok ürünlü üretim sistemlerinde optimal sipariş kabul/ret ve stok kararlarını belirlemek amacıyla bir karma tamsayı programlama modeli önerilmiştir. Önerilen matematiksel model, çeşitli müşteri profilleri altında farklı fiyat politikaları, emniyet stoku için alt ve üst sınırları ve parti büyüklüklerini dikkate alarak üretim ve stok kararları ile birlikte sipariş seçim problemine odaklanmaktadır. Böylelikle, satış ve üretim süreçlerinde karşılaşılan belirsizlik ile başa çıkmak ve farklı kısıtlar altında kaynakların verimli kullanılmasını sağlamak amacıyla sürecin rasyonel bir yapıya dayandırılması hedeflenmiştir. Bu yöntem birçok açıdan özelleştirilebilir bir yöntemdir. Literatürde önerilen birkaç yöntemin aksine, önerilen yöntem uygulamaya bağlı olarak maliyet kalemleri ve kısıtlar açısından esneklik sağlamaktadır.

Yapılan tez çalışmasında önerilen matematiksel modelin doğruluğunu test etmek amacıyla bir dizi çalışma gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, bir kimya işletmesinden elde edilen veriler kullanılarak gerçek hayat uygulaması gerçekleştirilmiştir. Ele alınan problem farklı senaryolar altında araştırılarak modelin duyarlılığı ve yetenekleri test edilmiştir. Ayrıca, problem boyutunun arttığı durumlarda matematiksel modelin sınırlılıklarını analiz etmek amacıyla bir deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla farklı boyut ve yoğunlukta on test problemi geliştirilerek önerilen matematiksel modelin etkinliği ölçülmüştür.

Çalışmanın ikinci bölümünde ilgili literatür sunulmuştur. Üçüncü ve dördüncü bölümünde üretim stratejileri ve tedarik zinciri, stok yönetimi ile ilgili bilgi verilmiştir. Beşinci bölümde ele alınan problem tanımlanmış ve matematiksel modeli sunulmuştur. Altıncı bölümde örnek bir uygulama tanıtılmış ve çözülmüştür. Ayrıca bu bölümde farklı senaryo analizleri ve deneysel çalışmalar ile modelin duyarlılığı ve doğruluğu test edilmiştir. Son bölümde ise sonuç ve öneriler sunulmuştur.

## 2. LİTARATÜR TARAMASI

Literatürde bulunan mevcut araştırmalar incelendiğinde farklı üretim stratejileri ve yöntemler kullanan bazı çalışmalar ön plana çıkmaktadır. Çizelge 2.1. literatürde öne çıkan çalışmaların detaylı bir özetini vermektedir. Tabloda, ele alınan çalışmada izlenen üretim politikası, ele alınan amaçlar, sipariş seçimi ile birlikte alınan diğer kararlar ile kullanılan yöntem ve uygulama türü sunulmaktadır.

**Çizelge 2.1.** Literatür özeti

Çalışma	Yıl	Üretim Politikası	Amaçlar	Sipariş seçiminin yanı sıra ele alınan diğer kararlar	Kullanılan Yöntem	Uygulama
Aminzadegan vd.	2021	Siparişe Üretim	Toplam getiri	Çizelgeleme	Karma Tamsayı Doğrusal Programlama	Sayısal Örnek
Abedi ve Zhu	2020	Hibrit	Maliyetler (Üretim, dış kaynak kullanım)	Dış kaynak kullanım miktarı	Karma tamsayı programlama	Sayısal Örnek
Wang vd.	2019	Hibrit	Toplam gelir, üretim maliyeti	Atölye tipi çizelgeleme	Karma tamsayı programlama, Parçacık sürü optimizasyonu	Sayısal Örnek
Rahman vd.	2019	Siparişe Üretim	Sipariş karşılama miktarı	Çizelgeleme	Hibrit Genetik Algoritma ve Parçacık Sürü Optimizasyonu	Sayısal Örnek
Alemany vd.	2018	Hibrit	Toplam gelir, maliyetler (Üretim, stok, elde bulundurmama) ve Söz verilebilir sipariş miktarı	Kapasite planlaması	Karma tamsayı doğrusal programlama	Vaka Analizi
Wu vd.	2018	Siparişe Üretim	Toplam gelir ve teslim zamanı	Çizelgeleme	Su Döngüsü Algoritması	Sayısal Örnek
Azevedo vd.	2016	Stoka Üretim	Toplam getiri ve söz verilebilir sipariş	Talep akışı, arz akışı ve ihracat kontenjanı	Karma Tamsayı Programlama	Vaka Analizi
Rabbani vd.	2016	Siparişe Üretim	Maliyetler ve teslim zamanı	Çizelgeleme	Karma Tamsayı Programlama	Sayısal Örnek
Gössinger ve Kalkowski	2015	Siparişe Üretim	Toplam getiri ve maliyetler (taşım, üretim, stok)	Teslim zamanı çizelgeleme	Karma Tamsayı Kuadratik Programlama	Sayısal Örnek
Yang ve Fung	2014	Stoka Üretim	Toplam getiri ve maliyetler (Yoksatma, stok)	-	Stokastik Programlama	Vaka Analizi
Chen ve Dong	2014	Siparişe Üretim	Toplam getiri ve talep önceliği	-	Karma Tamsayı Programlama	Sayısal Örnek
Wang vd.	2013	Siparişe Üretim	Toplam gelir ve teslim zamanı	Çizelgeleme	Arı Kolonisi Algoritması	Sayısal Örnek

Çizelge 2.2.(devam) Literatür özeti

Kalantari vd.	2011	Hibrit	Maliyetler (Üretim, dış kaynak kullanım)	Dış kaynak kullanım miktarı	Karma tamsayı programlama	Sayısal Örnek
Martínez ve Arredondo	2010	Siparişe Üretim	Toplam getiri ve maliyetler	Çizelgeleme ve teslim oranı	Stokastik Programlama	Vaka Analizi
Pibernik, ve Yadav	2009	Stoka Üretim	Söz verilebilir sipariş miktarı	Stok rezervasyonu ve sipariş önceliği	Stokastik Programlama	Sayısal Örnek
Lin ve Chang	2008	Siparişe Üretim	Maliyetler (Üretim maliyeti)	Toplam üretim miktarı, fiyat indirimi, müşteri memnuniyeti	Karma tamsayı programlama	Sayısal Örnek
Ebadian vd.	2008	Siparişe Üretim	Maliyetler (gecikme, fazla mesai)	Tedarikçi ve taşeron seçimi	Karma Tamsayı Programlama	Sayısal Örnek
Slotnick ve Morton	2007	Siparişe Üretim	Toplam getiri ve müşteri ağırlığı	Çizelgeleme	Karma Tamsayı Doğrusal Programlama	Sayısal Örnek
Rogers ve Nandi	2007	Siparişe Üretim	Toplam getiri	Teslim zamanı çizelgeleme	Stokastik Programlama	Sayısal Örnek
Ashayeri ve Selen	2001	Hibrit	Toplam gelir ve maliyetler (Üretim, hammadde, atık bertaraf, stok)	Kapasite ve stok miktarı	Karma Tamsayı Programlama	Vaka Analizi
Easton ve Moodie	1999	Siparişe Üretim	Teslim süresi	Fiyatlandırma	Stokastik Programlama	Sayısal Örnek
So ve Song	1998	Siparişe Üretim	Toplam getiri	Teslim zamanı çizelgeleme	Stokastik Programlama	Sayısal Örnek
Balakrishna n vd.	1996	Siparişe Üretim	Toplam getiri ve kapasite tahsisi	Kapasite planlaması	Stokastik Programlama	Sayısal Örnek

Sipariş kabulü ve ret edilmesi konusunda; Ashayeri ve Selen (2001) çalışmalarında seçilen siparişlerin toplam finansal katkısını maksimize edecek şekilde, siparişlerin optimal seçimine odaklanan bir matematiksel model ortaya koymuşlardır. Siparişlerin optimal seçimi yoluyla satış ve üretim arasındaki koordinasyonun iyileştirilmesi için seçilen siparişlerin toplam finansal katkısını eniyilemeye çalışıldığı bir yöntem geliştirmişlerdir ve hibrit bir üretim ortamında uygulamışlardır.

Slotnick ve Morton (2007) çalışmalarında firmanın gecikme durumlarında cezalı duruma düştüğü ancak erken teslimatlar için bir işlem uygulanmayan sınırlı kapasiteli ve bir sipariş havuzu içerisinde karı maksimize edecek siparişlerin seçildiği yöntem önermişlerdir. Rogers ve Nandi (2007) çalışmalarında sabit kapasiteli MTO üretim ortamlarında gecikme cezalarına sahip iki aşamalı bir girdi kontrol sistemi uygulamışlardır. Bu sistemde, gelen siparişler arasından seçim yapmakta ve kabul edilen

siparişler iş emri öncesi kuyrukta bekletmektedir. Siparişleri iş emri öncesi kuyrukta tutmanın teslim performansını iyileştirmediği sonucuna varmışlardır ve siparişleri kabul edip hepsini ön kuyrukta bekletmek yerine reddetmek, teslimat performansını artırabilecek bir giridi kontrolü alternatifini söylemişler.

Ebadian vd. (2008) çalışmalarında sipariş kabulü konusunda MTO üretim ortamlarında siparişlerin toplanma aşaması için bir karar verme yapısı önermişlerdir. Yapı, alt modellerden oluşup sipariş seçme, seçilen siparişlere teslimat tarihi ve fiyat teklifi üretme, son olarak sipariş işleme alınırca tedarikçileri seçmek üzerine çalışan bir model ortaya koymuşlardır. Wang vd. (2019) çalışmalarında Giffler-Thompson algoritmasını temel alarak çizelgelemeye dayalı hibrit MTO-MTS modelini çözmek üzerine çalışmalar yapmışlardır.

Hendry ve Kingsman (1989) çalışmalarında MTO ortamında teslim tarihi yönetiminin önemini ve sipariş kabul aşamasının etkisini öne çıkarmışlardır. Sipariş seçimi problemi kapasite yönetimi ile doğrudan ilişkili olduğunu çünkü kapasite sınırının şirketin gelen siparişlerin bir kısmını reddetmesine neden olduğunu dile getirmişlerdir. Balakrishnan vd (1996), çalışmalarında MTO ve MTS üretim ortamlarında kapasite yönetiminin önemine değinmişlerdir.

Rabbani vd. (2016) göre sipariş seçimi ve kabulü için hibrit üretim üreticileri için geliştirilmiş birkaç yaklaşım bulunmaktadır. Bu üreticiler için, farklı ürünler farklı üretim iş akışlarından geçmektedir. Çalışmalarında, kabul prosedürünün iş akışının özellikleriyle senkronize edilmesi gerektiğini anlatmışlardır. Chen ve Dong (2014) söz verilebilir sipariş üzerine çalışmalarda bulunmuşlardır. Zhang vd. (2015) çalışmalarında söz verilebilir sipariş için sipariş verilme zamanını gözetten “ilk gelen ilk hizmet alır” felsefesi üzerine yöntemler geliştirilmişlerdir. Wen (2013) çalışmasında sipariş kabulü ile gelir yönetimi olarak tanımlanan çeşitli teslimat yaklaşımları ortaya koymuştur. Clay (1990), söz verilebilir teslimat ile daha gerçekçi bir vaatte bulunmak ve müşteri memnuniyetini artırmak amacıyla müşterilerin talebini, emniyet stokunu ve teslim süresini izlemek için bilgi teknolojisi tekniklerinin uygulandığı sipariş kabul yöntemi geliştirilmesi çalışmaları yapmıştır.

So ve Song (1998) çalışmalarında bir siparişin reddedilmesi veya kabul edilmesi üzerinde doğrudan etkisi olan iki temel özelliğin fiyat ve teslim tarihi olduğunu ve bu

özelliklerin sipariş kabul ve ret edilmesi sürecinde temel girdi veya çıktılar olduğunu göstermişlerdir. Easton ve Moodie (1999) ise MTO ortamlarında bir siparişin hem fiyatını hem de teslim tarihini optimize etmek için bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntemde, sözleşme fiyatı ve teslim süresi ile başarılı bir teklif olasılığını tahmin etmişlerdir. Ayrıca, geciken işler için gecikme cezası tanımlamışlardır.

Rafiei vd. (2013) kapasite planlaması ve optimum üretim planı hazırlanması konusunda, finans ve pazarlama yönünü dikkate alarak bir çalışma yapmışlardır. Aouam ve Brahimi (2013) çalışmalarında robust optimizasyon ile gelen siparişleri, müşterileri ve talepleri kategorize ederek sipariş seçme yolunu araştırmışlardır. Kiraci (2009) çalışmalarında stok devir hızlarının, karlılık ile ilişkisini finansal yönden incelemiştir. Tanriverdi (2010) stok yönetimi ile ilgili bir Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemini önermişlerdir. Caskey (2004) çalışmalarında küçük işletmeler için sipariş kabul yaklaşımı önermiştir.

Abedi ve Zhu (2020), bir MTO üretim sisteminde, siparişlerin günlük gruplar halinde toplayıp, siparişleri kaynak kullanımına göre sıralamışlardır. Daha sonra tasarladıkları model ile siparişleri üretmek için kaynak kullanılabilirliğini denetlemektedirler. Ghadimi vd. (2022) tedarik boyutuna bağlı teslim süreleri altında sipariş kabul ve ret edilmesine karar vermek üzere entegre bir model önermişlerdir. Bu çalışmalarında talep belirsizliğine karşı güvenlik stoku içeren şans kısıtlamaları önermişlerdir. Aminzadegan vd. (2021) üretim ve teslimat araçlarına bağlı olarak sipariş kabul işlevine sahip, teslimat maliyeti, ağırlıklı gecikme maliyeti ve araçların sabit maliyetlerini, işlem sürelerini içeren bir çizelgeleme modeli önermişlerdir.

Gössinger vd. (2015) müşterilere sipariş ve kaynak belirsizliği altında güvenilir teslimat tarihleri sunmak üzere önleyici tedbirler içeren bir planlama modeli önermişlerdir. Bu model müşteri siparişlerini ret etmekte veya geçici olarak ret edilen siparişlere alternatif teslim tarihi önermektedir. Martínez ve Arredondo (2010) MTO üretim tesisi için, gelir yönetimini MTO üretimindeki belirsizlik altında maksimize edecek sipariş kabul politikası önermişlerdir. Pibernik ve Yadav (2009) iki müşteri sınıfından rastgele teslim tercihleri olan ve rastgele talepleri karşılayan stoktan siparişe teslim sistemi üzerine çalışmalarda bulunmuşlardır. Müşteri önceliği, rezervasyon, sipariş geliş zamanları ve malzeme giriş zamanlarını dikkate alan bir model önermişlerdir.

Alemanly vd. (2018) hibrit üretim ortamında söz verilebilir siparişlerin karşılaştırılması ve söz verilecek sipariş için kâr amacını eniyilemeyi amaçlayan bir model ortaya koymuşlardır. Modellerini farklı tedarik senaryolarında uygulamışlardır. Lin ve Chang (2007) sipariş seçimi ile birlikte fiyatlandırma, müşteri memnuniyeti gibi etkenleri göz önünde bulunduran bir model tasarlamışlardır. Burada karma tam sayılı programlama ile birlikte TOPSIS yöntemlerine de başvurmuşlardır.

Wang vd. (2012) sipariş seçimi konusunda çizelgeleme ve teslim zamanlarını da gözetmişlerdir. Önerdikleri modeli Arı Kolonisi yaklaşımı ile çözmüşlerdir. Wu vd. (2018) paralel makine çizelgelemesine sipariş seçim problemini entegre etmişlerdir. Burada toplam getiri ve teslim zamanı ile ilgilenmişlerdir. Önerdikleri modelin çözümü su döngüsü algoritması kullanmışlardır. Rahman vd. (2019) siparişe üretim ortamında sipariş seçimi ve çizelgeleme alanında gerçek zamanlı bir model oluşturmak adına çözüm önermişlerdir. Bu önerilerini hibrit genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonu ile çözümlenmişlerdir. Azevedo vd. (2016) gerçek bir problemden yola çıkarak söz verebilir sipariş miktarları üzerinden kâr amacını eniyileyen bir model önermişlerdir. Bu modellerinde talep ve tedarik akışlarını da göz önünde bulundurmuşlardır. Yang ve Fung (2013) çalışmalarında stoka üretim alanında kar amacını eniyileyen bir stokastik model önermişlerdir. Bu modellerini çözmek için stokastik yaklaşıma dayalı bir sezgisel yöntem geliştirmişlerdir. Kalantari vd. (2011) çalışmalarında TOPSIS yöntemi ile önce müşterileri sınıflandırıp daha sonra kapasiteyi göz önünde bulundurarak sipariş kabulü gerçekleştirmektedir. Kabul edilen siparişler için ise bir çizelgelemeyi ve teslim tarihlerini göz önünde bulunduran bir dizi adım önermişlerdir.

### 3. ÜRETİM STRATEJİLERİ

Üretim sistemleri üzerine araştırmalar genellikle üç üretim stratejisinden birini kullanır. Bunlar:

- (i) Stoka Üretim,
- (ii) Siparişe Üretim,
- (iii) Hibrit üretim.

MTS üretim stratejisini izleyen firmalar, bir tahmine dayalı olarak bitmiş ürün stoklamaktadır. Rekabet hedefleri ürün odaklıdır. Firmalar genellikle sürekli talepleri olan ürünlere yönelirler. Ancak, ürün çeşidinin artmasıyla birlikte, bir MTS politikası, büyük bir stok miktarları ile karışılacaktır (Kuthambalayan ve Bera, 2020).

MTO üretim stratejisi ise kabul edilmiş siparişlere yönelik üretim yaparak hammadde stoklamayı hedefler. MTO değişken ürünleri küçük hacimlerde, siparişlere göre üretmeyi hedeflerken bir ürün çeşidine gelebilecek yoğun talebe ise cevapsız kalabilir (Huiskenen, 2003).

MTS sistemleri bitmiş ürün stoku ile ilgilenirken MTO üretim sistemleri hammadde stokunun seviyeleri ile ilgilenir. MTS sistemleri bir talep tahmininden yola çıkarak bitmiş ürün stoklar. MTO üretim sistemleri ürün çeşitliğini destekleyecek şekilde hammadde stoklar. Her iki üretim stratejisinin kullanıldığı üretim durumu ise Hibrit Üretim sistemi olarak adlandırılır.

#### 3.1. Sipariş için Üretim

Siparişe üretim sipariş kabulü ile ürünlerin üretime alınmasıyla başlar. Siparişe üretim genellikle düşük parti boyutlu ve ürün çeşitliliğinin fazla olduğu durumlarda tercih edilir. Sipariş çeşitliliği altında her bir ürün için bitmiş ürün stoku tutmak stok maliyetlerini arttıracadığı için siparişe üretim yapılırken hammadde stoklarının belirli seviye tutulması önemsenir. MTO'da üretim çeşitliliğinde esneklik avantajı oluşurken, büyük boyutlu siparişlere bitmiş ürün stoku bulunmadığı için yeterli teslim süresini sağlanmakta dezavantajlı bir konumda kalır.

Bu yaklaşım, müşteriye özelleştirilmiş ürünler sunmayı ve stok maliyetlerini azaltmayı sağlar. Ancak, üretim sürecinin siparişin alınmasından sonra başlaması, teslimat sürelerini uzatabilir.

### 3.2. Stok için Üretim

Stok için üretim, talep tahmin yöntemleri ile belirlenmiş olan satış planına göre önceden mamul, malzeme stoku yapmak suretiyle üretim sürecinin gerçekleştirilmesidir. Stoka üretim sürecinde ürün çeşitliği azdır, siparişlere cevap verme hızı yüksektir. Yüksek parti boyutlarında üretime cevap verebilir. Stoka üretim bitmiş mamul stoklarına odaklandığı için siparişlerde ürün çeşitliliği olması durumunda cevap verme süresinde gecikmeler yaşanır. Aynı zamanda satış planındaki herhangi bir olumsuzluk durumunda bitmiş ürün stokunun stok maliyetlerini de yüklenmek durumunda kalır (Klaus ve Steven, 1993).

Bu yaklaşım, talep tahminlerine dayalı olarak üretim planlaması yapmayı ve stokta bulunan ürünlerin hızlı teslimatını sağlamayı amaçlar. Ancak, stokta fazla ürün bulundurmamak, stok maliyetlerini artırabilir ve satılmayan ürünlerin depolanması gerektiği için depolama maliyetlerini de artırabilir.

### 3.3. Hibrit MTO-MTS

Hibrit üretim stratejisi MTO ve MTS'nin birlikte kullanıldığı sistemlerdir (Kuthambalayan ve Bera, 2020). Hibrit sistemde, MTO ile yarı mamul stoklanırken önceden satışı kararlaştırılmış ürünler için ise MTS ile nihai ürün stoku yapılır. Hibrit üretim stratejisi genel olarak, farklı ürünler için çeşitli talep yöntemleri kullanarak belirlenen teslimat zamanlarını yönetmek amacıyla ortaya çıkmıştır (Iravani vd, 2012). Bir firma MTO ürünlerini ve MTS ürünleri ayrı tesislerde üretebilir. Bir tesis esnek yapıya sahip iken diğer tesis verimlilik odaklı olabilir. Ancak böylesi iki tesisinin yürütülmesi kaynak kullanımı bakımından mümkün olmayabilir. Bu sebeple her iki üretim stratejisinin tek bir tesiste karma kullanımı kaynak kullanımını iyileştirir (Wang vd, 2019).

Bu strateji, hem müşteri talebine özelleştirilmiş ürünler sunmayı hem de stokta bulunan ürünlerin hızlı teslimatını sağlamayı amaçlar. Hibrit MTO-MTS stratejisi, öncelikle stokta bulunan ürünlerin satılması üzerine kuruludur. Ancak, stokta bulunan ürünlerin tükenmesi veya müşterilerin özelleştirilmiş ürünler talep etmesi durumunda, MTO stratejisi devreye girer ve müşteri taleplerine göre özelleştirilmiş ürünlerin üretimi başlar. Bu strateji, müşteri taleplerinin belirsiz olduğu durumlarda veya ürünlerin hem

standart hem de özelleştirilmiş sürümlerinin bulunduğu durumlarda etkilidir. Ancak, bu stratejinin uygulanması, hem stokta bulundurulacak ürünlerin hem de siparişe özgü ürünlerin üretimi ve yönetimi için ek bir maliyet oluşturabilir. Özetle, Hibrit MTO-MTS stratejisi, hem MTO hem de MTS yaklaşımlarının avantajlarını birleştirerek müşteri taleplerine özelleştirilmiş ürünler sunmayı ve stokta bulunan ürünlerin hızlı teslimatını sağlamayı amaçlayan bir stratejidir.



## 4. TEDARİK ZİNCİRİ VE STOK YÖNETİMİ

Bir firmanın karar birimlerinin daha etkin kararlar alabilmesi için tedarik zinciri ve stok yönetimi kavramlarını ve ilgili süreçleri doğru anlamış olması gerekir. Bu kavramların eksik anlaşılması, problem için toplanması gereken verilerin belirlenmesinde ve amaç/kriterlerin tespit edilmesinde hatalı tercihler yapılmasına yol açabilir.

### 4.1. Tedarik Zinciri Yönetimi

Tedarik zinciri, hammadde ve yan girdilerin temin edilip işlenip ve son ürünün son tüketiciye ulaşmasını kapsayan bir operasyon sürecidir (Rota vd, 2002). Tedarik zinciri; ürünleri hammadde noktasından başlayarak ilk kullanıcıya, son tüketiciye ulaşana kadar malzeme ve bilgi akışını sağlayan organizasyonlar olarak tanımlanabilir. Bu zincir içinde ürün akışı, iade akışı, bilgi ve nakit akışı gerçekleşmekte, talep tahmini, sipariş yönetimi, üretim plânlama ve çizelgeleme, stok yönetimi, satın alma yönetimi, tedarikçi yönetimi ve tedarik, dağıtım plânlama, iade yönetimi, depo yönetimi, nakliye plânlama, müşteri ilişkileri vb. etkinlikler yürütülmektedir. Bu operasyonların tedarik zinciri içerisinde ne kadar etkin ve verimli yürütüldüğünün denetimi en iyi karlılık açısından büyük önem arz etmektedir (Simchi-Levi vd, 2000).

Tedarik zinciri sektörler arasında farklılık gösterse bile üretim, hizmet, kamu vb. bütün alanlarda mevcuttur. Tedarik zinciri boyunca yalnızca ürünlerin akışı söz konusu olmamakta, ürünlerin dışında para, bilgi vb. akışı da gerçekleşmektedir (Yüksel, 2002).

Tedarik Zinciri Yönetimi, en iyi ürünün en doğru zamanda en uygun müşteri için, doğru miktarda doğru tedarikçiler ve iş ortakları ile süreçleri etkin bir biçimde yönetilmesi için bir yaklaşımlar kümesidir (Simchi-Levi vd, 2000). Küresel piyasalarda ve teknolojiye yaşanan değişiklikler Tedarik Zinciri Yönetimine daha etkin bir rol kazandırmıştır. Gelişen teknoloji ile tüketicilerin küresel çapta tedarikçilere erişebilir olması, firmalar arasında üretim, kalite, teknoloji ve teslimat sürelerindeki beklentilerin küresel rekabet sonucunda değişmesi, tedarik zinciri yönetimini uygulayacak birimlerin oluşması, son tüketici taleplerinin incelenip bütün akış boyunca sürekli kontrol ve iyileştirme faaliyetlerinin yapılmasını gerektirir. Tedarik zincirinin sağlıklı yürütülmesi ile birtakım kazanımlar elde edilebilir bunlar; müşteri hizmet kalitesinin artırılması,

tedarik zinciri maliyetlerinin dengelenmesi, stok maliyetlerinin düşürülmesi, operasyon süreçlerin daha sağlıklı ve düşük maliyetle yürütülmesi olarak belirlenebilir.

Tedarik zincirini çözümlerinin ilk adımı firmanın tedarik zincirinin analiz edilip, model oluşturulması, uygulama seçeneklerinin belirlenmesi ve akışın yeniden tasarlanmasıdır. Daha sonrasında kaynak arama faaliyetleri üretimin yerinin belirlenmesi ve sürdürülebilir tahmin yürütme, planlama, çizelgeleme, stok dağılımları, makine arızaları, finansal durumlar karşısında karar alma süreçlerinin belirlenmesidir.

Tedarik zinciri yönetimi, tedarikçiler ve müşteriler ile sürekli ve sağlıklı iletişim gerektirir. Sipariş alırken yapılan hatalar ya da müşterilerin sipariş değiştirmesi, tedarikçiler yanlış malzeme gönderimi veya temin süresi uzaması imalat sürecinde verimsizliğe yol açan durumlardır. Tedarik zinciri yeniden tasarlanırken bu durumlar göz önünde bulundurulmalıdır (Yüksel, 2002).

#### **4.2. Stok Yönetimi**

Stok yönetimi, hammadde ve yardımcı malzemelerin tedarik sürecinden son ürün haline gelip ilgili tüketiciye ulaşana kadar ki süreçte depolama, sevk ve idaresinin kontrol altında tutulmasını sağlayan kavramdır. Stok yönetimi, üretim planının aksamadan devam etmesi, stok maliyetlerinin kontrol altında tutulması için işletmeler için olmaz olmaz bir kavramdır (Ertuğrul, 2013).

Stoklar, firmaların yaptıkları iş kapsamına, ölçeklerine, pazar payına, tedarik süreçlerine göre değişkenlik gösterirler (Kiraci, 2009). Stok bulundurma sebepleri ise; kapasite planlamasından oluşan tahmin edilebilirlik, kapasite planlamasının dışında oluşan talep dalgalanmaları, her an ortaya çıkabilecek kısa vadeli tedarik sorunları, hammadde fiyatlarında yaşanabilecek fiyat dalgalanmalarından en az düzeyde etkilenmek, yüklü miktardaki alışverişlerden elde edilebilecek fiyat indirimleri, toplu alımların sağladığı düşük sipariş maliyetleridir (Kobu, 2006).

Stok bulundurmak beraberinde bir takım maliyetlere yol açar. Bu maliyetler; stokları oluşturmak ve elde tutmak için kullanılan finansal gücün geçen zaman içerisinde başka kaynaklarda değerlendirilememesinden kaynaklanan sermaye maliyetleri (Kaya, 2004), stokların fiziki halde muhafaza edilmesinin oluşturduğu depolama maliyeti (Kobu, 2006), sermaye yatırımı, sigorta ve vergilerin oluşturduğu hizmet maliyetleri, stoklardaki

ürünlerin bozulması veya zaman ile kullanım özelliklerini yitirmesinden kaynaklanan risk maliyetleri (Pıçak, 2001), olarak sınıflandırılabilir.

Stokları elde bulundurmanın maliyetleri olduğu gibi bunun tam aksi durumda söz konusudur. Stok olmayan durumda ortaya çıkan maliyetler firmanın stok yapmama durumlarında karşılaşılabileceği kazanç, pazar alanı daralması, potansiyel müşteri kaybı olarak nitelendirilebilir (Kobu, 2006).

Firmaların stok bulundurmasının nedenlerini anlayarak stok yönetimini kavramak daha faydalı bir yaklaşım olacaktır. Bunlar üretim planlamasını daha kolay gerçekleştirebilmek, talepteki ani artışlara karşı cevapsız kalmamak, malzeme tedarikinde yaşanabilecek problemlerden etkilenmeyi en aza indirmek, malzeme sipariş maliyetlerini düşürmek olarak düşünülebilir.

Stok yönetiminin amacı, stok bulundurma ve stok bulundurmama maliyetlerini en aza indirmektir. Stok yönetiminin genel kavramları; stok fiyatları, sipariş maliyeti, stok bulundurma maliyeti, stok bulundurmama maliyeti olarak düşünülebilir.

Stok Fiyatları hammaddeleri temel satın alma maliyetiyken, sipariş maliyetleri ürünü tedarik etme sürecinin maliyetleridir. Stokların finansman, depolama, sevk etme, eskime, bakım ve enerji giderleri stok bulundurma maliyetiyken, yoğun talepte yok çekme zamanında tedarik edilememe gibi durumlar ise stok bulundurmama maliyeti olarak düşünülebilir. Stok yönetimindeki amaç, stok bulundurma maliyetleri ile stok bulundurmama maliyetleri arasındaki başa baş yerini tespit edip, maliyeti ve riski minimize edecek seviye stok seviyesi belirlemektir (Disney vd, 2008) .

#### **4.2.1. Stok Bulundurma Sebepleri**

Günlük imalat süreçlerinin üretim planına uygun olarak ilerleyebilmesi için bir miktar stokun işletme bünyesinde hazır bulunması gerekir. Talepte yaşanabilecek ani dalgalanmalarda veya tedarikçilerden hammadde zamanında temin edilemeyeceğinde müşteriye yok çekmemek adına stok bulundurulmalıdır. Fiyat değişikliği olabileceği zamanlarda stok maliyetlerini de göz önünde bulundurarak daha düşük sipariş maliyetleri ile büyük stok alımı yapılarak ileriye dönük finansman yükü azaltılabilir. Büyük hacimli seyrek alımlar fiyat, sevkiyat ve operasyon maliyetlerinde avantaj sağlar iken stok maliyetleri göz ardı edilirse firma bu stoklardan kaynaklı zarara uğrayabilir.

#### 4.2.2. Stokların Sınıflandırılması

Stoklar türüne, talebine ve işlevine göre alt başlıklarda sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma sistemleri stok yapma kararlarında yol gösterici niteliğinden dolayı önem arz etmektedir.

##### 4.2.2.1. Türüne Göre Sınıflandırma

Stoklar üretim süreçlerindeki yerlerine göre de sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma şekli ileriye ve geri dönük tedarik zinciri planlamalarına fikir ve yön vermek açısından önemlidir. Bu stokların aşağıdaki gibi isimlendirilebilir (Yenersoy, 2015);

- 1) Hammaddeler: Firmaların işleyerek katma değer kazandırdığı malzemeler bütünü.
- 2) Tüketim ve Sarf Malzemeleri: Bunlar imalat süresince yıpranan ya da tüketilen malzemelerdir. Makine donanım malzemeleri bu grubun içerisinde. Belirli bir kullanım ömrü bulunan malzemelerin imalatın sürekliliği açısından stoklu gidilmesi gerekir.
- 3) Yarı mamuller: İş istasyonları arasında henüz işlemi tamamlanmamış stoklardır. Stokunun halinin fazla olması işletmede darboğazlar olduğunu gösterebilir.
- 4) Geri İşleme: Müşteriye teslim edilebilmesi için gerekli kalite kontrol şartlarını sağlamayan tekrar işlenmesi ya da imha edilmesi gereken stok türüdür. İşletmede bu stok türünde hareketliliğin olması üretim ve satın alma süreçlerinin tekrar gözden geçirilmesi gerektiğini gösterir.
- 5) Son ürün: Müşteriye teslim edilmeye hazır hale getirilmiş stoklardır.

##### 4.2.2.2. Fonksiyonuna Göre Sınıflandırma

Stoklar tedarik zinciri içerisindeki operasyon pozisyonlarına göre de sınıflandırılabilir bunlar (Yenersoy, 2015):

- 1) Emniyet Stoku: Tedarik zincirinde yaşanabilecek olağan dışı hareketleri

kontrollü bir şekilde yönetebilmek için firmaların ellerinde her daim hazır bulundurdukları stoktur. Emniyet stokunun miktarını geçmiş trendler ve gelecekte gerçekleşebilecek olası talep dalgalanmaları belirler. Emniyet stoğu, stok maliyetini doğrudan etkiler. Yüksek stok miktarı yüksek stok maliyeti ortaya çıkarırken hiç stok yapmama durumu ise beraberinde yok satma maliyetini getirebilir.

- 2) Trend Stoku: Mevsimsel satışlarda işletmenin daha rahat pozisyon alması için sezon öncesi hazırlık stokudur.
- 3) Hareket Stoku: Tedarik zinciri sürecinde hammadde, yarı mamul, mamul, tüketim malzemeleri olarak sürekli hareketli olan stoktur. Hareketli stoklar hangi aşamada stok birikmesi yaşandığını tespit etmek ve üretim planlamasını belirlemek için sürekli operasyonlarda kullanılır.
- 4) Çevrim Stoku: Bir siparişin talebini karşılayabilecek stok miktarı olarak tanımlanır.

#### **4.2.2.3. Stokları Talebine Göre Sınıflandırma**

**Bağımsız Talepler:** İşletme operasyonlarından bağımsız satış ve pazarlama tarafından oluşturulan nihai ürün talebidir. Bağımsız talep tetiklenmesinden sonra işletme son ürün stokunu sorgulanıp yeterli gelmezse operasyona bağımlı talep oluşturulur (Yenersoy, 2015).

**Bağımlı Talepler:** Son ürün talebini karşılayacak kadar stok olmadığı durumlarda, üretim emrine çıkan ürünlerin henüz işlenmemiş alt ürünlere çıkardığı talebe bağımlı talep adı verilir (Doğar, 2006).

#### **4.2.3. Stok Maliyetleri**

Stok kontrolünde amaç, stoklarla beraber artan maliyetler ve stoklarla beraber azalan maliyetler arasında bir denge kurmaktır. Başlıca stok maliyetlerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

#### **4.2.3.1. Miktara Bağlı Maliyetler**

Sipariş hacmi artıkça ürünlerin birim başına düşen sipariş maliyetlerinde azalma görülebilir. Hem müşteri hem de tedarikçi firmalar için büyük miktarlarda seyrek alım yapmak sevkiyat ve operasyon maliyetlerini etkilediği için büyük miktarlı alımlarda daha avantajlı fiyatlar ortaya çıkar. Bu süreçte maliyetler yerinde düzgün hesaplanmaz ise daha sonrasında ortaya çıkacak stok maliyetleri fiyat avantajlarının önüne geçebilir (Yenersoy, 2015).

#### **4.2.3.2. Operasyon Maliyetleri**

İşletmenin sipariş alması ile birlikte başlayan maliyet türüdür. Sipariş edilen ürünün stok kontrolünden üretim aşamasına geçene kadar gerçekleşen süreçte ortaya çıkan talep akışı, bilgi akışı, tedarikçi görüşmeleri, mal kabul denetimleri, makine hatlarının hazırlanması, ürünlerin sevk edilmesi maliyetlerini kapsar. Parça parça sipariş almak hazırlık maliyetlerini artırır. Büyük boyutlu siparişler için birim başına düşen operasyon maliyeti daha düşük olacaktır (Akyurt, 2009).

#### **4.2.3.3. Direkt Malzeme Maliyetleri**

Hammadde işleme sırasında ortaya çıkabilecek maliyet türüdür. Direkt malzeme maliyetleri reçeteye bağlı ilerken uzun süredir imalatı yapılmamış ürünlerden sipariş alınması süreç kontrol standartları tam oturmamış işletmeler için hatalı üretime sebep olabilir. Bir ürünün uzun vadeli stoklanması neticesinde üretim birimleri ürünün üretim süreçleri ile ilgili hatalara düşebilir. Ortaya yeniden işlenmek durumunda kalabilen ya da imha edilmesi gerebilecek yarı mamul malzemeler çıkabilir. Bu malzemeler ise maliyeti direkt olarak etkiler.

#### **4.2.3.4. Direkt İşçilik Maliyetleri**

Belirli nitelik gerektiren işlerde işler arasında sürekli geçiş olması durumunda, personel kalifiye olsa dahi yeni sürece adapte olması zaman alır. Bu adaptasyon süresinde birim zamanda işlenebilecek ürün sayısı düşer. Bir önceki süreci unutturmayacak kadar

yeni süreç ile üretim yapmak ve stok düzeylerini bu şekilde belirlemek üretim maliyetlerini düşürebilir. Ayrıca bir operasyonun sürekliliği için istihdam edilen personel giderleri direk işçilik maliyeti olarak toplam satış fiyatının %12'sini oluşturmaktadır (Groover, 2016).

#### **4.2.3.5. Vardiya Açma ve Ek Mesai Maliyetleri**

Ani satış dalgalanmalarını ya da mevsimsel eğilimlere hazırlıksız yakalanan veya stok yapmayı tercih etmeyen firmalar müşteri siparişlerini yetiştirmek adına fazla mesai veya ek vardiya açma yolunu tercih edebilirler. Bu durumda ekstra ulaşım, yemek ve mesai maliyetleri ortaya çıkar. Bu durumda mesai yapmamak adına mevsimsel personel alımı yolu da tercih edilebilir fakat bu defada personel işe alım ve işten çıkarma, gerekli eğitimleri sağlama maliyetleri ortaya çıkar.

#### **4.2.3.6. Yok Satma ve Müşteri Kaybı Maliyeti**

Müşteriler ile sözleşme altına alınmış siparişler çeşitli sebeplerden dolayı vaktinde teslim edilemez ise müşteri ürününün kendilerine vaktinde teslim edilememiş olmasından kaynaklı uğramış olduğu zarardan ötürü sözleşme gereği hak talebinde bulunabilir. Stoksuz kalınan bu durum yok satma maliyeti olarak karşımıza gelir. Bazı durumlarda ise müşteriler ürünler zamanında tedarik edilmediği için başka tedarikçi arayışına gidebilir bunun sonucunda ise bir müşteri kaybı maliyeti ortaya çıkar (Akyurt, 2009).

#### **4.2.3.7. Deformasyon Maliyeti**

Stok yapılan hammadde ve mamul malzemelerin belirli bir raf ömrü olabilir. Yüksek seviyeli stoklarda istenen satışlar sağlanamaz ise eldeki stoklar bir sonraki döneme devreder. Stokların envantere tutma süresi uzarken bozulmaya, yıpranmaya veya nitelik kaybına uğrayabilir. Böyle durumlarda ürünlerde ambalaj değişmesi veya imha edilmesi gerekebilir bu da amacına ulaşmayan stokların ortaya çıkardığı bir maliyet türüdür (Aggarwal, 2007).

#### 4.2.3.8. Muhafaza Maliyetleri

Stokların fiziksel varlıklarını muhafaza etme gibi bir maliyeti de vardır. Hem yer işgali hem enerji bedeli olarak stoklar bir depolama masrafı çıkarır. Ayrıca sıkışık depolarda stoklanmış olan malzemeler fabrika içi hareket alanını da kısıtlayarak operasyonel maliyetin artmasına sebep olur (Aggarwal, 2007).

#### 4.2.3.9. Finansal Maliyetler

Stok yapmak için mevcut ilerleyen finansal akış dışında daha fazla sermayeye ihtiyaç duyabilir. Firma bu noktada banka kredileri ile peşin satın alma gerçekleştirirken, tedarikçilerdeki vadeli satış limitleri ile de satın alma gerçekleştirebilir. Bu durumda söz konusu ürünle ilgili fiyat avantajı kaybına uğrayabilir. Aynı zamanda stok yaptığı malzemeleri zamanında satışa çeviremez ise hem banka hem tedarikçilerine yapılacak ödemeler konusunda finansal zorluğa düşebilir. Bir diğer nokta ise mevcut sermayesini malzeme satın almasında kullandığı için sermayesini farklı yatırım kanallarında değerlendiremez. Yapmış olduğu stok yatırımını satışların akabinde yerine koyamaz ise duruma gelir ise de firma küçülmeye gitmek durumunda kalabilir.

#### 4.2.4. Güvenlik Stoku

Güvenlik stoku, bir şirketin tedarik akışını kesintisiz sağlamak için gerekli olan bitmiş ürün, hammadde veya yan girdilerin oluşturduğu stoktur. Bu malzemelerin stok miktarını belirlemek için çeşitli yöntemler mevcuttur (Hudori, 2018).

Statik Güvenlik Stoku: Ürün taleplerinin sabit olduğu ve tedarik süresinin değişmediği durumlar için kullanılır. Firma belirli bir güvenlik seviyesinde stok muhafaza eder. Bu modelde, talep ve teslimat zamanları belirlidir ve güvenlik stoku, beklenmedik talep artışları veya teslimat gecikmeleri nedeniyle meydana gelebilecek stok eksikliklerini karşılamak için tutulur (Graves ve Willems, 2003).

Matematiksel olarak, bu model aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Gonçalves vd, 2020):

$$SS = z \times \sigma_d \times \sqrt{L} \quad (4.1)$$

Burada SS, güvenlik stokunu, z, standart normal dağılımın ters fonksiyonu kullanılarak hesaplanan bir güven düzeyi katsayısı,  $\sigma_d$ , talep dağılımının standart sapması ve L, tedarik süresidir. Burada önerilen model kullanım senaryosuna göre özelleştirilebilir.

Bu modelde, güvenlik stoku hesaplandıktan sonra, belirli bir düzeyde stok tutulur ve stok seviyesi, güvenlik stokunun altına düştüğünde yeni bir sipariş verilir. Bu model, stok eksikliği riskini azaltmak kullanılmaktadır.

- Dinamik Güvenlik Stoku: Talep ve tedarik süresi değişkenliği altında oluşturulan sürekli güncellenen stok kontrol şeklidir.
- Kontrol Edilen Güvenlik Stoku: Stok seviyesinin ürün talebi ve tedarik süresine bağlı olarak belirli bir aralıkta tutulmasını sağlayan stok kontrol şeklidir.
- Minimum Stok Modeli: Stok seviyesini belirli bir limitin altına düşmemesi için oluşturulan stok kontrol şeklidir.
- Maksimum Stok Modeli: Aşırı stok birikmesinin önüne geçmek için stoklara maksimum bir limit oluşturma yöntemi ile bir stok kontrol şeklidir (Serrano vd, 2017).

Her bir model, şirketlerin belirli bir ürün veya hizmetin sürekliliğini sağlamak için gereken en uygun güvenlik stoku seviyesini belirlemelerine yardımcı olur (Hudori, 2018).

## 5. PROBLEMİN TANIMLANMASI VE FORMÜLASYON

Bu bölümde, çalışmada ele alınan problem ayrıntılı olarak tanımlanarak, tanımlanan problemin çözümü için önerilen model sunulmuştur.

### 5.1. Problem Tanımı

İşletmelerde sipariş kabul/ret problemi, üretim süresi, bütçe ve parti büyüklüğü gibi kısıtlar altında en yüksek kaynak verimliliğine ulaşmak amacıyla en uygun siparişlerin belirlenmesini hedeflemektedir. Aynı zamanda problem, karşılanmamış müşteri siparişleri için bir stok bulundurmama (yoksatma) maliyetine maruz kaldığı durumlarda stok maliyetlerini dikkate alarak stok kararlarının verilmesini de içermektedir. Temel amaç, hibrit siparişe üretim - stoka üretim sistemlerinde sipariş kabul/ret kararı ile birlikte stok politikalarını belirleyerek finansal kazançları ve kaynak kullanımını en üst düzeye çıkarmaktır.

Problemin belirlenen hedeflerinin analiz edilmesi, problemin çözümü için uygulanacak yöntem ve yaklaşımlar hakkında fikir verebilir. Bir problemin hedeflerini doğru bir şekilde analiz etmek, doğru bir çözüm bulmaya yönelik ilk adım olabilir. Ele alınan problemin hedefleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Sezon sonu bilançosunda başa başnoktasına veya daha iyi bir noktaya ulaşmak,
2. Müşteri kaybetmeden mümkün olduğunca çok sipariş talebini karşılamak,
3. Sezonu emniyet stoku ile tamamlamak,
4. Öz kaynaklardan kâr elde etmek.

Bir üretim tesisinde, hem operasyonel hem de ekonomik kısıtlamalar dâhil olmak üzere karşılaşılabilecek çeşitli sınırlamalar vardır. Üretim tesisi kısıtları üretim kapasitesi, hammadde stoku ve parti büyüklüğü sınırlamalarını içerebilir. Bu problemin kısıtlarından biri de müşteri siparişlerinin ürün bazında bölünememesidir.

Ele alınan problem için belirlenen amaçlar temel olarak karlılık, sipariş karşılama oranı ve stok seviyesi olarak tanımlanabilir.

Kârlılık, bir şirketin ticari faaliyetlerini sürdürmesi için önemli bir faktördür, ancak bazı durumlarda şirketler kârlılığa öncelik vermeyebilir ve sektörde varlıklarını sürdürmek amacıyla zararına çalışmayı kabul edilebilir bir sonuç olarak görebilir.

Sipariş karşılama oranı, müşteri kaybetme durumlarını ya da yok satma maliyetlerini doğrudan etkileyen bir unsurdur. Bu problemdeki şirket, mevcut pazarında faaliyet göstermeye devam etmek ve müşteri kaybetmekten kaçınmak istemektedir. Bunu başarmak için sipariş karşılama oranı en büyüklenmek istenmektedir.

Stok seviyelerinin belirlenmesi ve stokla ilgili kararların alınması, süreç yönetimi ve işletme kârlılığı ile doğrudan ilişkilidir. Bu problemde şirket geçen sezonu optimal stok seviyeleri ile tamamlamayı bir kriter olarak belirlemiştir. Eğer şirket mevcut stok seviyeleri ile tüm siparişleri karşılayamazsa, bu siparişler için üretim iş emri vermek zorunda kalacaktır. Ancak üretim, minimum parti büyüklükleri, hammadde stokları, finansal kaynaklar, işgücü ve kapasite gibi kendi operasyonel kısıtlarını da beraberinde getirir.

Verilen bilgilere dayanarak,  $P$  dönemlik sınırlı bir zaman ufkunda ( $p=1, \dots, P$ ) bir dizi ürüne ( $i=1, \dots, N$ ) olan talebi içeren müşteri siparişlerinin ( $j=1, \dots, M$ ) seçimi problemi ele alınmaktadır. Planlama döneminin başında her bir döneme ilişkin ön müşteri talepleri ( $d_{ijp}$ ) toplanmaktadır. Amaç fonksiyonu, toplam satış geliri ve başlangıç maliyeti, üretim maliyeti, elde tutma maliyeti, yoksatma maliyeti, fazla mesai maliyeti gibi bir dizi maliyeti dikkate alarak toplam karı optimize etmektir. Üretim kararı iki amaç için gerçekleştirilmektedir; (i) doğrudan sipariş için üretim ( $x_{ijp}$ ) ve (ii) stok için üretim ( $x_{sip}$ ). Üretim iş emri  $L$  parti büyüklüğü dikkate alınarak verilmektedir. Müşteri siparişleri de aynı şekilde doğrudan üretim üzerinden ( $x_{ijp}$ ) veya stoktan ( $y_{ijp}$ ) karşılanmaktadır. Planlama ufkunun sonunda talep oluşmaz. Dönem  $p$ 'nin sonunda ne kadar stok tutulacağı ( $r_{ip}$ ) model tarafından belirlenirken, bir stok elde tutma maliyetine neden olmaktadır. Dönem  $p$ 'de herhangi bir ürün eksikliği oluşursa, bu eksiklik daha sonra gelen dönemlerde karşılanmayacak ve yoksatma maliyeti ortaya çıkacaktır. Her dönemde toplam çalışma süresinin yarısını geçmeyecek şekilde fazla mesai eklenebilmekte ve gerçekleşmesi halinde fazla mesai maliyeti dikkate alınmaktadır. Her bir dönem üretim, elde tutma, yoksatma ve fazla mesai maliyetleri için kullanılacak toplam bütçe kısıtı ve toplam üretim zamanı kısıtı ele alınmaktadır. Sistem,  $P+1$  periyodunda çalışmayı

durduracaktır.  $P$  döneminin sonunda stokta kalan ürünler, bir sonraki planlama dönemi için güvenlik stoku olarak tutulacaktır. Dönem sonunda stok seviyelerinin alt ve üst sınırları (4.1)'de verilen formül kullanılarak elde edilecek, bu amaçla, her bir dönem için toplam talep ( $Td_{ip}$ ), ortalama talep ( $Ad_i$ ), dönemler arası talebin standart sapması ( $Sd_i$ ), (5.1) - (5.3)'te gösterilen eşitliklerden yararlanılarak hesaplanmaktadır.

$$Ad_i = \frac{\sum_{j=1}^M \sum_{p=1}^P d_{ijp}}{P} \quad \forall i = 1, \dots, N \quad (5.1)$$

$$Td_{ip} = \sum_{j=1}^M d_{ijp} \quad \forall i = 1, \dots, N; \forall p = 1 \quad (5.2)$$

$$Sd_i = \sqrt{\sum_p (Td_{ip} - Ad_i)^2 / (P - 1)} \quad \forall i = 1, \dots, N \quad (5.3)$$

Yukarıda detaylı olarak açıklanan sipariş seçimi probleminin modellenmesinde literatürden ve gerçek durumda yapılan gözlemlerden yararlanılarak aşağıdaki varsayımlar dikkate alınmıştır:

- Depo, tüm sistem çalışmadan önce bir başlangıç stok seviyesine sahiptir.
- Planlama ufkunun başlangıcında her döneme için ön müşteri siparişleri bilinmektedir ve planlama ufkunun sonunda hiçbir talep dikkate alınmaz.
- Müşteriler için müşteri bağlılığı ve satış hacmi dikkate alınarak önceden belirlenmiş farklı fiyatlandırma politikaları izlenir.
- Belirli bir dönem için siparişler/talepler o dönemin sonunda teslim edilir ve belirli bir dönem için karşılanamayan talep sonraki dönemlerde karşılanamaz.
- Bir sipariş geri çevrilirse işletme önceden belirlenmiş yoksatma cezası ile karşılaşır.
- Herhangi bir dönem için bütçe fazlası sonraki dönemlere aktarılamaz.
- Bir sipariş kabul edilirse, teslim edilen siparişin boyutu müşteri tarafından belirtilen sipariş boyutuna tam olarak eşit olmalıdır.

## 5.2. Önerilen Model

Bu bölümde sipariş seçim problemi için önerilen matematiksel model ve modeldeki amaç fonksiyonu ve kısıtlamaların açıklamaları verilmiştir. Önerilen model Ashayeri ve Selen (2001), Kalantari vd. (2011) ve Rahmani vd. (2016) çalışmaları temel alınarak geliştirilmiştir.

### Kümeler

$i$	ürünler (1, 2, ..., $N$ )
$j$	müşteri siparişleri (1, 2, ..., $M$ )
$p$	dönemler (1, 2, ..., $P$ )

### Parametreler

$d_{ijp}$	$p$ . dönemde $j$ . sipariş için $i$ . ürüne olan talep miktarı
$Sp_{ij}$	$j$ . sipariş için $i$ . ürün satış fiyatı
$s_i$	$i$ . ürün başlangıç stok miktarı
$c_i$	$i$ . ürün üretim maliyeti
$h_i$	$i$ . ürün için elde tutma maliyeti
$t_i$	$i$ . ürün birim üretim zamanı
$T$	toplam üretim zamanı
$B$	bütçe
$L$	parti büyüklüğü
$W$	depo kapasitesi
$f_j$	$j$ . sipariş için yok satma maliyeti
$w_i$	$i$ . ürün için maksimum stok miktarı
$Smin_i$	$i$ . ürün için minimum güvenlik stoku miktarı
$Smak_i$	$i$ . ürün için maksimum güvenlik stoku miktarı
$Td_{ip}$	$p$ . dönemde $i$ . ürüne olan toplam talep miktarı $\sum_{j=1}^M d_{ijp}$
$Ad_i$	$i$ . ürüne olan toplam talebin dönemlere göre ortalaması $\sum_{j=1}^M \sum_{p=1}^P d_{ijp} / P$
$Sd_i$	$i$ . ürün talebinin toplam standart sapması
$\beta_1$	güven seviyesi alt sınırı

$\beta_2$	güven seviyesi üst sınırı
$Co$	fazla mesai birim maliyeti
$wt$	toplam günlük çalışma saati
$Pd$	bir dönemde tanımlı gün sayısı
$St$	bir ürün için dönem bazlı tedarik süresi

### Karar Değişkenleri

#### Tamsayı değişkenler

$x_{ijp}$	$p$ . dönemde $j$ . sipariş için üretilen $i$ . ürün miktarı
$xs_{ip}$	$p$ . dönemde stok için üretilen $i$ . ürün miktarı
$y_{ijp}$	$p$ . dönemde $j$ . sipariş için $i$ . ürünün stoktan karşılanma miktarı
$ot_p$	$p$ . dönemde fazla mesai yapılan gün sayısı

#### İkili (0-1) değişkenler

$v_{jp}$	$p$ . dönemde $j$ . siparişi karşılanmış ise 1; aksi takdirde 0
----------	---

#### Pozitif değişkenler

$r_{ip}$	$p$ . dönem sonunda stokta kalan $i$ . ürün miktarı
----------	---

Yukarıda tanımlanan küme, parametre ve karar değişkeni bilgileri ile önerilen karma tamsayılı programlama modeli aşağıda sunulmuştur.

### Amaç fonksiyonu

$$\begin{aligned}
 ENB \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \sum_{p=1}^P (d_{ijp} \times v_{jp} \times sp_{ij}) \\
 - \left( \sum_{p=1}^P \left( \sum_{i=1}^N \left( L \times \left( xs_{ip} + \sum_j^M x_{ijp} \right) \times c_i \right) \right) \right. \\
 \left. + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (d_{ijp} \times (1 - v_{jp}) \times sp_{ij} \times f_j) + \left( \sum_{i=1}^N (r_{ip} \times h_i) \right) + ot_p \times Co \right)
 \end{aligned} \quad (5.4)$$

Amaç fonksiyonu iki ana kısımdan oluşmaktadır. İlk kısım toplam satış geliri, ikinci kısım ise sırasıyla üretim maliyeti, yoksatma maliyeti, elde tutma maliyeti ve fazla mesai maliyetini dikkate alarak toplam karın optimize edilmesi amaçlanmaktadır.

### Kısıtlar

$$L \times x_{ijp} + y_{ijp} = d_{ijp} \times v_{jp} \quad \forall i = 1, \dots, N; \forall j = 1, \dots, M; \forall p = 1, \dots, P \quad (5.5)$$

(5.5)'de gösterilen kısıt müşteri taleplerinin (eğer sipariş kabul edilecek ise) doğrudan üretilerek ya da stoktan karşılanmasını garanti eder.

$$\sum_{j=1}^M y_{ijp} \leq s_i \quad \forall i = 1, \dots, N; \forall p = 1 \quad (5.6)$$

$$s_i + (L \times xs_{ip}) - \sum_{j=1}^M y_{ijp} = r_{ip} \quad \forall i = 1, \dots, N; \forall p = 1 \quad (5.7)$$

(5.6)'da gösterilen kısıt birinci dönemde stoktan karşılanan talep miktarının başlangıç stok miktarını aşmamasını sağlar. (5.7)'de gösterilen kısıt, birinci dönem sonundaki devreden stok seviyesinin, başlangıç stoku ve birinci dönemde stok için üretilen miktarlar ile mevcut dönemde stoktan karşılanan talep miktarının farkına eşit olmasını zorunlu kılar.

$$\sum_{j=1}^M y_{ijp} \leq r_{i(p-1)} \quad \forall i = 1, \dots, N; \forall p = 2, \dots, P \quad (5.8)$$

$$r_{i(p-1)} + (L \times xs_{ip}) - \sum_{j=1}^M y_{ijp} = r_{ip} \quad \forall i = 1, \dots, N; \forall p = 2, \dots, P \quad (5.9)$$

Benzer şekilde, (5.8)'de gösterilen kısıt her dönemin sonunda stoktan karşılanan talep miktarının devreden stok miktarını aşmamasını sağlar. (5.9)'da ifade edilen kısıt ise her dönemin sonundaki stok seviyesinin devreden stok ve mevcut dönemde stok için üretilen miktar ile mevcut dönemde stoktan karşılanan miktarının farkına eşit olmasını sağlar.

$$\sum_{i=1}^N L \times \left( xs_{ip} + \sum_j x_{ijp} \right) \times t_i \leq T + (ot_p \times wt) \quad \forall p = 1, \dots, P \quad (5.10)$$

(5.10)'da gösterilen kısıt üretim kapasitesinin aşılmamasını garanti eder. Burada stoka üretim ya da siparişe üretim için gereken sürenin normal çalışma süresi ve fazla mesai süresi toplamını aşmaması sağlanır.

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^N L \times \left( x_{s_{ip}} + \sum_j^M x_{ijp} \right) \times c_i + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (d_{ijp} \times (1 - v_{jp}) \times sp_{ij} \times f_j) \\ + \left( \sum_{i=1}^N (r_{ip} \times h_i) \right) + ot_p \times Co \leq B \quad \forall p = 1, \dots, P \end{aligned} \quad (5.11)$$

(5.11)'de ifade edilen kısıt, üretim maliyeti, yoksatma maliyeti, elde tutma maliyeti ve fazla mesai maliyetinin ilgili dönemdeki bütçe içerisinde kalmasını sağlamaktadır.

$$Smin_i \leq r_{ip} \leq Smak_i \quad \forall i = 1, \dots, N; \forall p = P \quad (5.12)$$

$$Smin_i = Z_{(1-\beta_1)} * Sd_i * \sqrt{St} \quad \forall i = 1, \dots, N \quad (5.13)$$

$$Smak_i = Z_{(1-\beta_2)} * Sd_i * \sqrt{St} \quad \forall i = 1, \dots, N \quad (5.14)$$

(5.12)'de gösterilen kısıt, dönem sonu stokunun minimum güvenlik stok seviyesinin altına düşmemesini ve maksimum güvenlik stoku seviyesini aşmamasını sağlar, böylelikle güvenlik stok seviyesinin stoksuz kalmayı önlemek için yeterli olmasını sağlar. (5.12) ve (5.13)'te verilen eşitlikler ise minimum ve maksimum güvenlik stoku seviyesini hesaplar. Burada,  $\beta_1$  ve  $\beta_2$  sırasıyla güvenlik seviyesi alt ve üst sınırını ifade etmektedir. Böylelikle, standart normal dağılımdan  $(1-\beta)$  anlam düzeyi için elde edilen Z değeri ile dönemler arası talebin standart sapması ( $Sd_i$ ) ve minimum tedarik süresi ( $St$ )'nin karekökünün çarpılmasıyla dönem sonu stokunun minimum ve maksimum stok seviyelerinin arasında kalması garanti edilir.

$$\sum_{i=1}^N r_{ip} \leq W \quad \forall p = 1, \dots, P \quad (5.15)$$

(5.15)'de ifade edilen kısıt stokta tutulan ürünlerin miktarının depo kapasitesini aşmamasını sağlar.

$$\sum_{p=1}^P ot_p \leq Pd/2 \quad (5.16)$$

(5.16)'da gösterilen kısıt her dönem için fazla mesai süresi üst sınırını belirler.

$$x_{ijp} \geq 0, \text{ tamsayı} \quad \forall i = 1, \dots, N; \forall j = 1, \dots, M; \forall p = 1, \dots, P \quad (5.17)$$

$$x_{S_{ip}} \geq 0, \text{ tamsayı} \quad \forall i = 1, \dots, N; \forall p = 1, \dots, P \quad (5.18)$$

$$y_{ijp} \geq 0, \text{ tamsayı} \quad \forall i = 1, \dots, N; \forall j = 1, \dots, M; \forall p = 1, \dots, P \quad (5.19)$$

$$ot_p \geq 0, \text{ tamsayı} \quad \forall p = 1, \dots, P \quad (5.20)$$

$$v_{jp} \in \{0,1\}, \quad \forall j = 1, \dots, M; \forall p = 1, \dots, P \quad (5.21)$$

$$r_{ip} \geq 0, \quad \forall i = 1, \dots, N; \forall p = 1, \dots, P \quad (5.22)$$

(5.17)-(5.20)'de gösterilen kısıtlar sipariş için üretilen miktar, stok için üretilen miktar, stoktan karşılanan miktar ve fazla mesai yapılan gün sayısının negatif olmayacağını ve tamsayı olduğunu ifade eder. (5.21)'de ifade edilen kısıt sipariş karşılanma değişkeninin 0 ya da 1 değeri alan ikili değişken olduğunu, (5.22)'de gösterilen kısıt ise bir sonraki döneme devreden stok seviyesinin negatif olamayacağını ifade eder.

## 6. UYGULAMA

Bu bölümde, önerilen karma tamsayı programlama modelinin uygulanabilirliği, çözüm kalitesi ve gerekli hesaplama süresi açısından değerlendirilmektedir. Bu amaçla, öncelikle bir gerçek hayat uygulama örneği ve ardından problem boyutları artırılarak oluşturulmuş bir dizi test problemi üzerinde deneysel çalışma gerçekleştirilecektir. Ayrıca ele alınan gerçek hayat problemi farklı senaryolar altında detaylı olarak incelenecektir.

### 6.1. Örnek Problem

Kimyasal madde üretimi yapan bir firmada gelecek dönem siparişleri için sipariş toplama, planlama ve karar alma çalışmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Firma sipariş toplama aşamasında siparişlerin hangileri kabul edeceklerini belirlemek istemektedir. Sınırlı işgücü ve ekonomik kaynaklara sahip orta büyüklükte bir işletme olan firma, gelecek dönem bilançosunu en kötü senaryo olarak başabaş bir şekilde tamamlamayı hedeflemektedir. Elinde bir miktar ürün stoku, bir miktar nakit sermayesi vardır. Bu noktada firma bir satış araştırması ve ön sipariş toplama çalışması yapmıştır. Bu siparişleri işleme alırken aynı zamanda üretim zamanlarını, stok düzeylerini, stok maliyetlerini, yoksatma maliyetlerini göz önünde bulundurarak mevcut finans gücünden en iyi şekilde tasarruf edecektir. Bütün maliyetler ve getiriler dönemlik olarak kabul edilmiştir. Farklı ürünlere ilişkin talepleri içeren her bir sipariş bütün kabul edilmekte sipariş içerisindeki ürünlerin kısmen karşılanması söz konusu olmamaktadır. Planlama ufku dört dönem olarak belirlenmiş olup, satış fiyatları ve maliyet kalemleri planlama ufku boyunca sabit tutulmuştur.

Ele alınan gerçek hayat uygulamasında, firma tarafından üretilen 10 ürüne ilişkin siparişlerin dönemlere göre dağılımı ( $d_{ijp}$ ) Çizelge 6.1’de sunulmuştur.

Müşteriler için müşteri bağlılığı ve satış hacmi dikkate alınarak önceden belirlenmiş farklı fiyatlandırma politikaları izlenmektedir. Dolayısıyla, her bir müşteri siparişi içerisinde talep edilen ürünler için satış fiyatları ( $Sp_{ij}$ ) Çizelge 6.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 6.1. Talep miktarları

Dönem	Sipariş	Ürün									
		U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10
P1	S1	20	30	40	0	0	0	0	0	0	0
	S2	0	0	0	0	0	50	0	70	0	0
	S3	250	150	10	100	0	0	0	0	0	0
	S4	0	0	0	0	0	0	50	100	100	20
	S5	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100
	S6	0	0	0	0	30	30	20	50	0	0
P2	S1	40	30	20	0	0	0	0	0	0	0
	S2	0	0	0	0	0	20	0	40	0	0
	S3	100	180	150	80	0	0	0	0	0	0
	S5	0	0	0	0	0	0	0	0	120	150
	S7	10	10	20	20	0	0	0	0	0	0
	S8	20	0	0	0	0	0	0	0	20	20
P3	S10	0	0	0	0	0	50	20	20	0	0
	S3	180	140	10	120	0	0	0	0	0	0
	S4	0	0	0	0	0	60	90	120	30	0
	S6	0	0	0	0	40	30	50	20	0	0
	S7	50	130	10	10	0	0	0	0	0	0
P4	S9	30	40	0	0	0	0	0	0	0	100
	S1	120	20	50	0	0	0	0	0	0	0
	S2	0	0	0	0	0	50	0	80	0	0
	S5	0	0	0	0	0	0	0	0	90	110
	S6	0	0	0	0	30	30	20	80	0	0
	S8	150	0	0	0	0	0	0	0	200	110
S10	0	0	0	0	0	80	20	20	0	0	

Çizelge 6.2. Siparişe göre ürün fiyatları

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
U1	25	0	20	0	0	0	20	25	20	0
U2	70	0	70	0	0	0	70	0	70	0
U3	70	0	40	0	0	0	50	0	0	0
U4	0	0	50	0	0	0	45	0	0	0
U5	0	0	0	0	0	55	0	0	0	0
U6	0	20	0	0	0	20	0	0	0	0
U7	0	0	0	65	0	75	0	0	0	65
U8	0	105	0	105	0	105	0	0	0	125
U9	0	0	0	140	150	0	0	140	0	0
U10	0	0	0	100	80	0	0	85	95	0

Modelde kullanılan çeşitli parametre değerleri, başlangıç stok miktarı  $s_i$ , birim üretim maliyeti  $c_i$ , elde tutma maliyeti  $h_i$ , birim üretim zamanı  $t_i$ , yok satma maliyeti  $f_j$  Çizelge 6.3'te sunulmuştur.

**Çizelge 6.3.** Parametre değerleri

	Başlangıç stok miktarı ( $s$ )	Birim üretim maliyeti ( $c$ )	Elde tutma (stok) maliyeti ( $h$ )	Birim üretim zamanı ( $t$ )	Yok satma maliyeti ( $f$ )
U1	40	15	0,75	0,5	0,08
U2	60	55	1,75	0,8	0,07
U3	20	35	1,05	0,3	0,08
U4	10	45	1,25	0,7	0,04
U5	20	45	1,50	0,4	0,05
U6	30	15	0,75	1,2	0,03
U7	40	60	2,00	0,6	0,06
U8	70	95	2,75	0,5	0,07
U9	50	120	4,25	1	0,1
U10	50	75	1,25	0,2	0,05

Modelde yararlanılan sabitlere ilişkin değerler, açıklamaları ile birlikte Çizelge 6.4'te verilmiştir.

**Çizelge 6.4.** Kullanılan sabit parametre değerleri

Açıklama	Parametre	Değer
% 95 anlamlılık düzeyi için z skoru	$\beta_1$	1,96
% 99 anlamlılık düzeyi için z skoru	$\beta_2$	2,57
Toplam üretim zamanı (saat/dönem)	T	528
Bütçe (pb)	B	100.000
Parti büyüklüğü (birim)	L	10
Depo kapasitesi (birim)	W	1000
Fazla mesai maliyeti (pb/gün)	Co	70
Günlük çalışma süresi (saat/gün)	WT	8
Bir periyotta tanımlı çalışma gün sayısı (gün/dönem)	Pd	66
Tedarik süresi (dönem)	ST	0,5

## 6.2. Çözüm Yaklaşımı ve Çıktıları

Problemin çözümü için oluşturulan matematiksel model GAMS 23.3 yazılımı ile CPLEX çözücüsü kullanılarak çözülmüştür. Çözüm süresi üst sınırı 1000 sn. olarak belirlenmiştir.

Dört dönem boyunca toplanan 24 müşteri siparişi arasından 16 sipariş kabul edilip karşılanırken, 8 sipariş ret edilmiştir. Çizelge 6.5 'te sipariş kabul/ret durumu sunulmuştur.

Çizelge 6.5. Sipariş kabul/ret durumu ( $V_{jp}$ )

		Dönemler			
		1	2	3	4
Siparişler	1	Evet	Evet		Evet
	2	<i>Hayır</i>	Evet		<i>Hayır</i>
	3	<i>Hayır</i>	Evet	<i>Hayır</i>	
	4	Evet		Evet	
	5	Evet	Evet		Evet
	6	Evet		Evet	<i>Hayır</i>
	7		Evet	Evet	
	8		Evet		Evet
	9			Evet	
	10		<i>Hayır</i>		<i>Hayır</i>

MTO – Sipariş için Üretim miktarları ( $x_{jip}$ ): Toplam 2770 birim ürün doğrudan müşteri siparişleri için ilgili dönem içerisinde üretilmiştir. Çizelge 6.6'da,  $x_{jip}$  karar değişkenine ilişkin değerler sunulmuştur.

Çizelge 6.6. Siparişe üretim miktarları ( $x_{ijp}$ )

Ürün	Sipariş	Dönem			
		1	2	3	4
1	1		40		60
1	3		70		
1	7			40	
1	8				50
1	9			30	
2	1		30		20
2	3		150		
2	7		10	130	
2	9			40	
3	1	20	20		50
3	3		150		
3	7		20	10	
4	3		80		
4	7		20		
5	6	10		40	
6	6	30			
7	4	10		60	
7	6	20		50	
8	2		40		
8	4	30		90	
8	6	50		20	
9	4	100		120	
9	5	50	120		90
9	8		20		200
10	4			30	
10	5	70	150		100
10	8		20		110
10	9			100	

MTS – Stok için Üretim miktarları ( $xs_{ip}$ ): Toplam 1090 birim ürün daha sonraki dönemlerde kullanılmak üzere stoka üretilmiştir. Çizelge 6.7’de,  $xs_{ip}$  karar değişkenine ilişkin değerler verilmiştir.

**Çizelge 6.7.** Stoka üretim miktarları ( $XS_{ip}$ )

	Dönem			
	1	2	3	4
1	280			
2			10	160
3				110
4			70	10
5				20
6	100			
7				50
8				100
9				110
10			70	

Stoktan karşılanan ürün miktarları ( $y_{ijp}$ ): Başlangıç stoku ve önceki dönemlerde stok için üretilen ürünlerde toplam 730 birim ürün müşteri siparişlerinin karşılanması için kullanılmıştır. Stoktan karşılanan ürün miktarları Çizelge 6.8’de verilmiştir.

**Çizelge 6.8.** Stoktan karşılanan ürün miktarları ( $y_{ijp}$ )

Ürün	Sipariş	Dönem			
		1	2	3	4
1	1	20			60
1	3		30		
1	7		10	10	
1	8		20		100
2	1	30			
2	3		30		
3	1	20			
4	7			10	
5	6	20			
6	2		20		
6	6			30	
7	4	40			
8	4	70			
9	5	50			
10	4	20			
10	5	20			10

Dönem sonunda devreden stok miktarları ( $r_{ip}$ ): Her dönem sonunda devreden stok miktarları Çizelge 6.9’da sunulmuştur.

**Çizelge 6.9.** Dönem sonlarında devreden stok miktarı ( $r_{ip}$ )

	Dönem			
	1	2	3	4
1	300	240	230	70
2	30		10	170
3				110
4	10	10	70	80
5				20
6	130	110	80	80
7				50
8				100
9				110
10			70	60

Toplam çalışma ve fazla mesai süreleri ( $ot_p$ ): Dönem içinde gerçekleşen normal çalışma süresi ve fazla mesai süresi aşağıdaki Çizelge 6.10 gösterilmiştir.

**Çizelge 6.10.** Dönemlere ilişkin çalışma süreleri

Dönem	Normal Çalışma süresi	Fazla Mesai süresi
1	528	
2	528	
3	528	
4	528	256

Modelde parametre olarak kullanılan en düşük güvenlik stok miktarı ve en yüksek güvenlik stok miktarı Çizelge 6.11’de gösterildiği gibidir.

**Çizelge 6.11.** En düşük ve en yüksek güvenlik stoku seviyeleri

Ürün	En Düşük Stok	En Yüksek Stok
1	70	90
2	170	220
3	110	140
4	80	100
5	20	30
6	80	10
7	50	70
8	100	130
9	110	140
10	60	80

Problemin amaç fonksiyonu değeri 11.524 Pb. olarak elde edilmiştir.

### 6.3. Senaryo Analizi

Bu bölümde bazı kısıt ve parametreler üzerinde değişiklikler yapılarak önerilen modelin potansiyel sonuçlarının keşfedilmesi ve karar vericilere etkili stratejiler formüle etmeleri için bir senaryo analizi sunulacaktır. Ayrıca model davranışının ve uygulanabilirliğinin test edilmesi hedeflenmektedir. Bu amaçla öncelikle problemde ele alınan amaç ve kısıtlar için esneklik durumları incelenmiştir.

Problemin amaçlarının matrisi Tablo 6'da belirtilmiştir. Problemdaki mevcut amaçlar ile çözüm üretilemediği durumlarda Çizelge 6.12'te sunulan amaç matrisinden, vazgeçilebilir veya esnetilebilir amaçlar tespit edilebilir veya bu amaçlara birer ağırlık çarpanı verilerek problem daha farklı bir amaç fonksiyonuna sahip olabilir.

Çizelge 6.13'te sunulan sınıflandırma kullanılarak ana modelde esneklik sağlanabilecek kısıtlara göre problem için daha farklı çözümler üretilebilir. Bir çözüme ulaşamadığında karar vermek için kısıtlar matrisi kullanılabilir.

Çizelge 6.12. Amaçların sınıflandırılması

Amaçlar		Esneklik		
		Düşük	Orta	Yüksek
Önem	Yüksek	Kar hedefinin maksimizasyonu		
	Orta			Yoksatma maliyetinin minimizasyonu
	Düşük	Üretim maliyetinin minimizasyonu	Stok maliyetinin minimizasyonu	Fazla mesai maliyetinin minimizasyonu

Çizelge 6.13. Kısıtların sınıflandırılması

	Esneklik					
	Düşük		Orta		Yüksek	
Kısıtlar	Üretim zamanı	Depo kapasitesi	Siparişteki ürünlerin bütün olarak karşılanması	Emniyet stok seviyelerinin sağlanması	Bütçe	Minimum üretim parti boyutu

### 6.3.1. Senaryo 1 - Stok Kontrol Limitlerinin Farklı Uygulamaları

Her dönem için stok kontrol limitlerinin uygulanması ve hiç uygulanmaması sonucunda çözüm çıktıları Çizelge 6.14'te gösterildiği gibi değişmektedir. Burada mevcut modelde sunulan (5.12) kısıtı (6.1) ile değiştirilerek her dönem sonunda emniyet stoku alt ve üst sınırı dikkate alınmıştır (Çizelge 6.14 - sütun 2). Diğer bir senaryoda ise mevcut modeldeki (5.12) numaralı kısıt tamamen kaldırılarak emniyet stok kısıtsız olarak model çalıştırılmıştır (Çizelge 6.14 - sütun 3).

$$Smin_i \leq r_{ip} \leq Smak_i \quad \forall i = 1, \dots, N; \forall p = 1, \dots, P \quad (6.1)$$

Çizelge 6.14. Stok kontrol limitlerinin farklı senaryolar altında incelenmesi

	Son dönem stok limitli (mevcut model)	Her dönem sonu stok limitli model	Stok limitsiz model
Amaç fonksiyonu değeri (Pb)	11.524	7.733,5	74.521,0
Çözüm Süresi (Sn)	0,51	2,31	0,33
Envanter Yatırımı	200.600,0	200.600,0	0
Toplam Getiri	212.124,5	208.333,5	74.521,0
Sipariş Karşılama Oranı	17/24	16/24	18/24
Siparişe Üretim Miktarı (Adet)	2770	2590	3920
Stoka Üretim Miktarı (Adet)	1090	1240	10
Stoktan Siparişe Teslim Miktarı (Adet)	630	780	400

Stok kontrol limitlerinin her dönem sonunda uygulanması karşılanan sipariş miktarını artırırken amaç fonksiyonu en düşük değerini almıştır. Bu düşüşün sebebi modelin bir sonraki döneme stok devretmek için bazı siparişleri kabul etmemesi ve bütçe miktarını stoklara yöneltmesi olarak değerlendirilebilir.

Stok kısıtları tamamen kaldırıldığında ise mevcut koşullar altında model stoka üretmek yerine tamamını siparişe üretmeyi tercih edip en yüksek sipariş karşılama durumuna geçmiştir. Aynı zamanda amaç fonksiyonu bu şekilde en yüksek değerini almıştır. Bunun başlıca sebebi her dönem için belirlenen bütçenin siparişleri karşılamak için yeterli olması ve stok maliyetlerinin negatif etkisini azaltmak olarak değerlendirilebilir.

### 6.3.2. Senaryo 2 - Genel Dönemlik Bütçenin Azaltılması

Bu senaryoda bütçenin azaltılmasının kabul edilen sipariş sayısına ve amaç fonksiyonu değerine etkisi incelenmektedir.

Sezonluk bütçe değeri ( $B$ ) 100.000 Pb'den 50.000 Pb'ye düşürüldüğünde, model davranışı min-mak stok limiti olduğunda bütçeyi bu stok yapmak için tahsis eder. Ancak min-mak stok kısıtı kaldırıldığında bütçe bir sonraki dönemde gelecek siparişler için stok

oluşturmaya odaklanır. Model davranışı, kısıtlı bütçe durumundan öngörülen siparişlerin stokunu yapmak olarak değerlendirilebilir. Çizelge 6.15'te görüldüğü üzere, min-mas stok kısıtlı senaryoda 24 sipariştten 11'i kabul edilirken, stok kısıtsız durumda 24'te 15 olarak gerçekleşmiştir. Ayrıca Çizelge 6.15'te görüldüğü gibi model daha sıkı kısıtlar altında çalıştığında çözüm süresi üst limite takılmaktadır.

**Çizelge 6.15.** Bütçenin yarıya düşürülmesi durumunda model davranışı

	Mevcut model	Stok limitsiz model
<b>Amaç fonksiyonu değeri - Alt sınır (a)</b>	1.357,5	68.379,5
<b>Amaç fonksiyonu değeri - Üst sınır (b)</b>	1.544,4	68.379,5
<b>Yüzde sapma değeri (GAP) <math>\frac{(b-a)}{a} \times 100</math></b>	13,77	0,0
<b>Çözüm Süresi (Sn)</b>	1000	0,94
<b>Envanter Yatırımı</b>	200.600,00	0
<b>Toplam Getiri</b>	201.957,50	68.379,5
<b>Sipariş Karşılama Oranı</b>	11/24	15/24
<b>Siparişe Üretim Miktarı (Adet)</b>	2430	3180
<b>Stoka Üretim Miktarı (Adet)</b>	1070	240
<b>Stoktan Siparişe Teslim Miktarı (Adet)</b>	7100	630

### 6.3.3. Senaryo 3 - Stok Kontrol Döneminin Değiştirilmesi

Bir diğer senaryoda ise sadece son dönem bütçesinin 100.000 Pb'den 20.000 Pb'ye düşürülmüş, stok kontrol noktası 4. dönemden 3. döneme alınmıştır ve stok limitinin hiç uygulanmaması ile kıyas edilmiştir. Burada mevcut modelde sunulan (5.12)'de verilen kısıt (6.2) ile değiştirilerek her dönem sonunda emniyet stoku alt ve üst sınırı dikkate alınmıştır (Çizelge 6.16 - sütun 1).

$$Smin_i \leq r_{ip} \leq Smak_i \quad \forall i = 1, \dots, N; \forall p = 3 \quad (6.2)$$

Çizelge 6.16. Son dönem bütçesi azaltma ve stok kontrol noktası değişimi

	3. dönem Min -Mak Stok limitli model	Stok limitsiz model
Amaç fonksiyonu değeri (Pb)	42.682,5	69.341,5
Çözüm Süresi (Sn)	0,60	0,52
Envanter Yatırımı	63.000,0	0
Toplam Getiri	105.682,5	69.341,5
Sipariş Karşılama Oranı	17/24	18/24
Siparişe Üretim Miktarı (Adet)	2270	2950
Stoka Üretim Miktarı (Adet)	1050	660
Stoktan Siparişe Teslim Miktarı (Adet)	1130	1050

Toplam kaynak kullanımı etkin bir şekilde gerçekleştirmek amacıyla stok limitlerinin farklı dönemler için belirlenmesi ortaya çıkabilecek talep artışlarına cevapsız kalmamak adına iyi bir seçenek olarak düşünülebilir.

#### 6.3.4. Senaryo 4 - Sipariş Bölünemez Kısıtlamasının Kaldırılması

Bu senaryoda, problem varsayımlarında belirtilen, teslim edilen siparişin boyutu müşteri tarafından belirtilen sipariş boyutuna tam olarak eşit olmalıdır kısıtı esnetilerek siparişlerin kısmen karşılanmasına izin verilecektir. Bu amaçla, öncelikle modelde tanımlanan  $v_{jp}$  karar değişkeni tüm modelde (amaç fonksiyonu ve kısıtlarda)  $v_{ijp}$  olarak değiştirilmiştir.

$v_{ijp}$   $p$ . dönemde  $j$ . sipariş içerisinde bulunan  $i$  ürünü karşılanmış ise 1; aksi takdirde 0.

Siparişlerin bütün halde karşılanmasını sağlayan kısıtlama kaldırıldığı zaman model bir sipariş altında getirisi en yüksek ürünlerin siparişini karşılamaktadır. Siparişe üretim miktarları Çizelge 6.17'de, Stoka üretim miktarları Çizelge 6.18, dönem sonlarında devreden miktarlar Çizelge 6.20'de detaylı olarak gösterilmiştir.

**Çizelge 6.17.** Bölünebilir sipariş durumunda siparişe üretim miktarları ( $x_{ijp}$ )

Ürün	Sipariş	Dönem			
		1	2	3	4
1	1	20	40		20
1	8				50
2	1	30	30		
2	3	90	180	140	
2	7		10	130	
2	9			30	
3	1	20	20		50
3	3	10	150	10	
3	7		20	10	
5	6	10		40	30
7	6			30	20
8	2	70	40		80
8	4	30		90	
8	6	50		20	
8	10		20		20
9	4	100		120	
9	5	50	120		90
9	8		20		200
10	4	20		30	
10	5	50	150		20
10	8		20		10
10	9			100	

**Çizelge 6.18.** Bölünebilir sipariş durumunda stoka üretim miktarları ( $x_{Sip}$ )

Ürün	Dönem			
	1	2	3	4
1	220	10	10	10
2		20		160
3				110
4		70		
5			10	10
6	50			
7				50
8				100
9				110
10			190	60

**Çizelge 6.19.** Bölünebilir sipariş durumunda devreden stok miktarları ( $r_{ip}$ )

	<b>Dönem</b>			
	1	2	3	4
1	260	250	260	70
2		20		170
3				110
4	10	80	80	80
5			10	20
6	80	80	80	80
7	20	20		50
8				100
9				110
10			190	60

Çizelge 6.20’de görüldüğü gibi siparişler parça parça karşılanabildiği zaman model kar amacını eniyileyecek getirisi yüksek siparişleri karşılama yoluna gidiyor. Ürün bazında karşılanan miktar azalmasına rağmen amaç fonksiyonu değerinin artması modelin kar marjı fazla olan ürünlere yöneldiğini açıkça göstermektedir.

**Çizelge 6.20.** Sipariş bölünebilir senaryosu sonuçları

	<b>Sipariş Bölünemez</b>	<b>Sipariş Bölünebilir</b>
<b>En iyi Sonuç (Pb)</b>	11.524,0	18.316,5
<b>Çözüm Süresi (Sn)</b>	0,51	0,42
<b>Envanter Yatırımı</b>	200.600,0	200.600,0
<b>Toplam Getiri</b>	212.124,5	218.916,5
<b>Sipariş Karşılama oranı (ürün bazında)</b>	54/76	51/76
<b>Siparişe Üretim Miktarı (Adet)</b>	2770	2710
<b>Stoğa Üretim Miktarı (Adet)</b>	1090	1190
<b>Stoktan Siparişe Teslim Miktarı (Adet)</b>	630	730

### 6.3.5. Senaryoların karşılaştırılması

Bu bölümde, matematiksel modelin duyarlılığının test edilmesi ve senaryolara ilişkin sonuçların karşılaştırılması amacıyla bir özet tablo sunulmuştur (Çizelge 6.21).

Çizelge 6.21. Senaryo sonuçları

	Mevcut Model	Senaryo 1 Tüm dönemler stok limitli	Senaryo 1 Stok limitsiz	Senaryo 2 Bütçe yarım	Senaryo 2 Bütçe yarım, stok limitsiz	Senaryo 3 3. dönem stok limitli	Senaryo 4 Siparişler bölünebilir
Amaç fonksiyonu değeri - Alt sınır (a)	11.524	7.733,5	74.521,0	1.357,5	68.379,5	42.682,5	18.316,5
Amaç fonksiyonu değeri - Üst sınır (b)	11.524	7.733,5	74.521,0	1.544,4	68.379,5	42.682,5	18.316,5
Yüzde sapma değeri (GAP) $\frac{(b-a)}{a} \times 100$	0,00	0,00	0,00	13,77	0,0	0,00	0,00
Çözüm Süresi (Sn)	0,51	2,31	0,33	1000	0,94	0,60	0,42
Envanter Yatırımı	200.600,0	200.600,0	0	200.600,00	0	63.000,0	200.600,0
Toplam Getiri	212.124,5	208.333,5	74.521,0	201.957,50	68.379,5	105.682,5	218.916,5
Sipariş Karşılama Oranı	17/24	16/24	18/24	11/24	15/24	17/24	51/76
Siparişe Üretim Miktarı (Adet)	2770	2590	3920	2430	3180	2270	2710
Stoka Üretim Miktarı (Adet)	1090	1240	10	1070	240	1050	1190
Stoktan Siparişe Teslim Miktarı (Adet)	630	780	400	7100	630	1130	730

### 6.4. Deneysel Çalışma

Bu bölümde, çok dönemli, çok ürünlü imalat sistemlerinde optimal sipariş kabul/ret ve stok kararlarının belirlenmesine yönelik önerilen matematiksel modelin doğrulanması için bir deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir.

Bu doğrultuda, öncelikle veri setlerinin üretilmesi amacıyla ürün ve sipariş sayıları 5 farklı seviye için  $10 \times 10$ ,  $20 \times 20$ ,  $30 \times 30$ ,  $40 \times 40$  ve  $50 \times 50$  olarak tanımlanmıştır. Dönem sayısı ise 4 olarak alınmıştır. Ayrıca, her bir test probleminde kullanılan sipariş yoğunluğu bir katsayı ( $\alpha$ ) ile temsil edilmiştir. Bu değer,  $\alpha = \text{toplam sipariş sayısı} / (N * M * P)$  formülü ile hesaplanmaktadır. Örneğin,  $50 \times 50 \times 4$ 'lük bir problemde,  $\alpha = 0,10$  için 1000 sipariş tanımlanırken,  $\alpha = 0,20$  için 2000 sipariş tanımlanmaktadır. Böylelikle sipariş yoğunluğunun modele etkisi daha açık şekilde gözlemlenecektir.

Deneysel çalışmada kullanılan parametre değerleri Çizelge 6.22’de özetlenmiştir. Talep miktarı, başlangıç stok miktarı, birim üretim, yoksatma ve elde tutma maliyetleri, üretim süresi ve satış fiyatları düzgün (uniform) dağılıma uygun şekilde en büyük problem boyutu (50x50x4) için üretilmiştir. Diğer problem boyutları için ise aynı veri eksiltilerek kullanılmıştır. Ekler bölümünde problemlere ilişkin tüm parametre değerleri sunulmuştur.

**Çizelge 6.22.** Deneysel çalışma için kullanılan parametre değerleri

Parametre	Değer
Talep miktarı ( $d_{ijp}$ )	U(10, 100)
Başlangıç stok miktarı ( $s_i$ )	U(10, 100)
Üretim maliyeti ( $c_i$ )	U(15, 150)
Yoksatma maliyeti ( $f_j$ )	U(0,01, 0,05)
Elde tutma maliyeti ( $h_i$ )	U(1,5)
Üretim süresi ( $t_i$ )	U(0,1, 1,0)
Satış fiyatı ( $Sp_{ij}$ )	U(0,9 $c_i$ , 1,3 $c_i$ )
Bütçe (B)	100.000
Üretim süresi (T)	528
Depo kapasitesi (W)	12.000

Oluşturulan test problemleri, GAMS/CPLEX optimizasyon yazılımı kullanılarak çözülmüştür. GAMS/CPLEX çözücüsü için çözüm süresi üst limiti 3600 sn. olarak belirlenmiştir. Bu sürenin sonunda algoritma durdurularak alt sınır, üst sınır ve yüzde sapma değerleri alınmıştır. Çizelge 6.23’de üretilen 10 test problemi için elde edilen amaç fonksiyonu değerleri ve çözüm süreleri sunulmuştur. Çözüm sonuçları karşılaştırıldığında, genel olarak sipariş yoğunluğunun artmasının çözüm süresine etkisi olduğu görülmüştür. Benzer şekilde, problem boyutları arttıkça çözüm sürelerinde üstel bir artış gözlenmiştir. CPLEX çözücüsü ilk 5 problem için kabul edilebilir sürelerde optimale ulaşırken, 8 ve 9 numaralı problemlerde ise 1000 saniyenin üzerinde sürelerde optimalite sağlamıştır. Diğer problemler ise (6,7 ve 10) 3600 sn. süre limitine takılmıştır. Bu problemler için yüzde sapma değerleri tabloda sunulmuştur.

**Çizelge 6.23.** Deneysel çalışma sonuçları

Problem no	Ürün sayısı	Sipariş sayısı	Dönem sayısı	Sipariş yoğunluğu ( $\alpha$ )	CPLEX Alt sınır	CPLEX Üst sınır	Yüzde sapma-GAP (%)	Çözüm süresi (sn)
1	10	10	4	0,10	69467,6	69467,6	0,00	0,27
2	10	10	4	0,20	90741,5	90741,5	0,00	0,38
3	20	20	4	0,10	162074,2	162074,2	0,00	0,93
4	20	20	4	0,20	140405,6	140405,6	0,00	22,03
5	30	30	4	0,10	200881,1	208881,1	0,00	45,03
6	30	30	4	0,20	134598,2	134598,2	0,02	3600
7	40	40	4	0,10	213321,9	213431,8	0,05	3600
8	40	40	4	0,20	79391,0	79391,0	0,00	1004,59
9	50	50	4	0,10	198758,3	198758,3	0,00	1793,93
10	50	50	4	0,20	65839,8	97001,2	32,12	3600

## 7. SONUÇLAR

Üretim planlaması, bir şirketin üretim sürecinin nasıl gerçekleştirileceğini belirlemektedir. Önceki araştırmalar genellikle tamamen talep odaklı (MTO) veya tamamen stok odaklı (MTS) geleneksel yöntemlere odaklanmıştır. Ancak, bu yöntemler müşteri taleplerini tam olarak karşılamada sınırlılıklara sahiptir. Bu nedenle, müşteri taleplerine daha iyi yanıt verebilen MTO-MTS hibrit yaklaşımları geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, literatürde tanımlanan eksikliklerin göz önünde bulundurulmasıyla, çok dönemli ve çok ürünlü üretim sistemlerinde optimal sipariş kabul/ret ve stok kararlarını belirlemek için bir karma tamsayı programlama modeli önerilmektedir. Önerilen matematiksel model, farklı müşteri profillerine sahip olan farklı fiyat politikalarını, emniyet stoku için alt ve üst sınırları ile parti büyüklüklerini dikkate alarak üretim ve stok kararlarını birlikte ele almaktadır. Bu şekilde, satış ve üretim süreçlerindeki belirsizlikle başa çıkmak ve kaynakları verimli bir şekilde kullanmak için sürecin rasyonel bir temele oturtulması amaçlanmaktadır. Önerilen yöntem, maliyet kalemleri ve kısıtlar açısından esneklik sağlamasıyla, literatürde önerilen diğer yöntemlerden farklılık göstermektedir ve uygulamaya bağlı olarak özelleştirilebilir niteliktedir.

Genel olarak, model ve çıktılar incelendiğinde, siparişlerin bir sisteme bağlı olarak kabul edilmesinin satış ve üretim süreçlerine olumlu katkısı anlaşılmaktadır. İşletmelerin satış ve üretim organizasyonlarının uyumlu çalışması gerekliliğinin önemi açıktır. Ayrıca, bu çalışmada karma müşteri profilleri ve belirsizlik altında stoka üretim ve siparişe üretimin hibrit şekilde uygulanması gerekliliği ortaya konulmuştur. Stok maliyetlerinin ve üretim kısıtlarının kar amacına etkisinin göz ardı edilmemesi gerektiği anlaşılmaktadır. Hibrit üretimin bir işletmeye sağladığı üretim esnekliği, stok maliyetlerini düşürmesi bununla birlikte belirsiz sipariş taleplerine veya tedarik zincirindeki kopmalara karşı emniyet stoku barındırmasının faydaları gösterilmiştir. Stok maliyetlerinin detaylı bir şekilde incelendiği bu çalışmada bu maliyet türlerinin üretim süreçlerinde alınan kararlara etkisi vurgulanmıştır.

Önerilen modelin bazı sınırlılıkları da mevcuttur. Parametre değerlerinin sıkı şekilde tanımlandığı veya problemin boyutunun arttığı durumlarda model çözüm süreleri artmaktadır. Bu durumda, sezgisel veya meta-sezgisel yöntemler model çözümü için ele

alınabilir. Modelde amaç fonksiyonu olarak karın en büyüklenmesi kullanılmıştır. Bunun yanı sıra sipariş karşılama oranı vb. çelişen amaçlar modele dahil edilerek model çok amaçlı hale getirilebilir ve dinamik programlama kullanılarak yada ölçeklendirme yöntemleri ile çözüme ulaşılabilir.

Çalışmada önerilen modelin gerçek dünya problemlerine uygun olarak özelleştirilebilir olması da dikkate alınmıştır. Bu sebeple gelecek çalışmalarda, bütçe opsiyonu olarak kredi ve vadeli alış seçeneği de tanımlanabilir. Ayrıca dış kaynak kullanımı seçeneği modele dahil edilebilir. Önerilen sipariş seçim modeli genişletilerek üretim ile ilgili daha detaylı kararlar modele entegre edilebilir, örneğin, ürünlerle ilgili işlem sıraları, makina parkurları ve teslim zamanları tanımlanarak model sipariş seçimimin yanı sıra çizelgeleme ile süreci bütünsel olarak ele alabilir. Modelde ürünler için bir reçete ve alt ürün kümesi de tanımlanabilir. Bu tanımlamanın akabinde, alt ürün kümeleri hammadde olarak tanımlanarak malzeme maliyetleri üretim maliyetlerinden ayrılabilir. Böylece model, bitmiş ürün stoku ile birlikte hammadde stokunu da optimize edebilir. Model içinde kullanılan stok kontrol yöntemi, her dönem için kendini güncelleyecek şekilde tanımlanabilir. Bu şekilde, dinamik stok kontrol yöntemi ile her dönem için ayrı olarak stok miktarları hesaplanabilir.

## KAYNAKLAR

- Abedi, A., & Zhu, W. (2020). An advanced order acceptance model for hybrid production strategy. *Journal of manufacturing systems*, 55, 82-93.
- Aggarwal, S. C. (1974). A review of current inventory theory and its applications. *International Journal of Production Research*, 12(4), 443-482.
- Akyurt İ.Z. (2009). Ürün Stok Politikalarının Olasılıklı Talep Yapısı Altında Markov Karar Süreci İle Analizi. Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Üretim Bilim Dalı*, İstanbul.
- Aleman, M. M. E., Ortiz, A., & Fuertes-Miquel, V. S. (2018). A decision support tool for the order promising process with product homogeneity requirements in hybrid Make-To-Stock and Make-To-Order environments. Application to a ceramic tile company. *Computers & Industrial Engineering*, 122, 219-234.
- Aminzadegan, S., Tamannaie, M., & Fazeli, M. (2021). An integrated production and transportation scheduling problem with order acceptance and resource allocation decisions. *Applied Soft Computing*, 112, 107770.
- Aouam, T., & Brahim, N. (2013). Integrated production planning and order acceptance under uncertainty: A robust optimization approach. *European Journal of Operational Research*, 228(3), 504-515.
- Arslan, R. (2018). Çok kriterli karar verme yöntemlerinin karşılaştırılması ve bütünleştirilmesi: OECD verileri üzerine bir uygulama. *Yayımlanmamış Doktora Tezi*. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sivas.
- Ashayeri, J., & Selen, W. J. (2001). Order selection optimization in hybrid make-to-order and make-to-stock markets. *Journal of the Operational Research Society*, 52(10), 1098-1106.
- Azevedo, R. C., D'Amours, S., & Rönnqvist, M. (2016). Advances in profit-driven order promising for Make-To-Stock environments—a case study with a Canadian softwood lumber manufacturer. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 54(3), 210-233.
- Balakrishnan, N., Sridharan, V., & Patterson, J. W. (1996). Rationing capacity between two product classes. *Decision Sciences*, 27(2), 185-214.
- Caskey, K. R. (2004). From Order Acceptance To Order Portfolio Management For Small Manufacturers.

- Chen, J., & Dong, M. (2014). Available-to-promise-based flexible order allocation in ATO supply chains. *International Journal of Production Research*, 52(22), 6717-6738.
- Clay, P. (1990). Advanced available to promise: concepts/techniques. In American Production & Inventory control Society, conference proceeding CFPIM.
- Disney, S. M., & Lambrecht, M. R. (2008). On replenishment rules, forecasting, and the bullwhip effect in supply chains. *Foundations and Trends® in Technology, Information and Operations Management*, 2(1), 1-80.
- Doğar, A. (2006). Tedarik Zincirinde Stok Yönetimi (*Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü*).
- Easton, F. F., & Moodie, D. R. (1999). Pricing and lead time decisions for make-to-order firms with contingent orders. *European Journal of operational research*, 116(2), 305-318.
- Ebadian, M., Rabbani, M., Jolai, F., Torabi, S. A., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2008). A new decision-making structure for the order entry stage in make-to-order environments. *International Journal of Production Economics*, 111(2), 351-367.
- Ertuğrul, İ., & Tanrıverdi, Y. (2013). Stok kontrolde ABC yöntemi ve AHP analizlerinin iplik işletmesine uygulanması. *Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi*, 5(1), 41-52.
- Ghadimi, F., Aouam, T., Haeussler, S., & Uzsoy, R. (2022). Integrated and hierarchical systems for coordinating order acceptance and release planning. *European Journal of Operational Research*, 303(3), 1277-1289.
- Gonçalves, J. N., Carvalho, M. S., & Cortez, P. (2020). Operations research models and methods for safety stock determination: A review. *Operations Research Perspectives*, 7, 100164.
- Gössinger, R., & Kalkowski, S. (2015). Robust order promising with anticipated customer response. *International Journal of Production Economics*, 170, 529-542.
- Graves, S. C., & Willems, S. P. (2003). Supply chain design: safety stock placement and supply chain configuration. *Handbooks in operations research and management science*, 11, 95-132.
- Groover, M. P. (2016). Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing. Pearson Education India.

- Güzelcik, E. (1999). Küreselleşme ve işletmelerde değişen kurum imajı. *Marmara Üniversitesi (Turkey)*.
- Han, B., Zhang, W., Lu, X., & Lin, Y. (2015). On-line supply chain scheduling for single-machine and parallel-machine configurations with a single customer: Minimizing the makespan and delivery cost. *European Journal of Operational Research*, 244(3), 704-714.
- Hendry, L. C., & Kingsman, B. G. (1989). Production planning systems and their applicability to make-to-order companies. *European journal of operational research*, 40(1), 1-15.
- Hudori, M. (2018). Formulasi Model Safety Stock dan Reorder Point untuk Berbagai Kondisi Persediaan Material. *Jurnal Citra Widya Edukasi*, 10(3), 217-224.
- Iravani, S. M., Liu, T., & Simchi-Levi, D. (2012). Optimal production and admission policies in make-to-stock/make-to-order manufacturing systems. *Production and operations management*, 21(2), 224-235.
- Kalantari, M., Rabbani, M., & Ebadian, M. (2011). A decision support system for order acceptance/rejection in hybrid MTS/MTO production systems. *Applied Mathematical Modelling*, 35(3), 1363-1377.
- Kaya, N. (2004). Etkin stok yönetimi ve Türkiye’de bir uygulama. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmış Doktora Tezi, Erzurum*.
- Kiracı, M. (2009). Stok yönetimi ve karlılık ilişkisinin finansal oranlar aracılığıyla incelenmesi: İMKB imalat sektöründe bir araştırma.
- Kobu B, Üretim Yönetimi, Beta Basım Dağıtım, (2006).
- Lin, H. T., & Chang, W. L. (2008). Order selection and pricing methods using flexible quantity and fuzzy approach for buyer evaluation. *European Journal of Operational Research*, 187(2), 415-428.
- Martínez, E., & Arredondo, F. (2010). Order acceptance for revenue management and capacity allocation in make-to-order batch plants. In *Computer Aided Chemical Engineering (Vol. 28, pp. 1189-1194)*. Elsevier.
- Pıçak, S. Z. (2001). Envanter Kontrol Sistemleri ve Stokastik Modelde Uygulama (Doktora Tezi). *Marmara Üniversitesi*.
- Pibernik, R., & Yadav, P. (2009). Inventory reservation and real-time order promising in a make-to-stock system. *Supply Chain Planning: Quantitative Decision Support and Advanced Planning Solutions*, 169-195.

- Rabbani, M., Monshi, M., Manavizadeh, N., & Jalali, M. (2016). Designing an advanced available-to-promise mechanism compatible with the make-to-forecast production systems through integrating inventory allocation and job shop scheduling with due dates and weights. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 7(3), 451-462.
- Rafiei, H., Rabbani, M., & Alimardani, M. (2013). Novel bi-level hierarchical production planning in hybrid MTS/MTO production contexts. *International Journal of Production Research*, 51(5), 1331-1346.
- Rahman, H. F., Janardhanan, M. N., & Nielsen, I. E. (2019). Real-time order acceptance and scheduling problems in a flow shop environment using hybrid GA-PSO algorithm. *IEEE Access*, 7, 112742-112755.
- Rogers, P., & Nandi, A. (2007). Judicious order acceptance and order release in make-to-order manufacturing systems. *Production Planning and Control*, 18(7), 610-625.
- Rota, K., Thierry, C., & Bel, G. (2002). *Supply chain management: a supplier perspective*. *Production Planning & Control*, 13(4), 370-380.
- Serrano, A., Oliva, R., & Kraiselburd, S. (2017). On the cost of capital in inventory models with deterministic demand. *International journal of production economics*, 183, 14-20.
- Simchi-Levi D., Kamisky P., Simchi-Levi E., (2000) , *Designing And Managing The Supply Chain*, Irvin McGraw-Hill, United States of America, 2000.
- Slotnick, S. A., & Morton, T. E. (2007). Order acceptance with weighted tardiness. *Computers & Operations Research*, 34(10), 3029-3042.
- So, K. C., & Song, J. S. (1998). Price, delivery time guarantees and capacity selection. *European Journal of operational research*, 111(1), 28-49.
- Sridharan, S. V. (1998). Managing capacity in tightly constrained systems. *International Journal of Production Economics*, 56, 601-610.
- Tanrıverdi, Y. (2010). *Tedarik zinciri ve stok yönetimi üzerine bir uygulama (Yüksek Lisans Tezi)*.
- Tsai, J., Lee, J. T., Wang, W., Zhang, J., Cho, H., Mamo, S., ... & Bollag, G. (2008). Discovery of a selective inhibitor of oncogenic B-Raf kinase with potent antimelanoma activity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(8), 3041-3046.

- Wang, X., Xie, X., & Cheng, T. C. E. (2013). A modified artificial bee colony algorithm for order acceptance in two-machine flow shops. *International Journal of Production Economics*, 141(1), 14-23.
- Wang, Z., Qi, Y., Cui, H., & Zhang, J. (2019). A hybrid algorithm for order acceptance and scheduling problem in make-to-stock/make-to-order industries. *Computers & Industrial Engineering*, 127, 841-852.
- Wen, Y. A. N. G. (2013). Available To Promise For MTO/MTS Production Systems Under Uncertainties (*Doktora tezi, University of Hong Kong*).
- Wu, G. H., Cheng, C. Y., Yang, H. I., & Chena, C. T. (2018). An improved water flow-like algorithm for order acceptance and scheduling with identical parallel machines. *Applied Soft Computing*, 71, 1072-1084.
- Yang, W., & Fung, R. Y. (2014). Stochastic optimization model for order acceptance with multiple demand classes and uncertain demand/supply. *Engineering Optimization*, 46(6), 824-841.
- Yenersoy, G. (2015). Üretim Planlama ve Kontrol. İstanbul Papatya Yayıncılık Eğitim.
- Yüksel, H. (2002). Tedarik zinciri yönetiminde bilgi sistemlerinin önemi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 4(3), 261-279.
- Zhang, J., Qin, W., & Wang, W. (2015). An Available-to-Promise Model for Periodical Order Promising. In *LISS 2014: Proceedings of 4th International Conference on Logistics, Informatics and Service Science* (pp. 167-171). Springer Berlin Heidelberg.









Çizelge E.3. Siparişe göre ürün fiyatları

1	35	36	31	32	37	27	38	30	39	28	30	37	38	33	36	37	39	39	35	37	36	37	33	33	29	29	30	27	34	30	27	35	31	35	38	37	34	36	27	38	27	33	30	36	27	37	31	37	36	27		
2	81	71	92	80	75	94	79	92	78	75	83	83	77	85	79	84	68	81	80	74	68	85	71	81	86	84	82	78	93	88	89	93	95	83	70	69	77	97	88	95	81	87	84	80	83	72	83	74	77	96		
3	172	163	175	168	171	155	127	137	162	151	144	153	136	162	132	152	130	129	149	145	137	149	122	131	165	146	123	152	135	160	168	167	133	163	175	164	131	131	174	122	151	135	163	175	134	173	164	138	131	148		
4	175	164	127	160	130	171	136	160	131	171	162	124	167	140	156	164	153	156	131	125	125	154	125	145	171	152	122	145	166	173	173	171	135	139	171	167	153	160	168	148	134	157	133	124	149	154	174	163	126	127		
5	44	58	52	46	53	42	48	51	50	58	48	53	48	42	51	52	45	51	43	57	52	43	41	43	48	42	45	49	48	45	57	57	46	44	53	42	47	48	57	52	52	43	49	46	53	43	54	56	51			
6	110	118	120	118	125	100	110	101	126	129	100	121	117	95	133	109	107	129	136	131	114	130	131	97	107	129	95	112	97	107	107	107	122	101	107	116	122	101	97	97	116	116	112	117	117	134	97	106	127	102		
7	44	46	58	55	42	52	54	46	49	55	41	44	45	42	53	48	53	58	54	55	41	43	47	56	53	53	49	48	53	53	53	45	49	55	57	58	50	49	43	47	44	52	46	58	44	48	42	53	46	57		
8	126	103	106	127	100	98	101	126	134	104	112	105	126	106	122	125	108	122	95	96	110	117	135	124	128	126	132	120	108	107	95	100	114	95	114	119	116	133	130	124	122	135	125	119	105	120	110	117	132	98		
9	39	37	35	35	34	28	30	31	31	37	32	32	37	28	39	27	35	32	37	36	37	31	37	33	30	36	27	28	39	37	38	39	36	33	34	32	30	34	36	31	34	32	31	33	27	39	34	29	32	35		
10	172	145	139	126	124	130	159	141	129	134	151	122	159	139	165	133	134	143	133	146	123	173	124	172	161	158	125	142	142	132	149	163	131	129	155	129	166	147	136	155	160	154	166	159	148	128	132	126	129	145		
11	14	16	14	18	16	16	19	14	15	18	14	19	18	15	19	14	14	16	15	17	17	16	15	19	17	15	16	19	19	17	16	19	15	17	16	17	18	18	16	14	15	16	19	18	15	17	15	15	19	17		
12	154	189	166	167	172	162	176	170	148	175	167	154	169	162	192	192	156	165	180	164	139	144	169	147	139	155	191	140	141	141	173	165	149	168	138	170	144	185	194	157	188	142	182	146	190	158	190	193	182	140		
13	153	125	128	126	134	123	131	138	143	129	113	127	113	126	131	118	115	116	131	147	136	131	130	145	136	133	137	121	125	121	155	127	115	110	127	154	114	132	132	155	134	110	121	132	133	128	112	137	134			
14	109	111	135	127	111	103	128	105	121	131	109	112	131	118	113	120	135	127	106	135	100	114	114	126	119	124	114	116	103	108	98	132	121	123	108	109	112	101	117	127	131	115	105	109	124	100	130	108	136	102		
15	60	56	60	63	70	61	66	74	56	71	70	54	71	54	71	56	71	70	55	73	58	73	74	68	54	63	64	57	67	75	68	56	72	60	67	59	60	68	63	62	61	65	77	76	69	67	75	57	73			
16	137	115	139	147	156	143	135	141	136	130	143	143	132	118	111	148	139	133	112	112	118	147	130	109	130	116	123	143	123	149	148	112	138	118	138	127	129	139	139	133	144	134	123	119	125	108	132	116	145	155		
17	153	172	143	160	149	133	127	163	147	157	133	140	126	155	173	140	162	123	126	153	152	164	170	151	173	144	175	150	136	125	160	132	158	154	122	157	124	129	142	131	172	124	155	161	144	156	132	138	134	167		
18	172	123	162	123	172	156	163	129	139	144	122	147	123	128	160	168	170	148	166	165	127	126	152	132	140	134	172	151	158	153	148	126	156	167	134	163	138	141	125	134	170	122	155	149	147	143	134	148	149	162		
19	15	15	15	17	14	18	18	16	19	16	19	16	19	16	17	15	16	15	18	18	19	14	19	17	18	17	19	17	15	15	14	17	17	15	19	17	17	19	16	16	14	17	18	18	17	15	14	16	16	19	15	
20	95	82	88	110	93	96	113	101	102	116	106	103	99	97	109	112	114	105	102	86	92	113	113	93	97	97	82	112	81	86	94	113	85	94	91	95	83	108	100	106	83	98	84	103	107	92	105	95	94	96		
21	166	174	123	133	148	122	134	163	159	129	145	153	128	151	166	146	166	160	143	171	143	129	157	141	173	144	175	150	136	125	160	152	125	122	165	147	171	131	158	163	127	124	149	146	159	129	143	130	148	129		
22	17	17	14	16	18	19	19	19	15	16	17	19	18	17	17	14	19	19	15	18	14	18	15	15	14	15	19	17	15	16	15	14	18	14	19	18	16	19	19	18	14	19	19	16	14	18	19	19	19	19	18	
23	121	99	105	135	99	120	106	97	98	132	118	99	96	119	107	116	100	112	100	136	103	101	126	112	130	123	104	119	111	125	96	105	134	127	124	136	122	103	128	131	99	136	128	97	100	122	101	129	135	132		
24	136	131	152	134	154	152	115	122	153	147	141	152	156	114	140	119	114	123	156	144	149	114	124	128	134	145	142	138	112	138	112	143	140	133	133	153	146	124	123	142	110	122	151	123	124	128	145	114	113	138		
25	71	57	71	59	76	56	76	59	55	54	75	57	77	68	75	78	61	76	57	61	62	56	76	77	62	54	59	64	77	74	55	70	69	77	59	65	59	57	62	61	55	67	62	69	61	66	57	77	64			
26	74	78	66	64	61	66	75	60	65	64	68	76	72	77	70	71	55	61	71	78	67	77	62	70	65	71	57	72	60	69	76	57	76	54	67	70	71	75	56	57	58	56	56	58	64	55	67	72	60	69		
27	136	148	150	133	114	138	148	153	146	142	140	120	149	139	117	135	122	119	145	146	142	110	153	144	149	112	134	133	129	136	148	124	152	123	127	154	144	138	116	122	131	122	140	139	110	125	148	134	148	114		
28	34	31	39	30	31	34	29	34	32	32	30	37	29	33	38	39	38	33	31	29	39	33	37	34	33	27	30	28	39	35	32	36	37	32	36	29	29	35	37	30	34	29	38	34	34	36	32	30	29	36	34	31
29	107	132	136	103	103	128	127	103	123	115	133	134	112	132	135	95	124	136	108	96	99	115	121	108	133	126	102	106	111	112	136	108	132	128	118	130	130	100	110	109	122	95	118	98	114	111	118	112	112	96	96	
30	96	112	111	108	81	105	112	85	111	99	88	116	84	92	109	105	96	108	83	115	103	90	95	116	89	108	114	108	92	114	116	116	112	82	93	108	104	90	95	101	96	105	109	102	110	108	87	114	95	115		
31	39	34	28	30	38	30	38	37	29	31	33	29	34	35	36	37	39	29	39	29	39	39	39	31	27	30	28	39	35	32	36	37	32	36	29	29	35	37	30	34	29	38	34	34	36	32	30	29	36	34	31	
32	127	169	131	137	151	167	162	131	125	144	157	167	128	167	174	126	123	156	153	155	137	164	128	142	146	124																										

Çizelge E.4. Parametre değerleri

	Başlangıç stok miktarı (s)	Birim üretim maliyeti (c)	Elde tutma (stok) maliyeti (h)	Birim üretim zamanı (t)	Yok satma maliyeti (f)
1	90	30	2	0,6	0,05
2	20	75	2,5	0,5	0,03
3	30	135	2,5	0,2	0,03
4	30	135	1	0,3	0,03
5	20	45	3	0,5	0,03
6	70	105	4,5	0,9	0,01
7	100	45	1	0,7	0,04
8	70	105	5	0,3	0,01
9	100	30	3	0,10	0,05
10	80	135	4,5	0,2	0,01
11	10	15	0,5	0,5	0,03
12	10	150	2,5	0,8	0,01
13	100	120	4,5	0,4	0,01
14	20	105	5	0,6	0,03
15	80	60	4,5	0,6	0,01
16	50	120	2	0,10	0,03
17	10	135	1	0,4	0,03
18	90	135	4,5	0,9	0,04
19	40	15	4	0,6	0,04
20	100	90	2	0,1	0,01
21	100	135	2,5	0,5	0,04
22	90	15	4	0,10	0,05
23	80	105	2,5	0,6	0,05
24	90	120	2,5	0,6	0,01
25	70	60	4,5	0,1	0,03
26	20	60	1,5	0,10	0,03
27	60	120	2,5	0,10	0,05
28	50	30	4,5	0,1	0,03
29	40	105	4	0,5	0,05
30	70	90	2	0,8	0,05
31	50	30	5	0,8	0,03
32	40	135	2,5	0,4	0,04
33	70	120	3	0,6	0,01
34	50	105	1,5	0,2	0,01
35	20	120	2	0,1	0,01
36	50	135	3,5	0,4	0,02
37	70	15	2,5	0,10	0,02
38	50	120	4,5	0,2	0,02
39	90	45	2	0,10	0,03
40	50	120	4	0,8	0,03
41	60	150	2	0,2	0,05
42	100	150	1,5	0,2	0,03
43	40	90	2	0,1	0,04
44	80	135	2,5	0,3	0,03
45	60	15	3,5	0,6	0,04
46	60	120	1	0,9	0,02
47	40	45	4,5	0,1	0,02
48	20	90	0,5	0,3	0,05
49	70	120	1	0,9	0,03
50	50	150	2	0,2	0,01